



**Cuadernos de Investigación**

**ARTÍCULOS DE PROYECTO DE GRADO  
REALIZADOS POR LOS ESTUDIANTES  
DE INGENIERÍA MECÁNICA  
QUE SE GRADUARON EN EL 2008**

**INGENIERÍA MECÁNICA  
UNIVERSIDAD EAFIT**

**ISSN 1692-0694. Medellín. Julio de 2009. Documento 74- 072009**

La Universidad EAFIT aspira a ser reconocida nacional e internacionalmente por sus logros académicos e investigativos.

Para ello desarrolla la capacidad intelectual de sus alumnos y profesores en todos los programas académicos, con la investigación como soporte básico.

-De la visión institucional-

### **Edición**

Dirección de Investigación y Docencia  
Universidad EAFIT  
Medellín, Colombia

### **Director**

Félix Londoño González

---

Los contenidos de este documento son responsabilidad de los autores.

Se autoriza la reproducción total o parcial de este material para fines educativos siempre y cuando se cite la fuente.

### **Serie Cuadernos de Investigación**

Carrera 49 7 sur 50

Teléfono (574) 261 95 40

[www.eafit.edu.co/investigacion](http://www.eafit.edu.co/investigacion)

# TABLA DE CONTENIDO

	Página
RESUMEN - ABSTRACT - AUTOR .....	9
INTRODUCCIÓN .....	11
DISEÑO DE UNA PLANTA DE COGENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA POR COMBUSTIÓN DE BIOMASA .....	13
OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DE MOLDURA EN LAS MÁQUINAS FORMADORAS DE ENVASES DE LA EMPRESA O-I PELDAR .....	19
DISEÑO DE UNA APLICACIÓN EN EXCEL PARA LA PROGRAMACIÓN, SEGUIMIENTO Y CONTROL DEL MANTENIMIENTO PARA ESTYMA S.A.....	24
DISEÑO DE UN FRENO PRONY PARA LA MEDICIÓN DE POTENCIA.....	31
EXPLORACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS NECESARIAS PARA EL DESARROLLO DE APLICACIONES CON CELDAS DE COMBUSTIBLE EN COLOMBIA.....	39
IMPLEMENTACIÓN DEL PILAR DE TPM MANTENIMIENTO AUTÓNOMO EN EL PÓRTICO DE SERTISSAGE LOGAN EN LA ENSAMBLADORA SOFASA ENVIGADO .....	49
ESPUMAS FLEXIBLES PARA LA SUSTITUCIÓN DE ESPUMAS DE PULIDO UTILIZADAS EN LA INDUSTRIA CERÁMICA LOCAL - CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y MECÁNICA .....	57
DISEÑO Y DESARROLLO DE UN DISPOSITIVO NEUMÁTICO DE COMPRESIÓN CONSTANTE POR LA TÉCNICA DE LOS CUATRO PUNTOS PARA ESTUDIOS DE STRESS CORROSIÓN CRACKING DE O-RINGS METÁLICOS EN AUTOCLAVES .....	64
DISEÑO DE LA METODOLOGÍA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE TRES SISTEMAS DEL PILAR DE MANTENIMIENTO PROGRESIVO EN UNA COMPAÑÍA DE FLEXOGRAFÍA .....	74
RELACIÓN DEL TPM Y LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN DE MANTENIMIENTO APLICADO A UNA EMPRESA DE BENEFICIO DE MINERALES NO METÁLICOS .....	86
IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO EN UNA EMPRESA DEL SECTOR MANUFACTURERO .....	94

SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE UN COMPONENTE ELASTOMÉRICO DE UN SISTEMA TÉCNICO, USANDO EL MÉTODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS .....	101
ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE UN MATERIAL TERMOPLÁSTICO DURANTE EL PROCESO DE ESTIRAMIENTO.....	110
IMPLEMENTACIÓN DE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE PILA R06 EN LA PLANTA DE MANUFACTURA DE TRONEX BATTERY COMPANY S.A.....	116
DISEÑO DE CIZALLA POR CORTE CIRCULAR PARA OBTENER ROLLOS DE 10MM DE ANCHO A PARTIR DE ROLLOS DE 150MM.....	121
DESARROLLO Y ANÁLISIS DE UN MATERIAL COMPUESTO DE CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE FIQUE.....	127
MODELO DE ESTRUCTURACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE LA ASIGNATURA DE TRANSFERENCIA DE CALOR EN INGENIERÍA MECÁNICA EAFIT .....	138
ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA EL PROYECTO DE EXPANSIÓN DE LA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE LA EMPRESA CONGELADOS HECHIZO .....	145
DISEÑO DE UN HIDROCICLÓN PARA PROCESOS DE EXTRACCIÓN DE ACEITE DE PALMA	149
ESTUDIO DE PRE FACTIBILIDAD PARA EL MONTAJE DE UNA LÍNEA DE CROMADO EN LA EMPRESA SERVIRUEDAS LTDA .....	156
DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADORA PARA EL GRUPO ELECTRÓGENO YS6000 REFRIGERADO POR AIRE.....	165
ANÁLISIS, FORMULACIÓN Y FASE INICIAL DEL PROBLEMA INVESTIGATIVO REFERENTE A LA RECUPERACIÓN DEL PLÁSTICO Y EL ALUMINIO DE LOS ENVASES POSCONSUMO DE TETRAPAK .....	174
RECONVERSIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DE UN ROBOT TIPO SCARA.....	182
DESCRIPCIÓN DE PROCESOS PARA LA INSTALACIÓN DE MAQUINARIA DE UNA PLANTA PRODUCTIVA DE POCILLOS.....	189
DESARROLLAR UN PLAN DE MEJORAMIENTO PARA LA RED DE AIRE COMPRIMIDO DE LA PLANTA DE PRODUCCIÓN SOFASA – ENVIGADO .....	195

IMPLEMENTACIÓN DE PLAN PILOTO DE TPM EN UNA INDUSTRIA DE CERÁMICA .....	201
DISEÑO DEL SISTEMA DE UN BLOQUE MOTOR 2 TIEMPOS PARA MODELISMO DE COMBUSTIÓN INTERNA.....	207
DISEÑO DE UNA MÁQUINA AGLUTINADORA DE POLIOLEFINAS PARA EL TALLER DE PLÁSTICOS DE LA UNIVERSIDAD EAFIT .....	212
DISEÑO DE UN SISTEMA TÉCNICO PARA LAVADO DE PET POST-CONSUMO.....	217
MODELACIÓN PARAMÉTRICA Y MANUFACTURA DE MEZCLADORES PARA EXTRUSIÓN DE TERMOPLÁSTICOS UTILIZANDO SISTEMAS CAD-CAM.....	227
ELABORACIÓN DE UNA TAPA DE ALCANTARILLA CON MATERIALES COMPUESTOS.....	234
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA DE RENAULT TWINGO .....	240
ESTUDIO DE LAS CONDICIONES DE RECICLABILIDAD DE LAS BOLSAS BIODEGRADABLES	246
ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD DEL PROYECTO DE REFRIGERACIÓN DE AGUA HELADA EN LA COMPAÑÍA NACIONAL DE CHOCOLATES.....	251
DESARROLLO DE UNA METODOLOGÍA PARA UN PLAN DE MANTENIMIENTO DE ACCIONES PREVENTIVAS EN UNA EMPRESA DEL SECTOR METALMECÁNICO.....	257
IMPLEMENTACIÓN DE METODOLOGÍA SMED EN EL ÁREA DE PRENSAS DE C.I. COLAUTO S.A.....	266
ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN USADA POR MANTENIMIENTO Y PRODUCCIÓN Y SUS IMPLICACIONES EN LA GESTIÓN DE AMBAS ÁREAS. ....	272
DISEÑO DE UN SISTEMA DE ALIMENTACIÓN, MOLIDO O REDUCCIÓN DE TAMAÑO Y ALMACENAMIENTO PARA RECICLAJE DE PLÁSTICO .....	280
ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA EL DESARROLLO Y COMERCIALIZACIÓN DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN PARA MANEJO DE DATOS DE LUBRICACIÓN PARA LA EMPRESA TRANSPORTADORA.....	287

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN AUTOMOTOR TIPO SCOOTER PLEGABLE PARA EL TRANSPORTE PERSONAL.....	297
INGENIERÍA DE DETALLE DE LA PLANTA PARA LA PRODUCCIÓN DE LECHE PASTEURIZADA Y DERIVADOS LÁCTEOS DE ALTO VALOR AGREGADO .....	316
ELABORACIÓN DE UN PROGRAMA DE MEJORAMIENTO PARA LA DIVISIÓN MP4 EN LA EMPRESA FAMILIA SANCELA S.A. ....	326
DISEÑO DE UN SISTEMA EXPERTO EN MANTENIMIENTO E IMPLEMENTACIÓN EN UN SISTEMA DE INGENIERÍA .....	334
ANÁLISIS Y COMPARACIÓN ENTRE EL PROCESO DE CENTRIFUGADO E INYECCIÓN PARA LA FABRICACIÓN DE PIEZAS EN ZAMAC.....	347
APROXIMACIÓN DE APLICACIÓN DE INDICADORES DE PROCESO DE ENSAMBLE EN AKT MOTOS .....	354
CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO FUNCIONAL DE GUÍAS PLÁSTICAS EN UNA ESTACIÓN DE INSPECCIÓN AUTOMÁTICA MÚLTIPLE DE BOTELLAS EN OI PELDAR .....	364
PROPUESTA DE MEJORAMIENTO SOBRE LA IMPLEMENTACIÓN DE PASO UNO Y DOS DEL PILAR DE MANTENIMIENTO PLANEADO EN COMPAÑÍA DE GALLETAS NOEL S.A.....	370
ADAPTACIÓN DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN AM EN UNA EMPRESA DEL MEDIO TEXTIL	378
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL PARA PLIEGUE, CORTE Y TRANSPORTE DE TELA TUBULAR COMPACTADA.....	388
EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UN TROQUEL USANDO HERRAMIENTAS CAE ...	395
IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN LA TINTORERÍA INDUSTRIAL TEÑIMOS S.A. ....	402
ESTUDIO DE PRE FACTIBILIDAD PARA EL MONTAJE DE UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE BIODIESEL EN COLOMBIA.....	410
PROCEDIMIENTO PARA LA UTILIZACIÓN DE MODELOS TRIDIMENSIONALES REALIZADOS EN PROENGINEER EN LA MÁQUINA DE CONTROL DIMENSIONAL DE LA EMPRESA ANDES INTERNATIONAL TOOLING.....	417

PLAN DE NEGOCIOS PARA LA CREACIÓN DE UN CRIADERO Y PROCESO DE TRANSFORMACIÓN DE CARACOLES DE LA ESPECIE HELIX ASPERSA .....	433
IMPLEMENTACIÓN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA EQUIPOS EN UNA EMPRESA DE MONTAJES METALMECÁNICOS, CIVILES Y ELÉCTRICOS.....	438
PRONÓSTICOS DE INVENTARIO Y DEMANDA EN EQUIPOS MECÁNICOS: MOTORREDUCTORES .....	443
RECUPERACIÓN Y CONCENTRACIÓN DEL SUERO POR MEDIO DE MEMBRANAS DE ULTRAFILTRACIÓN .....	451
CRITERIOS DE SUBCONTRATACIÓN EN MANTENIMIENTO TEXTIL EN EL VALLE DE ABURRÁ .....	457
PLAN DE NEGOCIOS DE UN TALLER MECÁNICO PARA TRABAJOS RÁPIDOS .....	464
SOLDADURA POR FRICCIÓN.....	471





## **RESUMEN**

Este documento presenta la relación de los artículos de los proyectos de grado de la carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad EAFIT en el año 2008. La información de cada artículo, contiene el área de énfasis (Diseño de Sistemas Técnicos, Mantenimiento Industrial, Gestión de Proyectos y Plásticos), el asesor principal del trabajo de grado, el sector beneficiado, el resumen en español y en inglés con las palabras claves en los dos idiomas y los resultados del trabajo de grado.

La originalidad y pertinencia de los artículos, los convierten en un material bibliográfico valioso para la ingeniería y en especial para la ingeniería mecánica. Cada uno de los artículos representa un punto de vista particular en la nueva práctica de la ingeniería mecánica en Colombia y en el mundo.

## **ABSTRACT**

This document presents the articles of the final year undergraduate of the Department of Mechanical Engineering at EAFIT University in 2008. Each article contains information about the area of interest (Design of Technical Systems, Industrial Maintenance, Projects Management and Plastics), the main adviser, institution who benefited from the project and the Spanish and English summary with key words in English and Spanish. Some of the articles are included in their full length version.

The originality and the pertinence of the articles convert them into a bibliographical valuable material for the engineering and especially for the mechanical engineering community. Each one of articles represents a particular view into a new practice of the mechanical engineering in Colombia and the world.

## **AUTOR**

Información recopilada por el coordinador de Proyectos de Grado de la carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad EAFIT.



# INTRODUCCIÓN

---

En este cuaderno, el lector encontrará los artículos generados a partir de los trabajos de grado de la carrera de Ingeniería Mecánica, que demuestran el compromiso de la comunidad universitaria Eafitense en la búsqueda de la excelencia académica, para el logro de propósitos científicos y servicio para la sociedad.

Los trabajos de grado son una actividad universitaria que estimula y fortalece la investigación en las diferentes áreas de énfasis de la carrera de ingeniería mecánica. Por esta razón, sus resultados se reflejan en innovaciones e invenciones tecnológicas, creación de microempresas, metodologías que elevan la disponibilidad de los equipos del sector industrial y otros aspectos decisivos en la mejora de la calidad de vida del hombre en la sociedad y el reconocimiento de la carrera en el ámbito nacional e internacional.

La aplicación del conocimiento de las áreas de Diseño de Sistemas Técnicos, Mantenimiento Industrial, Gestión de Proyectos y Plásticos, por parte de los egresados de la carrera de Ingeniería Mecánica, han beneficiado al medio industrial nacional e internacional en empresas tan importantes como lo son Estyma S.A, SOFASA, Centro de estudios de energía nuclear [SCK CEN], Microplast – Coldeplast, Arquimuebles S.A, Tronex Battery Company, Congelados Hechizo, Serviruedas LTDA, Eduardoño S.A., Locería Colombiana S.A, O-I PELDAR, Compañía Nacional De Chocolates, C.I. Colauto S.A, Familia-Sancela S.A, AKT Motos, Compañía De Galletas NOEL S.A, ENKA De Colombia S.A, Tintorería Industrial Teñimos S.A, Ingeant y CIA. LTDA.entre otras no menos importantes. Proyectos con un importante desarrollo como los titulados:

“Diseño de una planta de cogeneración de energía eléctrica por combustión de biomasa” de los ingenieros Juan Guillermo Álvarez Hincapié, Miguel García Vélez y Carlos Andrés Henao Velásquez.

“Optimización del sistema de enfriamiento de moldura en las maquinas formadoras de envases de la empresa O-I PELDAR” del ingeniero Daniel Rincón Lopera.

Proyectos que fueron candidatizados como los mejores proyectos de grado del año 2008.

El proyecto de grado, al ser el primer ejercicio de ingeniería que realizan los estudiantes, los proyecta y contextualiza hacia el ejercicio laboral, máxime cuando estos proyectos, se relacionan con problemas de las empresas.

Por último, la clave para obtener “calidad” en los trabajos de grado, es que además de la obligatoriedad de aplicar de manera integral los conocimientos y habilidades adquiridos durante su formación, cuenta con el apoyo de las diferentes dependencias de la universidad.

Un especial agradecimiento a las diferentes personas que sirvieron como asesores principales y evaluadores de los proyectos de grado, al personal Centro de Laboratorios y Grupos de Investigación de la carrera de Ingeniería Mecánica.

**LEONEL FRANCISCO CASTAÑEDA HEREDIA**  
Coordinador de Proyecto de Grado



# **DISEÑO DE UNA PLANTA DE COGENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA POR COMBUSTIÓN DE BIOMASA**

**JUAN GUILLERMO ÁLVAREZ HINCAPIÉ**

jalvar21@eafit.edu.co

Departamento de Ingeniería Mecánica

**MIGUEL GARCÍA VÉLEZ**

mgarciav@eafit.edu.co

Departamento de Ingeniería Mecánica

**CARLOS ANDRÉS HENAO VELÁSQUEZ**

chenaove@eafit.edu.co

Departamento de Ingeniería Mecánica

**ÁREA DE ÉNFASIS**

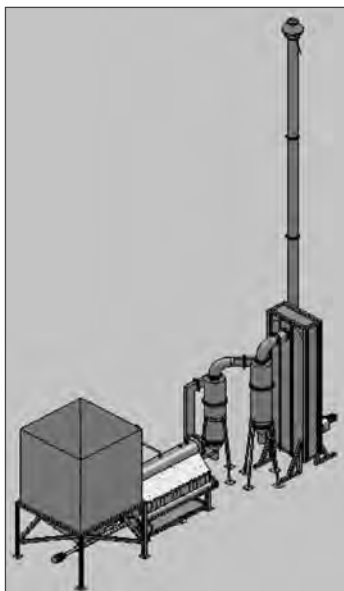
DISEÑO DE SISTEMAS TÉCNICOS

**ASESOR**

DAVID COCK BOTERO

**SECTOR BENEFICIADO**

UNIVERSIDAD EAFIT



## **RESUMEN**

La tendencia de generación de energía apunta a plantas micro generadoras y a una generación distribuida de energía, siendo este un modelo más económico y que hace un uso más eficiente de los recursos naturales. El auge del vapor como medio para generar electricidad, trae con el tiempo, diferentes tipos de centrales de generación de energía. Se puede utilizar biomasa como combustible para generar calor, vapor y energía eléctrica. El proceso de generación de energía por biomasa, requiere de una planta que permita la conversión de la energía calórica en energía mecánica y por último en energía eléctrica. Este estudio pretende diseñar una planta de generación de energía, cuya combustión sea de biomasa.

## **ABSTRACT**

The trend of power generation is aimed at generating plants and a micro-distributed power generation, being a cheaper model and makes more efficient use of natural resources. The peak of steam as a mean to generate electricity brings with time, different types of central power generation. Can use biomass as fuel to generate heat, steam and electricity. The process of power generation by biomass requires a facility, that allows the conversion of heat energy into mechanical energy and finally into electrical energy. This study aims to design a power generation plant, which its combustion is biomass.

## **PALABRAS CLAVES**

Biomasa, generación de energía, combustión, termoeléctrica, medio ambiente, desperdicios, transformaciones energéticas.

## **KEY WORDS**

Biomass, power generation, combustion, thermoelectric, environmental, waste and energy transformations.

## **INTRODUCCIÓN**

El hombre busca minimizar los desperdicios en el afán de un mejor aprovechamiento de los recursos, de esta forma encuentra diferentes aplicaciones y utilidades para estos, en pro del desarrollo y bienestar global. Una de las aplicaciones es la generación de diferentes formas de energía a partir de los desperdicios, para lograrlo existen diferentes procesos que van desde la descomposición del material vegetal hasta la combustión directa de este (Pontificia@, 2007).

La biomasa se puede definir como la cantidad de calorías y proteínas entre otros, que se encuentran en la materia orgánica de la que se compone un ser vivo. Las calorías pueden ser medidas en seco o húmedo y su unidad es la kilocaloría (Ñique@, 2007). Esta cantidad de kilocalorías puede entonces aprovecharse para transformar la energía calórica que contiene dicha materia en energía eléctrica.

El diseño y la construcción de las plantas de generación de energía por combustión de biomasa, se convierten en una alternativa al parecer interesante desde el punto de vista económico y social a pequeña o mediana escala. La tendencia de generación de energía apunta a plantas micro generadoras y a una generación distribuida de energía, siendo este un modelo más económico y que hace un uso más eficiente de los recursos naturales (Wickström, 2000, 25).

## **ANTECEDENTES**

La revolución industrial en la segunda mitad del siglo XVIII, impulsa el trabajo en el uso del vapor, como fuente de energía que reemplaza la fuerza humana o animal para realizar tareas. Surge de esta manera, la alta demanda de energía para las industrias del momento (Spielvogel, 2004, 555).

El auge del vapor como medio para generar electricidad, trae con el tiempo, diferentes tipos de centrales de generación de energía. Algunas generan calor por la combustión de un combustible fósil. Otras emplean fisión

nuclear del uranio o de plutonio para producir calor. Estas son llamadas centrales nucleares (SociedadThales@, 2000). Otro tipo de generación, es utilizar la radiación solar como medio para generar vapor de alta o de baja temperatura (Solliclima@, 2007). Las geotérmicas producen energía al utilizar el calor de la tierra para producir vapor y con este generar electricidad.

Uruguay utiliza por ejemplo, la cascarilla de arroz para generar electricidad. Encontraron que este desperdicio, tiene suficiente poder calorífico para generar vapor y así generar electricidad y calor (Boccone@,1996). Además en Colombia, la totalidad de las fincas cafeteras, utiliza la madera resultante del zoqueo como leña en diferentes proporciones (CENICAFE@,2007). También se podría utilizar el cisco de café después de la trilla para generar calor y a su vez electricidad.

## **JUSTIFICACIÓN**

La crisis energética de 1973 disminuye la oferta de petróleo e incrementa su precio en forma exorbitante, por lo cual, se impone la racionalización del uso de la energía y de la diversificación de las fuentes y de suministros de estas (Monsalve, 2006, 21). Se plantea la urgente necesidad de encontrar y desarrollar fuentes alternativas de energía.

La biomasa es un recurso renovable en cortos periodos de tiempo. Su utilización evita la emisión de azufres e hidrocarburos altamente contaminantes a la atmósfera. Es por esto que se puede utilizar como combustible para generar calor, vapor y energía eléctrica (TextosCientificos@, 2007). El proceso de generación de energía por biomasa, requiere de una planta que permita la conversión de la energía calórica en energía mecánica y por último en energía eléctrica. Esta planta consta de cuatro sistemas cruciales para tal fin.

Los cuatro sistemas importantes para la generación de energía en la planta son: el proceso fisicoquímico de combustión que involucra directamente las propiedades de la biomasa y las cantidades a utilizar (Ambientum@, 2007), la generación de vapor necesario, la generación

de energía por intermedio de una turbina y un generador, y por último el bombeo, almacenamiento y tratamiento del agua, muy importante ya que la limpieza es crucial para la vida útil de los equipos (Lenntech@, 2007).

## **OBJETO DE ESTUDIO**

Este estudio pretende diseñar una planta de generación de energía, cuya combustión sea por biomasa. Debe ser un sistema compacto, competitivo frente a las actuales plantas de generación y que cumpla con todas las normas ambientales vigentes.

## **ESTADO DEL ARTE**

El CO<sub>2</sub> que se produce al quemar biomasa se libera en la misma cantidad en que fue tomado de la atmósfera por las plantas en la fotosíntesis. Este proceso se repite indefinidamente, por esto se le llama energía renovable. La energía química que se almacena en las plantas y los animales (que se alimentan de plantas u otros animales), o en los desechos que producen, se llama bioenergía. La biomasa libera su energía durante procesos de conversión tales como la combustión, generalmente en forma de calor.

Las fuentes más importantes de biomasa son los campos forestales y agrícolas, en ellos se producen residuos (rastros) que normalmente son dejados en el campo al consumirse sólo un bajo porcentaje de ellos con fines energéticos. Los procesos de secado de granos en la agroindustria dejan subproductos que son usados para generación de calor en sistemas de combustión directa; tal es el caso del bagazo de caña de azúcar, la cascarilla de café, la de arroz y la palma africana entre otros.

Los centros urbanos generan grandes cantidades de basura compuestas en gran parte, por materia orgánica que puede ser convertida en energía, después de procesarla adecuadamente. Los avances tecnológicos permiten el desarrollo de otros procesos eficientes y limpios para la conversión de biomasa en energía. Un ejemplo de estas transformaciones termo-químicas y bio-químicas son los combustibles líquidos y gaseosos (Biomass Users Network BUN-CA, 2002, 6).

## **ALCANCE**

El proyecto involucra diferentes áreas del conocimiento técnico en ingeniería mecánica, entre ellas se destacan: transferencia de calor, termodinámica y mecánica de fluidos, estrictamente relacionadas con el diseño de máquinas, campo que es de interés necesario para el diseño de la planta.

El producto final que se obtiene, es el diseño de una planta para generación de energía por combustión de biomasa, integrada por subsistemas cuyas características sean cien por ciento confiables, que cumplan con funciones específicas bajo todos y cada una de las normas actuales de seguridad.

## **GENERALIDADES DE LOS EQUIPOS COMPONENTES DE UNA PLANTA GENERADORA DE ENERGÍA POR COMBUSTIÓN DE BIOMASA**

### **Tratamiento de aguas**

El buen funcionamiento de una caldera está directamente relacionado con la calidad del agua de alimentación de esta. También incide sobre la vida de muchos de los elementos que forman el equipo generador de vapor (MAVAINSA, 2006, 1). Unos de los principales problemas presentados en las calderas a raíz de un mal tratamiento del agua son: Corrosión, incrustaciones, fragilidad y arrastre en el vapor (Acercar, 2007, 13). Esto es a causa de sales minerales, gases disueltos, materia orgánica y sólidos en general presentes en el agua (Selmecc, 2005, 1).

### **Alimentación de aguas**

Las bombas cumplen un papel importante en el correcto funcionamiento de las calderas y por ende en el de las plantas de generación. Ya sea para el agua después del proceso de tratamiento o para la de retorno del condensado, la función de la bomba es proporcionar la presión y el empuje necesario al agua para que entre en la caldera (ITT McDonnell&Miller, 2007, 16).

Las bombas para calderas por lo general suelen ser recíprocas, rotativas y centrífugas (Kohan, 2000, 475). Estas se diferencian por sus principios de funcionamiento.

### **Generador de vapor**

Los generadores de vapor, o también conocidos en el medio industrial como calderas, son equipos que por medio de la combustión de un líquido, sólido o gas, es posible generar las condiciones necesarias para que el agua se convierta en vapor, producto que sirve en muchas aplicaciones en la industria.

### **Máquinas de vapor**

La evolución de las máquinas de vapor tiene sus principios durante el siglo primero con una aproximación muy elemental desarrollada por los egipcios y desde entonces evolucionan para hacer un uso más eficiente de la energía del vapor. Su principio de funcionamiento es transformar la energía térmica del vapor en energía mecánica. Esto se realiza por medio de un émbolo que se mueve en el interior de un cilindro. Primero el vapor ingresa al cilindro. Allí este se expande, cediendo parte de su energía al émbolo y el vapor restante sale a través de una válvula de salida. En la actualidad han evolucionado al punto de hacer pasar el vapor a través de una rueda de paletas y así producir la energía mecánica (Santillana S.A, 1998, 1-2).

Las turbinas hacen parte de estas máquinas y se pueden subdividir en 3 grandes grupos: Las turbinas hidráulicas, las turbinas de vapor y las turbinas de gas. Todas cumplen la misma función, que es extraerle la energía a un fluido. Esto lo logra cuando el fluido impacta los cangilones o aspas de la turbina, transfiriéndole su energía. Dichas aspas están conectadas a una flecha que gira y su momento torsor puede ser conectado a un generador para obtener energía eléctrica. Este componente móvil de la turbina se llama rotor (Potter, y otros, 2002, 559).

### **Caja multiplicadora de velocidad**

Multiplicación de velocidad: Es el proceso mediante el cual se busca obtener una velocidad adecuada para el normal funcionamiento de una máquina, partiendo de una velocidad inferior, proporcionada por una fuente de potencia o motriz. Un mecanismo de transmisión y transformación de movimientos es un sistema que recibe un movimiento y devuelve otro, normalmente distinto.

Relación de transmisión: Se habla de relación de transmisión cuando al sistema entra un movimiento de giro y sale también un movimiento de giro. Tipos de Cajas Multiplicadoras. Las cajas multiplicadoras pueden ser de dos tipos, ejes a 180° o ejes a 90°.

### **Generador eléctrico**

El generador eléctrico es un aparato que transforma la energía mecánica en energía eléctrica. Los generadores eléctricos están contruidos de la misma forma que un motor eléctrico y dependen de los mismos principios electromagnéticos para su operación (Henríquez Harper, 2000, 18). La ley de Faraday rige el funcionamiento del generador eléctrico. Este principio se denomina inducción, el voltaje inducido en una bobina es proporcional al producto del número de espiras y la razón de cambio de del campo magnético dentro de dichas espiras (Hewitt G., 1995).

### **Ciclón**

El ciclón es un colector mecánico que separa las partículas de un fluido mediante la fuerza centrífuga, actúa como una cámara de sedimentación, en la cual la aceleración gravitacional se sustituye con la aceleración centrífuga (Castells, 2000, 525). Este equipo remueve el material particulado de la corriente gaseosa y utiliza el principio de impactación inercial, que genera la fuerza centrífuga. Adicionalmente es uno de los medios menos costosos de recolección de polvo, tanto desde el punto de vista de operación como de la inversión (DAVIS, 2005, 505).



## CONCLUSIONES

Un proyecto de biomasa, es un proyecto complejo, que implica una gestión dedicada a lo largo de todo su desarrollo. Exige una alta creación de valor agregado para que pueda ser una solución energética competitiva y atractiva.

El manejo integral de residuos sólidos maderables y vegetales requeridos como combustible de la planta de biomasa, es clave para el funcionamiento adecuado y su capacidad de generación.

El diseño y geometría de la planta permite variaciones y modificaciones de acuerdo a las necesidades específicas del usuario o comprador final. Es decir cuenta con cierta flexibilidad para atender diferentes aplicaciones productivas.

Esta planta permite escalarse de manera similar que las demás centrales de generación de energía, para satisfacer una demanda energética.

Esta planta ofrece una solución clara para la disposición final de residuos sólidos naturales, buscando un mejor aprovechamiento de la materia vegetal en su ciclo natural.

Debido a la imposibilidad de extracción completa del contenido energético del vapor. Uno de los valores agregados de la planta es la posibilidad de una línea energética adicional con vapor de baja presión.

## BIBLIOGRAFÍA

Acercar. 2007. Sistemas de control. Bogotá, D.C, Colombia: Alcaldía Mayor de Bogotá, D.C, Secretaría Distrital Ambiente, 2007.

Arrègle, Jean. 2002. Procesos y tecnología de máquinas y motores térmicos. Valencia, España: Editorial Universidad Politécnica de Valencia, 2002. ISBN 8497052730.

Biomass Users Network BUN-CA. 2002. Manuales sobre energía renovable. San José, Costa Rica: s.n., 2002.

Castells, Xavier Elias. 2000. RECICLAGE DE RESIDUOS INDUSTRIALES. Barcelona : Ediciones Diaz de Santos, 2000. pág. 525. ISBN 8479784377.

DAVIS. 2005. Ingeniería y ciencias ambientales. 1. s.l.: McGraw-Hill Interamericana Editores, 2005. pág. 505. ISBN 9701049780.

Henrríquez Harper, Gilberto. 2000. EL LIBRO PRACTICO DE LOS GENERADORES TRANSFORMADORES Y MOTORES ELÉCTRICOS. Méjico: Editorial Limusa, 2000. pág. 18. ISBN 9681860535.

Hewitt G., Paul. 1995. Física conceptual. Wilmington: Addison Wealey Iberoamericana, 1995. ISBN 201625954.

ITT McDonnell&Miller. 2007. Guia de operación básica. S.C U.S.A. : ITT McDonnell & Miller, 2007.

Kohan, Anthony L. 2000. Manual de calderas. [ed.] Antonio García Brage. [trad.] Claudio Míguez Gómez y Ramón Urcelay Y Azpitate. Madrid, España: Editorial McGraw-Hill, 2000. Vol. 2. ISBN 84-481-2802-8.

MAVAINSA. 2006. Instalaciones de tratamiento de agua de alimentación de caldera. Valencia, España: MAVAINSA, S.L, 2006.

Microturbinas: hacia la generación distribuida de energía y calor. Wickström, Lars, y otros. 2000. 2000, Revista ABB, págs. 22-30. ISSN 1013-3135

Potter, Merle C y Wiggert, David C. 2002. Mecánica de Fluidos. México D.F, México: International Thomson Editores S.A. de C.V., 2002. ISBN 9706862056.

Producción de etanol a partir de la cáscara de banano y de almidón de yuca. Monsalve G., John F., Medina de

- Perez, Victoria Isabel y Ruiz Colorado, Angela Adriana. 2006. Medellín, Colombia: s.n., Noviembre de 2006, Dyna - Revista de la facultad de Minas - Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín, Vol. 73, págs. 21-27. ISSN 0012-7353.
- Puig, Josep y Corominas, Joaquín. 1990. La ruta de la energía. Barcelona, España: Editorial Anthropos, 1990. ISBN 8476582447.
- Santillana S.A. 1998. Historia de la tecnología. México D.F, México: s.n., 1998. Vol. 1 La Máquina de Vapor. Selmec. 2005. Tratamiento de aguas. México, D.F, México: Selmec Equipos Industriales SA de CV, 2005.
- Spielvogel, Jackson J. 2004. Civilizaciones de Occidente. Madrid, España: Editorial Thomson Learning, 2004. ISBN 9706863338.
- Transancos Garcia, José. 2005. ELECTROTECNIA. [ed.] Editorial Paraninfo S.A. Madrid: Thompson Learning Iberoamericana, 2005. pág. 171. ISBN 8428329214.
- Ambientum. 2007. Ambientum. Enciclopedia. [En línea] 2007. [Citado el: 28 de junio de 2007.] [http://www.ambientum.com/enciclopedia/energia/4.06.01.11\\_1r.html](http://www.ambientum.com/enciclopedia/energia/4.06.01.11_1r.html).
- Boccone, Raul. 1996. FAO Corporate Document Repository: Generación de energía a partir de arroz. Food and Agriculture Organization of the United Nations. [Online] 1996. <http://www.fao.org/docrep/T2363S/t2363s0f.htm#TopOfPage>.
- CENICAFE. 2007. Proyecto Iniciativa Darwin. CENICAFE. [Online] 2007. [http://www.cenicafe.org/modules.php?name=Iniciativa\\_Darwin&p\\_op=9](http://www.cenicafe.org/modules.php?name=Iniciativa_Darwin&p_op=9).
- Lenntech Agua residual & purificación del aire Holding B.V. 2007. Tratamiento completo de agua. Lenntech: Purificación del aire y tratamiento del agua. [Online] 2007. <http://www.lenntech.com/espanol/home-esp.htm>.
- Ñique Álvarez, Manuel. 2007. Diccionario Ecológico. ONG Perú Ecológico. [Online] 2007. [http://www.peruecologico.com.pe/glosario\\_b.htm](http://www.peruecologico.com.pe/glosario_b.htm).
- Pontificia Universidad Católica del Perú. 2007. Investigación: Grupo Energías. Pontificia Universidad Católica del Perú Web site. [Online] 2007. <http://www.pucp.edu.pe/invest/grupo/energias/powerbio.ppt>.
- Sociedad Andaluza de Educación Matemática Thales. 2000. Recursos: rd99:ed99-0226-01/Centrales Eléctricas. Sociedad Andaluza de Educación Matemática Thales Web Site. [Online] 2000. <http://thales.cica.es/rd/Recursos/rd99/ed99-0226-01/capitulo7.html>.
- Soliclima. 2007. Soliclima:termoelectrica. Soliclima: energía solar. [Online] 2007. <http://www.soliclima.com/termoelectrica.html>.
- Textos Científicos.com. 2007. Energías Alternativas: Biomasa. Textos Científicos.com Web site. [Online] 2007. <http://www.textoscientificos.com/energia/biomasa>.

# **OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DE MOLDURA EN LAS MÁQUINAS FORMADORAS DE ENVASES DE LA EMPRESA O-I PELDAR**

DANIEL RINCÓN LOPERA

drinconl@eafit.edu.co

Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS  
GESTIÓN DE PROYECTOS

ASESOR  
JUAN SANTIAGO VILLEGAS

SECTOR BENEFICIADO  
O-I PELDAR



## **RESUMEN**

El propósito de este proyecto es optimizar el sistema de enfriamiento de moldura, el cual enfría aire proveniente de un ventilador, por medio de aspersión de agua, causando fallas que afectan el proceso productivo de la empresa O-I PELDAR.

## **ABSTRACT**

The purpose of this project is to optimize the cooling system of molding, which cools air from a fan, by spraying water, causing failures affecting the production process of the company OI PELDAR.

## **PALABRAS CLAVES**

Sistema de enfriamiento, moldura, Ventilador, intercambiador de calor, envases de vidrio, aspersión de agua.

## **KEY WORDS**

Cooling system, Molding, Fan, Heat Exchanger, glass containers, spraying water.

---

## **INTRODUCCIÓN**

En la planta de Envigado se realiza la producción de envases de vidrio, este proceso productivo consta de seis pasos: Fundición del vidrio, Formación del envase, Acondicionamiento del envase, Tratamiento de superficie, Inspección automática y Embalaje.

Este proyecto se realiza en la fase de formación de envases, este surge al tratar de optimizar el sistema de enfriamiento de moldura de las máquinas formadoras, para dar solución a los problemas del sistema de enfriamiento actual, el cual funciona por medio de aspersión de agua, volviendo el ambiente inadecuado para el funcionamiento óptimo de las máquinas formadoras.

El sistema de enfriamiento de moldura hace parte de la fase de formación del envase, y es de suma importancia debido a que, del molde depende que el envase tome la forma requerida, asegurando así un crecimiento en la eficiencia de producción.

## **CICLO DE PRODUCCIÓN DE FORMACIÓN DE ENVASES**

**Fundición del vidrio.** El horno derrite vidrio reciclado (vidrio ya usado y triturado), arena, ceniza de sosa, piedra caliza y otras materias primas.

**Formado del envase.** Un refinador desparrama el vidrio fundido sobre un área, llamada horno de afino, que hace que la temperatura del vidrio sea uniforme. Luego, el sistema de corte y de distribución corta el vidrio fundido del alimentador en forma de masas uniformes de vidrio y los envía a una máquina moldeadora de sección individual (I. S., Individual section). Esta máquina moldea las masas de vidrio y les da la forma del molde. La temperatura del vidrio desciende a menos de 2100 F y los envases de vidrio una vez formados salen de la máquina a través de una placa de enfriamiento en la que se enfrían rápidamente a menos de 900 F. El vidrio pasa del estado líquido al sólido.

**Acondicionamiento del envase.** Una vez formados, los envases se colocan en el horno de templado, en donde se vuelven a calentar casi hasta el punto fundición y luego se enfrían gradualmente. Este nuevo calentamiento y gradual enfriamiento elimina la tensión interna.

**Tratamiento de la superficie.** La temperatura de los envases se reduce hasta 225 y 275 F. El rocío de la fase fría aplica una capa exterior a las botellas para aumentar la movilidad de sus líneas y reducir la abrasión. Esto logra mantener la fortaleza propia del envase.

**Inspección automática.** La sección de enfriamiento rápido enfría el envase a una temperatura de aproximadamente 100 F, suficiente para manipularlos. Los envases luego pasan por instrumentos que le realizan pruebas ópticas y físicas.

Embalaje y manipulación de los productos. Los envases se envían a un sitio donde se los coloca sobre una plataforma de carga. Con una máquina flejadora se colocan bandas plásticas. Finalmente, se las cubre con una película plástica adherente (@O-I).

## **SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DE MOLDURA**

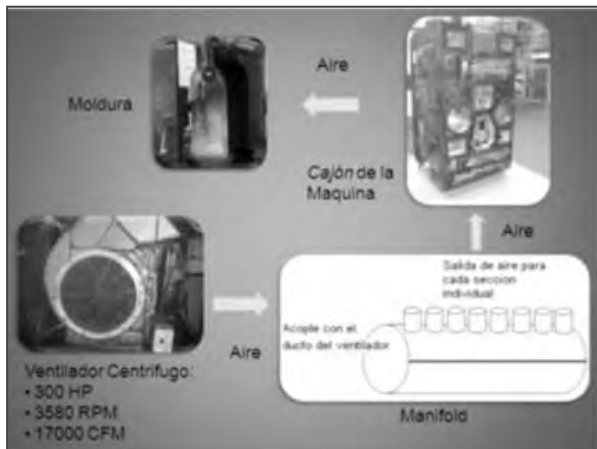
El sistema de enfriamiento de las máquinas formadoras de O-I PELDAR comienza bajo éstas, aquí se encuentra el cuarto de ventiladores para el enfriamiento de las diferentes partes de la máquina, entre estas la moldura. Un ventilador centrífugo de 300 HP y 3580 RPM succiona aire proveniente del exterior a temperatura ambiente, generando 17.000 pies cúbicos por minuto de aire.

Todo el aire que sale del ventilador es dirigido por medio de un ducto al *Manifold*, el cual es un compartimiento ubicado debajo de la máquina formadora, esta hace la función de distribuir el aire en cada una de las secciones individuales. Las entradas de aire de cada una de las secciones llegan al *Cajón*, es la parte de la máquina donde se distribuyen las mangueras neumáticas y de lubricación de los diferentes mecanismos, conteniendo también algunos de estos.

Finalmente el aire luego de atravesar el cajón de abajo hacia arriba, llega a los Llevadores de Premolde y Molde. Éstos son los encargados de abrir y cerrar los moldes y los premoldes respectivamente. El aire entra al Llevador, pasa al interior, y sale por medio de orificios que están en la superficie de contacto directo con la moldura enfriándola de esta manera.

Para hacer más eficiente el sistema de enfriamiento se reduce la temperatura del aire del cuarto de ventiladores saturándolo con agua por medio de un sistema de aspersión de agua, el cual tiene instalados rociadores en las dos entradas de aire al cuarto, en el ducto que comunica el ventilador al manifold y en la entrada de aire del ventilador.

**FIGURA 1**  
Sistema de enfriamiento de moldura



O-I PELDAR 2008

## FALLAS DEL SISTEMA

Al incrementar la humedad en el ambiente se presentan problemas de corrosión que afecta el sistema de enfriamiento, en partes como el ventilador, el ducto de aire, el manifold, o en las entradas de aire a la máquina. Además del daño ocasionado en los mecanismos de la máquina formadora afectando directamente la producción y causando elevados costos en repuestos y en producto defectuoso.

Otro problema es la seguridad de los trabajadores, la corrosión al ser responsable por los daños en los componentes del sistema de enfriamiento también es responsable por los accidentes que ocurren a las personas que ejercen sus tareas diarias dentro del cuarto de ventiladores como los encargados de la limpieza o mecánicos, que se pueden ver afectados por una posible falla de cualquier componente del sistema, por ejemplo la caída de una parte del ducto que está ubicado a gran altura o el desprendimiento de una pieza metálica dentro del ducto que puede ser propulsado por el ventilador, y mucho más escenarios donde se pueden causar accidentes graves a los trabajadores.

La seguridad de los empleados no solo se pueden ver afectadas por algunos de los componentes del sistema, sino que también por caídas culpa de los charcos de agua,

lodos que se forman por la mezcla de la suciedad que viene del exterior y el agua, que se forman por la humedad dentro del cuarto; o del daño de las instalaciones, estructuras y componentes de otros sistemas que hay dentro de éste.

## SOLUCIÓN DE LAS FALLAS

Como se identifico anteriormente las falencias del sistema de enfriamiento son causadas por la humedad creada por el sistema de aspersión de agua para enfriar el aire, entonces las soluciones se enfocan en eliminar el sistema de aspersión pero manteniendo la reducción de temperatura que por este se obtiene.

Al eliminar el sistema de aspersión de agua, se vuelve a incrementar la temperatura del aire que es dirigido a la máquina, frente a este problema se tiene que pensar en una herramienta que permita disminuir la temperatura evitando el contacto entre el aire y el agua.

Un intercambiador de calor permite enfriar un fluido que está más caliente de lo deseado, transfiriendo este calor a otro fluido que está frío. La transferencia de calor se realiza a través de una pared metálica o de un tubo que separa ambos fluidos. Para las condiciones de la empresa en la cual se desarrolla el proyecto, el intercambiador más indicado es el de flujo cruzado

**FIGURA 2**  
Intercambiador de calor de flujo cruzado



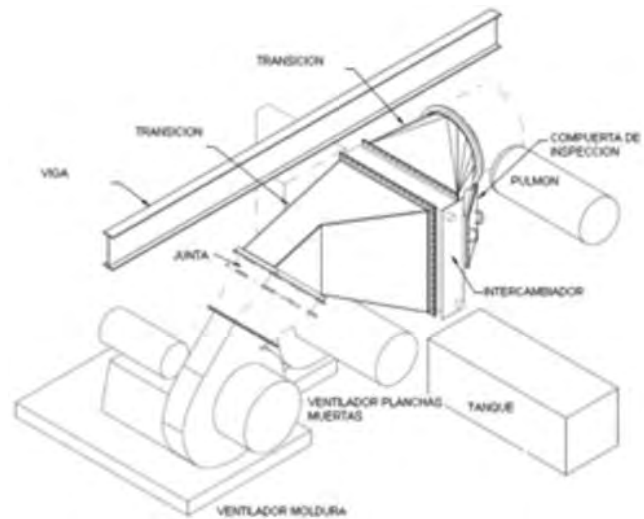
O-I PELDAR 2008

## MONTAJE

Se decide que el área del intercambiador debe de ser la misma del ducto de aire, para conservar las mismas condiciones del aire, porque en el caso de reducir el área puede haber un incremento en la temperatura por la subida de presión. Existe una limitante de espacio en caso de que se quiera hacer mayor el área del intercambiador.

Para ubicar el intercambiador verticalmente con las medidas ya definidas, se diseñan dos transiciones, pero al ubicarlo de esta manera la el ventilador y el manifold no quedan en una misma línea, entonces no habría una distribución uniforme del aire, este pasara únicamente por el sector izquierdo del intercambiador, desaprovechando prácticamente la mitad del intercambiador, reduciendo así la eficiencia térmica casi a un 50%. Para hacer más eficiente la distribución del aire dentro de las transiciones, se diseñan una serie de deflectores que hacen que el aire fluya uniformemente y pase por la toda la superficie de intercambio.

FIGURA 3  
Montaje

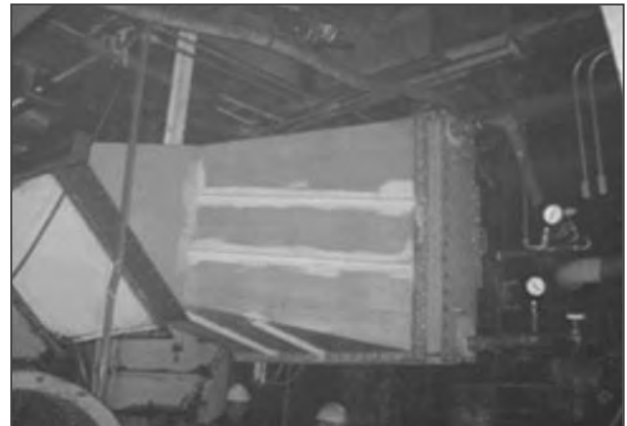
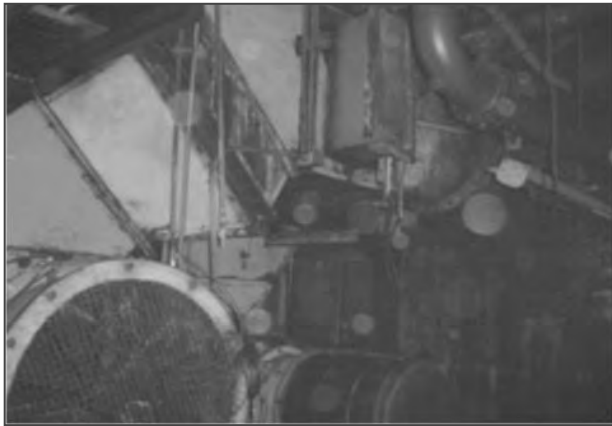


O-I PELDAR 2008

TABLA 1  
Comparación

ANTES	DESPUÉS
La Temperatura del aire de enfriamiento es de 28°C, Teniendo buenas condiciones de trabajo	La Temperatura del aire de enfriamiento es de 31°C, Manteniendo las buenas condiciones de trabajo
Presencia de charcos y lodos en el cuarto de ventiladores	Se eliminaron la presencia de charcos y lodos en el cuarto de ventiladores
Por la humedad, presencia de corrosión en el sistema de enfriamiento y en el cuarto de ventiladores	Se disminuyó la presencia de corrosión en el sistema de enfriamiento y el cuarto de ventiladores
Presencia de corrosión en los mecanismos y partes de la máquina, produciendo fallas.	Se disminuyó la presencia de corrosión en los mecanismos y partes de la máquina.

**FIGURA 4**  
Situación inicial vs Final



O-I PELDAR 2008

## **CONCLUSIONES**

Se ubicó el proceso donde se encuentra el sistema de enfriamiento de moldura dentro de todo el proceso productivo de O-I PELDAR.

El sistema de enfriamiento es una parte esencial del proceso de formación de envases, ya que de este depende la buena transferencia de calor entre el molde y el vidrio para formación de un envase sin defectos.

El problema del sistema inicial era el contacto del agua con el aire, por la aspersion.

La solución al problema anterior es un intercambiador de calor, el cual enfría un fluido por medio de otro sin que estos entren en contacto. En este caso Flujo Cruzado.

El área del intercambiador es la misma que el ducto de aire anterior, para no cambiar las condiciones de este.

Se elimino charcos y lodos, se disminuyo la corrosión dentro y fuera del sistema, manteniendo la temperatura indicada del aire para el buen funcionamiento de la máquina.

Se deja abierta la posibilidad de hacer mejoras en un futuro, con la implementación de un chiller o con el cambio del agua por un refrigerante.

## **BIBLIOGRAFÍA**

SUARÉZ ARANGO, Santiago. Properties of Glasses. O-I PELDAR. Medellín Colombia. 2007. 15p.

@TEXTOSCIENTÍFICOS Textos Científicos. Química. Corrosión. [En Línea]. [Citado Marzo 02 de 2008] Disponible desde internet: <<http://www.textoscientificos.com/quimica/corrosion>>.

@O-I Owens Illinois. Vidrio. Proceso productivo. [En Línea]. [Citado Marzo 02 de 2008] Disponible desde internet: <<http://www.o-i.com/vidrio>>.

# DISEÑO DE UNA APLICACIÓN EN EXCEL PARA LA PROGRAMACIÓN, SEGUIMIENTO Y CONTROL DEL MANTENIMIENTO PARA ESTYMA S.A.

PABLO ÁNGEL PALACIO

pangelpa@eafit.edu.co

Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS

MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

ASESOR

JUAN SANTIAGO VALLEJO JARAMILLO

SECTOR BENEFICIADO

ESTYMA S.A.

## RESUMEN

En este artículo se hablará del mantenimiento preventivo, la empresa y la aplicación en Excel para la programación, seguimiento y control del mantenimiento para Estyma S.A. Se hablará también de las necesidades que tiene la empresa las cuales serán abarcadas por dicha aplicación.

El proyecto surge de la necesidad de Estyma S.A. de implementar un programa de mantenimiento para la maquinaria que permita un monitoreo de esta, el cual permita conocer el estado presente y futuro de las máquinas involucradas.

El plan de mantenimiento es centrado en la reducción de costos y obtención de beneficios económicos para la empresa, en la minimización de inventarios de repuestos debido a la estandarización, uniformidad y métodos estratégicos de control.

## ABSTRACT

This article refers to the preventive maintenance, the company and the Excel application designed for the programming, followup and control of the maintenance activities inside Estyma S.A. The actual needs of the organization that are within the scope of the application will also be discussed.

The project is born from Estyma S.A's need of implementing a maintenance program for all of their machinery which allows them to monitor and identify both present and future status of the equipment involved.

The maintenance plan is focused on cost reduction in order to allow for larger profit for the organization, but also on minimizing spare parts' inventories as a result of standardization, uniformity and strategic control methods.





## **PALABRAS CLAVES**

Mantenimiento preventivo, Programación de mantenimiento, Maquinaria pesada e Indicadores de mantenimiento.

## **KEY WORDS**

Preventive maintenance, Maintenance programming, Heavy machinery and Maintenance indicators.

## **INTRODUCCIÓN**

Este artículo se divide en tres partes, en la primera parte se hablará del mantenimiento preventivo, de sus operaciones básicas y de las razones para que se lleve a cabo. En la segunda parte se describe la empresa y el tipo de obras en las cuales trabaja. Finalmente, se habla de la aplicación diseñada para la programación seguimiento y control de la maquinaria.

## **MANTENIMIENTO PREVENTIVO**

La tarea de mantenimiento preventivo es una tarea que se realiza para reducir la probabilidad de fallo del elemento o sistema, o para maximizar el beneficio operativo. Una tarea de mantenimiento preventivo típica consta de las siguientes actividades de mantenimiento: desmontaje, recuperación o sustitución, montaje, pruebas, verificación.

Las tareas de mantenimiento preventivo más comunes son sustituciones, renovaciones, revisiones generales, etc. Es necesario recalcar que estas tareas se realizan, a intervalos fijos (Knezevic, 1996, 53).

El mantenimiento preventivo es la ejecución planificada de un sistema de inspecciones periódicas, cíclicas y programadas y de un servicio de trabajos de mantenimiento previsto como necesario, para aplicar a todas las instalaciones, máquinas o equipos, con el fin de disminuir los casos de emergencias y permitir un mayor tiempo de operación en forma continua.

Es decir, el mantenimiento preventivo, se efectúa con la intención de reducir al mínimo la probabilidad de falla, o evitar la degradación de las instalaciones, sistemas, máquinas y equipos. Es la intervención de mantenimiento

prevista, preparada y programada antes de la fecha probable de aparición de una falla. En definitiva, se trata de dotar a la organización, de un sistema que le permita detectar y corregir el origen de las posibles fallas técnicas y no reparar las consecuencias de las mismas, una vez que éstas se han producido.

Cualquiera que sea el nivel de mantenimiento preventivo aplicado, subsistirán inexorablemente fallas residuales de carácter aleatorio. Y en forma general, reduciendo los imprevistos o fortuitos, se mejora el clima en cuanto a las relaciones humanas, porque se sabe que cuando sucede algún problema, se crea una tensión a nivel de personas.

Se debe implementar una política de mantenimiento preventivo eficaz, es decir, no se puede hacer el preventivo sin un servicio de métodos que cuantificará el costo directo del mantenimiento, que a su vez permita: la gestión de documentación técnica, preparar intervenciones preventivas, acordar con producción paradas programadas. Es decir, todas las condiciones necesarias para el mantenimiento preventivo (Torres, 2005, 130).

## **LA EMPRESA**

El proyecto se realizó en Estyma S.A. una empresa dedicada a proyectos de ingeniería civil y afines, al desarrollo de actividades de exploración, explotación, beneficio y transformación de minerales para su propio aprovechamiento ó para terceros, la construcción de todo tipo de obras públicas y privadas y a la elaboración de estudios relacionados con proyectos de ingeniería en todas sus ramas.

Actualmente desarrolla obras contratadas con entidades públicas y privadas, con especialidad en las obras subterráneas y construcción de vías y carreteras, pavimentos, movimientos de tierra, obras de concreto y puentes, certificada por la Cámara de Comercio del Aburra Sur.

La empresa cuenta con una gran cantidad de tipos de máquinas para toda clase de obras, bombas de concreto, camiones, cargadores, camperos, compactadores, compresores, excavadoras, grúas y merlos, motosoldadores,

moto-niveladoras, plantas eléctricas, retroexcavadoras, terminadoras asfálticas, tractores, volquetas y plantas de proceso.

**FIGURA 1**  
Cargador sobre llantas



Archivo Estyma S.A.

**FIGURA 2**  
Excavadora sobre orugas



Archivo Estyma S.A.

**FIGURA 3**  
Moto-niveladora



Archivo Estyma S.A.

## **NECESIDADES DE LA EMPRESA**

La disponibilidad es afectada principalmente por los mantenimientos correctivos por que estos pueden ocurrir en cualquier momento, y como no se está preparado estos arreglos se demoran mucho tiempo. Por esto la necesidad de un buen plan de mantenimiento.

La información básica de los equipos dentro de la empresa se encuentra en carpetas, pero nada en medio magnético, por la misma necesidad llevar la información se pensó en un una aplicación que manejara este tipo de maquinaria.

La aplicación debe de integrar las necesidades básicas de un programa de mantenimiento, llevar un control y una historia del trabajo de la maquinaria, debe presentar informes y debe facilitar la búsqueda de la información de la máquina.

Para la alimentación de la aplicación se debe formar una cultura de comunicación entre las obras y el taller.

En el momento no se llevan indicadores por la falta de información. Con la aplicación diseñada se tendrán los datos correspondientes a cada máquina para poder llevar los indicadores de tiempo promedio entre fallos, tiempo promedio para reparar, disponibilidad y utilización.

Estos indicadores sirven para medir la eficiencia de la máquina, del taller y del uso que se le está dando a cada equipo dentro de las obras. Sirve también para la toma de decisiones ya que estos justificarán el uso de una máquina en una obra determinada.

## **APLICACIÓN EN EXCEL**

La aplicación cuenta con un menú principal donde se pueden observar las diferentes flotas, los datos básicos, cronograma general y las horas trabajadas, además, un acceso directo al manual de ayuda del programa.

FIGURA 5  
Menú principal



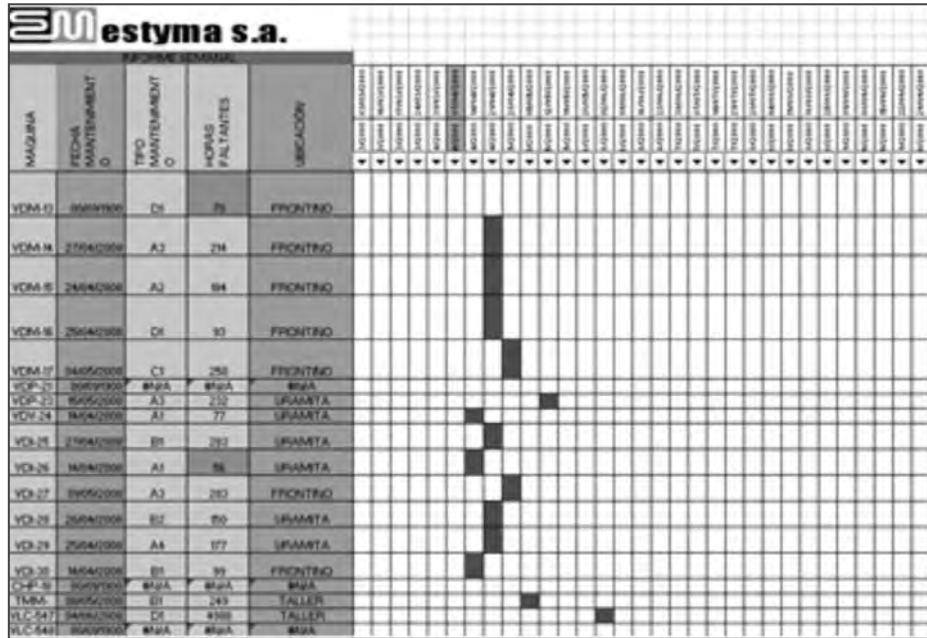
- **Datos básicos:** La ventana de datos básicos es la base de datos del programa, es donde se encuentra la información de cada una de las máquinas que se halla en la aplicación. Esta ventana sirve también como base de datos para la aplicación.

FIGURA 6  
Datos básicos

Estyma s.a.		MANTENIMIENTO				DATOS BÁSICOS DE LA I				
FECHA DE ACTUALIZACIÓN: 21 DE NOVIEMBRE 2006										
CODI	DESCRIPCIÓN	MARCA	MODELO	SERIE	CANTID	ANOS	BLU	COLOR	PLACAS	FECHA DE COM
BCA-01	BOMBA DE CONCRETO	ALLENTOUR	P-30	6394				ROJO		
BCA-02	BOMBA DE CONCRETO	ALLENTOUR	P-30					ROJO		
CEA-01	CAMION BOMBA HERRAJONERA	VORITHEATHON	SM-30	ZONABO/AN-1993			NEG	AMARILLO	1993	
CEA-02	CAMION BOMBA HERRAJONERA	VORITHEATHON	SM-30	ZONABO/AN-1993			NEG	AMARILLO	1993	
CEA-03	CAMION BOMBA HERRAJONERA	PELASSO	EDR	VICEDON/AN-1993			NEG	COBRE	1993	
CEA-04	CAMION BOMBA HERRAJONERA	CHEVROLET	SAF-100	1000000000000000			NEG	PLATA/BLANCO	1993	31-Sep-07
CEA-05	CAMION DE MANTENIMIENTO	ASTRA	SM-200	ZONABO/AN-1993			NEG	AMARILLO	1993	
CEA-06	CAMION DE TA ESTACAS	DANATSU	YTB-100	YTB-100			NEG	BLANCO	1993	
CEA-07	CAMION DE TA ESTACAS	DANATSU	YTB-100	YTB-100			NEG	BLANCO	1993	
CEA-08	CAMION DE TA ESTACAS	DA	GENES-100	1000000000000000			NEG	AZUL	1993	
CEA-09	CAMION DE TA ESTACAS	CHEVROLET	SAF-100	1000000000000000			NEG	AZUL	1993	
CEA-10	CAMION GRUA	PELASSO	EDR	YTB-100/AN-1993			NEG	BLANCO	1993	
CEA-11	CAMION GRUA	ASTRA	SMF-300P	ZONABO/AN-1993			NEG	AMARILLO		
CEA-12	CAMION GRUA	ASTRA	SMF-300P	ZONABO/AN-1993			NEG	AMARILLO		
CEA-13	CAMION TALLA ESTACAS	CHEVROLET	LUN-DAMU	1000000000000000			NEG	BLANCO		
CEA-14	CAMION TALLA ESTACAS	CHEVROLET	LUN-DAMU	1000000000000000			NEG	BLANCO		
CEA-15	CAMION TALLA ESTACAS	CHEVROLET	LUN-DAMU	1000000000000000			NEG	BLANCO		
CEA-16	CAMION TALLA ESTACAS	CHEVROLET	LUN-DAMU	1000000000000000			NEG	BLANCO		
CEA-17	CAMPERO	CHEVROLET	TRUCKER	1000000000000000			NEG	VERDE/ROJO	1993	
CEA-18	CAMPERO	CHEVROLET	TRUCKER	1000000000000000			NEG	ROJO	1993	

- **Cronograma general:** En el cronograma general se puede ver la programación de los mantenimientos dividido por semanas. También se puede observar que día, tipo de mantenimiento, las horas que le faltan para el mantenimiento y la obra en la cual se encuentra.

FIGURA 6  
Cronograma general



- **Horas trabajadas:** En esta sección se observa las horas trabajadas, disponibles y varadas que tiene una máquina en un tiempo previamente escogido, también, tiene acceso a los indicadores que se manejan: tiempo promedio entre fallos, tiempo promedio para reparar, disponibilidad y utilización.

FIGURA 7  
Horas trabajadas

AÑO		2008		TABLA 1							
MES		3		VOLVER				TABLA 2			
OBRA		URAMITA		INDICADORES							
FLOTA		(Todas)									
MÁQUINA		Datos									
CLC-05				CLC-06				CLC-14			
FECHA	HT	HD	HY	HT	HD	HY	HT	HD	HY		
01/03/2008								6	0		
02/03/2008								9	0		
03/03/2008	8	0	0					16	0		
04/03/2008	1	5	0					17	0		
05/03/2008	2	4	0					17	0		
06/03/2008	0	6	0					14	0		
07/03/2008	3	0	0					23	0		
08/03/2008	1	5	0					22	0		
09/03/2008	1	0	7	7	0	0		16	0		
10/03/2008	0	0	8	10	0	0		22	0		
11/03/2008	0	0	8					24	0		
12/03/2008								24	0		
13/03/2008				11	0	0		14	0		
14/03/2008	0	6	0	11	0	0		12	0		
15/03/2008	1	5	0	8	0	0		11	0		
16/03/2008				0	0	8		9	0		
17/03/2008	3	3	0	0	0	8		12	0		
18/03/2008	3	3	0	0	0	8		13	0		
19/03/2008	6	0	0	0	0	8		7	0		
20/03/2008											
25/03/2008	6	0	0	0	0	8		14	0		
26/03/2008				0	0	8		17	0		
27/03/2008				0	0	8		23	0		
28/03/2008				0	0	8		22	0		
29/03/2008	2	4	0	0	0	8		19	0		
30/03/2008	4	2	0	0	0	8		17	0		
31/03/2008	13	0	0	0	0	8		14	0		
Total general	54	43	23	47	0	88		414	0		

**FIGURA 8**  
Indicadores de mantenimiento

ANO	2008										
MES	4										
OBRA	URAMITA		VIA VER								
FLOTA	(Todas)										
CID.05			CLC.06		CLC.14		CNI.02				
HT	HD	HV	HT	HD	HV	HT	HD	HV	HT	HD	HV
	09	56	0	73	0	310	6	0	44		94
FALLOS	TPEF	TPPR	FALLOS	TPEF	TPPR	FALLOS	TPEF	TPPR	FALLOS	TPEF	TPPR
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DISP	UTIL		DISP		UTIL		DISP		UTIL		
	100,00%	61,38%	100,00%	100,00%	100,00%	98,10%			100,00%	31,88%	

**CONTROL DE MANTENIMIENTO**

Esta hoja calcula la fecha del próximo mantenimiento con la base en las horas trabajadas, con las cuales se alimenta el programa. Es necesario también decirle al programa cuando fue el último mantenimiento a que horómetro y de qué tipo fue, esto para ver los insumos del próximo mantenimiento.

**FIGURA 9**  
Control de mantenimiento

estyma s.a.										<b>CONTROL MANTENIMIENTO</b>																																																																									
MAQUINA: EOC-14										PRÓXIMO MANTENIMIENTO: ESPACIOS																																																																									
OBRA: LOMA HERRADIA										TIPO: 83																																																																									
<table border="1"> <tr> <th>PLANTILLA</th> <th>USO</th> <th>LA PRODUCCION</th> <th>USO</th> <th>PRODUCCION</th> <th>USO</th> <th>PRODUCCION</th> <th>USO</th> <th>PRODUCCION</th> <th>USO</th> <th>PRODUCCION</th> <th>USO</th> <th>PRODUCCION</th> <th>USO</th> <th>PRODUCCION</th> <th>USO</th> </tr> <tr> <td>83001-001</td> <td>Y</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>										PLANTILLA	USO	LA PRODUCCION	USO	PRODUCCION	USO	PRODUCCION	USO	PRODUCCION	USO	PRODUCCION	USO	PRODUCCION	USO	PRODUCCION	USO	83001-001	Y															<table border="1"> <tr> <th>PLANTILLA</th> <th>USO</th> <th>LA PRODUCCION</th> <th>USO</th> <th>PRODUCCION</th> <th>USO</th> <th>PRODUCCION</th> <th>USO</th> <th>PRODUCCION</th> <th>USO</th> <th>PRODUCCION</th> <th>USO</th> <th>PRODUCCION</th> <th>USO</th> <th>PRODUCCION</th> <th>USO</th> </tr> <tr> <td>83001-001</td> <td>Y</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>										PLANTILLA	USO	LA PRODUCCION	USO	PRODUCCION	USO	PRODUCCION	USO	PRODUCCION	USO	PRODUCCION	USO	PRODUCCION	USO	PRODUCCION	USO	83001-001	Y														
PLANTILLA	USO	LA PRODUCCION	USO	PRODUCCION	USO	PRODUCCION	USO	PRODUCCION	USO	PRODUCCION	USO	PRODUCCION	USO	PRODUCCION	USO																																																																				
83001-001	Y																																																																																		
PLANTILLA	USO	LA PRODUCCION	USO	PRODUCCION	USO	PRODUCCION	USO	PRODUCCION	USO	PRODUCCION	USO	PRODUCCION	USO	PRODUCCION	USO																																																																				
83001-001	Y																																																																																		
<b>LIBRO DE MANTENIMIENTO</b>										<b>LISTADO DE MAQUINARIA</b>																																																																									
FECHA	INICIO	TERMINO	DISPONIBLE	VARIADO	OBRA	Horas trabajadas	HRICIA	Horómetro próximo mantenimiento	HORAS FALTANTES	Fecha proximo mantenimiento	Fecha mantenimiento realizado	HR																																																																							
14/03/2008	8302	8303			LOMA HERRADIA	8	80,00		87																																																																										
15/03/2008	8303	8377			LOMA HERRADIA	8	80,00		87																																																																										
17/03/2008	8377	8283			LOMA HERRADIA	8	85,25		117																																																																										
18/03/2008	8283	8282			LOMA HERRADIA	9	84,8		128																																																																										
19/03/2008	8282	8289			LOMA HERRADIA	7	85,7		121																																																																										
20/03/2008	8289	8406			LOMA HERRADIA	6	7,23		126																																																																										
24/03/2008	8406	8416			LOMA HERRADIA	10	7,67		126																																																																										
24/03/2008	8416	8423			LOMA HERRADIA	8	8,00		117																																																																										
27/03/2008	8423	8421			LOMA HERRADIA	8	8,67		89																																																																										
28/03/2008	8421	8440			LOMA HERRADIA	9	8,20		80																																																																										
30/03/2008	8440	8443			LOMA HERRADIA	3	8,83		77																																																																										
30/03/2008	8443	8452			LOMA HERRADIA	9	7,88	8620	88	18/04/2008																																																																									

**CONCLUSIONES**

En Estyma S.A., se cuenta con una gran variedad de maquinaria, desde equipo menor hasta maquinaria pesada, lo que le permite ejecutar distintos tipos proyectos sin importar el tamaño, contando con un taller bien dotado de personal calificado y herramientas adecuadas.

Los manuales de los fabricantes tienen gran importancia dentro del mantenimiento, porque contienen toda la

información sobre cada uno de los componentes que poseen las máquinas, describiendo paso a paso las labores que se deben ejecutar y cada cuanto se deben realizar.

Los indicadores permiten medir los tiempos de la maquinaria para la toma de decisiones en el instante adecuado. También permiten un control y seguimiento dentro de cada una de las distintas obras. Los indicadores escogidos fueron por que los indicadores seleccionados fueron tiempo promedio entre fallos, tiempo promedio para reparar,

disponibilidad y utilización, ya que estos son los principales para la toma de decisiones con la información con la que se cuenta.

Se incluyeron en la aplicación formatos de calidad de la empresa por su importancia en el control de la maquinaria y el proceso de certificación de la empresa.

Un correcto mantenimiento permite aumentar la vida útil de la maquinaria, sacándole mayor provecho a la inversión, disminuyendo los tiempos de paro por daños que pueden ser detectados con anterioridad durante los mantenimientos preventivos, evitando un mayor costo en los arreglos de mayor magnitud.

Se obtuvo la información para la base de datos de la aplicación, agilizando la consecución de información sobre la maquinaria al tenerlos en medios magnéticos, de forma accesible para cualquier usuario de la empresa.

Antes en la empresa no se manejaba información magnética con respecto a las labores de mantenimiento por lo tanto el control y seguimiento de la maquinaria no se llevaba, ahora con la aplicación se sabe en donde esta cada una de las máquinas, cuanto han trabajado en cada obra, cuanto les falta y aproximadamente cuando es el mantenimiento de esta, sabiendo los insumos necesarios para cada tipo de mantenimiento.

Se desarrolló una aplicación la cual permite la programación, seguimiento y control del mantenimiento en función de las necesidades que posee la empresa, de fácil manejo para cualquier persona que tenga conocimientos básicos de Excel que es una herramienta con la cual cuenta la empresa.

Se aumentó la certeza en la realización de los mantenimientos en fechas, lugares e insumos consumidos, llevando un seguimiento y un control que antes no se llevaba.

Se lleva un control de las horas trabajadas, disponibles y varadas de cada máquina lo que facilita las labores de cobro hacia las obras y generando indicadores para determinar si una máquina justifica estar en una determinada obra.

## **BIBLIOGRAFÍA**

Caterpillar, Manual de operación y mantenimiento Excavadora 320C, SSBU7342-03, julio 2003.

\_\_\_\_\_, Parts manual 320C & 320C L Excavators, SEBP3884, marzo 2003.

Escobar, Luis; Villa, Enrique y Otros. Confiabilidad: Historia, estado del arte y desafíos futuros. Medellín, noviembre, 2003. Revista DYNA. ISBN: 0012-7353

Estyma, Archivo, citado 2008

Mora Gutiérrez, Alberto. Mantenimiento estratégico para empresas industriales o de servicios. Medellín, noviembre, 2005. AMG. ISBN: 958-33-8218-3.

Torres, Leandro Daniel. Mantenimiento- su implementación y gestión. Argentina, 2005. Editorial Isdefe. ISBN: 84-89338-09-4.

Vallejo Jaramillo, Juan S. Desarrollo, Validación, Contraste y Pronóstico del Cálculo CMD. Medellín, 2004.

# **DISEÑO DE UN FRENO PRONY PARA LA MEDICIÓN DE POTENCIA**

**LAURA GUTIÉRREZ BENÍTEZ**

lgutier7@eafit.edu.co

Departamento de Ingeniería Mecánica

**CARLOS ANDRÉS CORRALES POSADA**

ccorrale@eafit.edu.co

Departamento de Ingeniería Mecánica

**AREA DE ÉNFASIS**

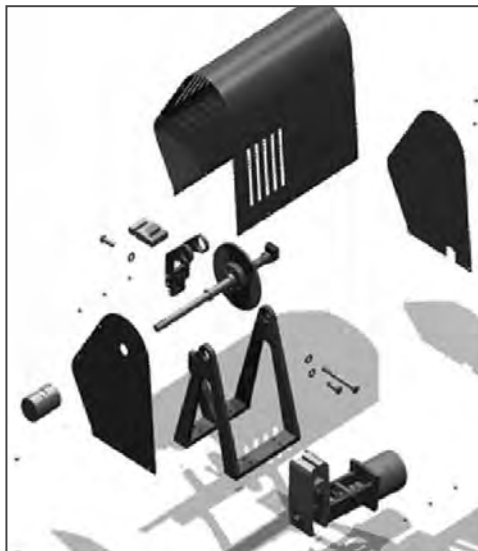
DISEÑO DE SISTEMAS TÉCNICOS

**ASESOR**

LUIS FERNANDO QUIRÓS MORALES

**SECTOR BENEFICIADO**

UNIVERSIDAD EAFIT Y SECTOR INDUSTRIAL



## **RESUMEN**

En este artículo se presenta todo el proceso de diseño de un dinamómetro estilo freno Prony, usado para la medición de potencia de motores eléctricos y de combustión interna, que para el caso llegará a medir 10HP (ó 7.46kW). Partiendo de una investigación preliminar, pasando minuciosamente por los procesos de diseño conceptual y de detalle hasta la obtención de la modelación final junto con los planos de taller, todo adaptado a las condiciones y alcances del medio industrial colombiano.

## **ABSTRACT**

This article shows the design process of a Prony brake dynamometer, used for the power measurement of electrical motors and internal combustion engines, for this case capable of measuring up to 10HP (or 7.46kW). Starting from a preliminary investigation, carefully passing through the conceptual and detailed design processes until obtaining the final modeling with the workshop drawing, everything adapted to the Colombian manufacturer environment and means.

## **PALABRAS CLAVES**

Potencia, motor, diseño mecánico, freno Prony, dinamómetro, velocidad angular, torque, medición.

## **KEY WORDS**

Power, engine, motor, mechanical design, Prony brake, dynamometer, angular velocity, torque and measurement.

## **INTRODUCCIÓN**

En el mundo industrializado muestra desde sus comienzos, la utilización de máquinas que han requerido diversas formas de propulsión del movimiento, desde la fuerza humana, hasta lo que se tiene ahora, identificada como fuerza mecánica y eléctrica.

En la creación y desarrollo de los motores, han intervenido diversas formas de fuerza y energía que involucran el uso del hombre en su día a día.

De esta manera, se tiene en cuenta que el motor necesita ser medido para confirmar la potencia que necesita para mover una máquina.

Se busca ofrecer, una buena herramienta de medida diseñada pensando en la fácil obtención y fabricación de sus componentes dentro del ámbito industrial colombiano y para ser utilizada dentro del mismo, sirviendo para obtener valores más reales de la salida de potencia de un motor.

Para finalizar, es importante tener en cuenta que la tecnología que se adquiera para mejorar la vida del hombre y el desarrollo de máquinas especializadas, es un paso más del hombre hacia el descubrimiento de la ciencia y entre otras cosas permite que el hombre desarrolle sus oficios de manera más práctica y rápida, encontrando en la nueva tecnología eficiencia que no se encontraba en las otras máquinas o herramientas que hacen hoy por hoy la vida más útil y cómoda para el ser humano.

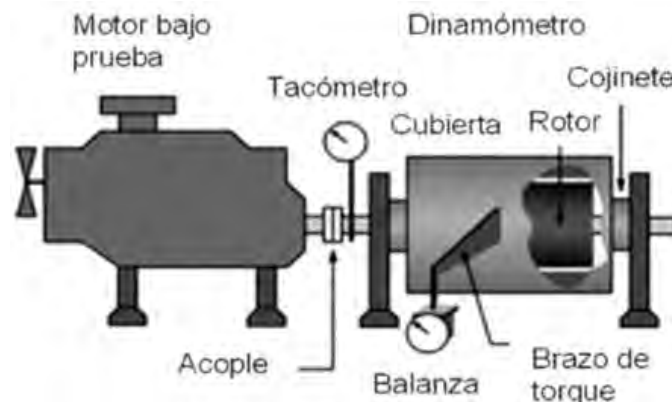
## ETAPA I

El proceso de diseño comenzó con la realización de las investigaciones correspondientes y cálculos necesarios para obtener la base teórica que permita realizar el diseño de un freno tipo Prony.

Primero se investigó acerca de los dinamómetros los cuales son definidos como una máquina usada para medir torque y velocidad angular, en la que puede calcularse la potencia producida por un motor de combustión, motor eléctrico o cualquier máquina con principio rotacional. Estos pueden dividirse en motorizados y de absorción o también llamados pasivos.

El proyecto fue basado en los dinamómetros de absorción en el cual se encuentra el freno Prony. Éste es de absorción debido a que es un dinamómetro impulsado por el motor al cual es acoplado, su freno está basado en la fricción mecánica y está compuesto de las siguientes partes:

FIGURA 1  
Partes de un freno Prony



Wikipedia@,2008

Continuando con la investigación para obtener una buena base teórica, se analizaron los comportamientos de los motores.



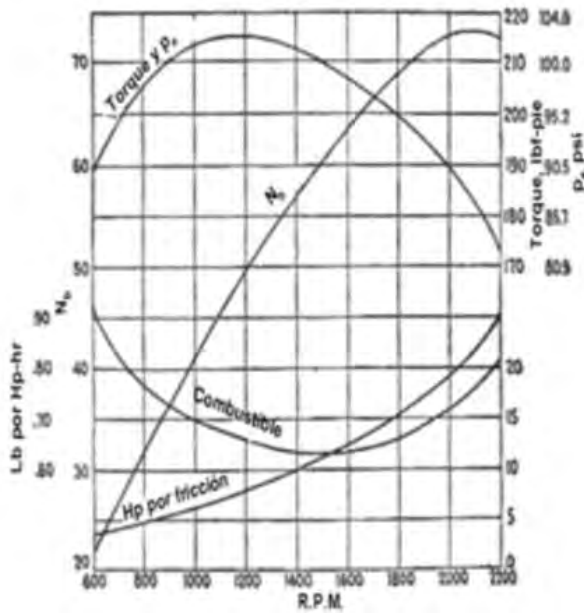
### Motores de combustión interna

“Un motor de combustión interna es un tipo de máquina que obtiene energía mecánica directamente de la energía química producida por un combustible que arde dentro de una cámara de combustión, la parte principal de un motor”.

Se analizó su clasificación y correspondientes definiciones hasta llegar a las curvas de desempeño de éstos, donde se obtuvieron gráficas como las que se muestran en las figuras 2, 3 y 4.

FIGURA 2

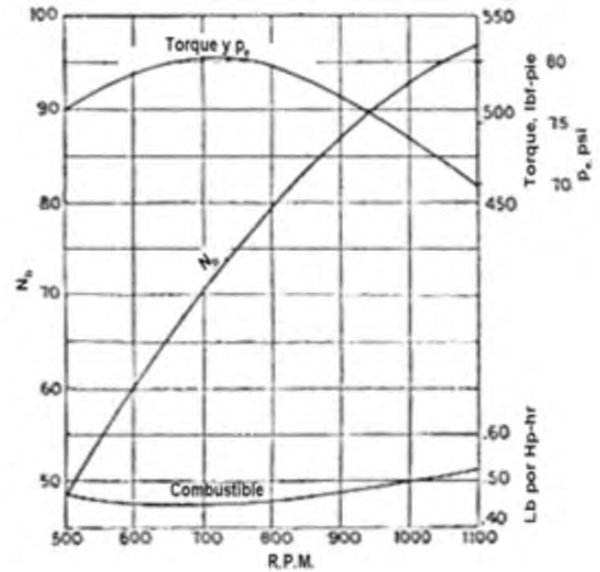
Curva de desempeño de un motor industrial a gasolina de 60 HP de potencia nominal de 4 cilindros



Maleev

FIGURA 3

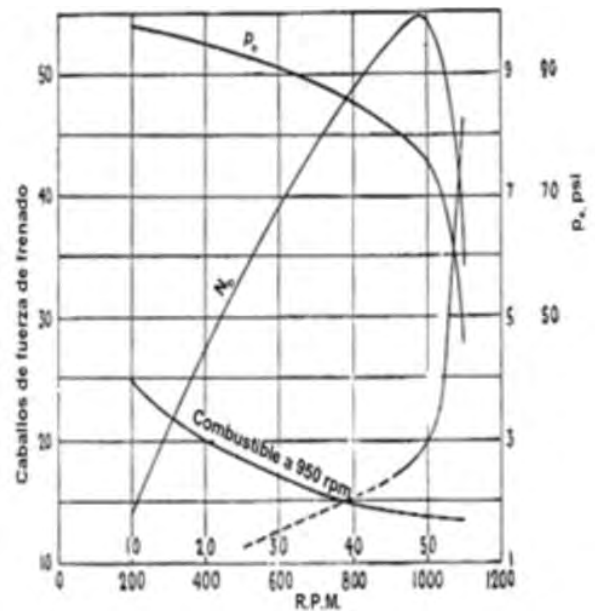
Curvas de desempeño de un motor de aceite de ignición por compresión



Maleev

FIGURA 4

Curvas de desempeño de un motor a gas natural de 45 hp de potencia nominal

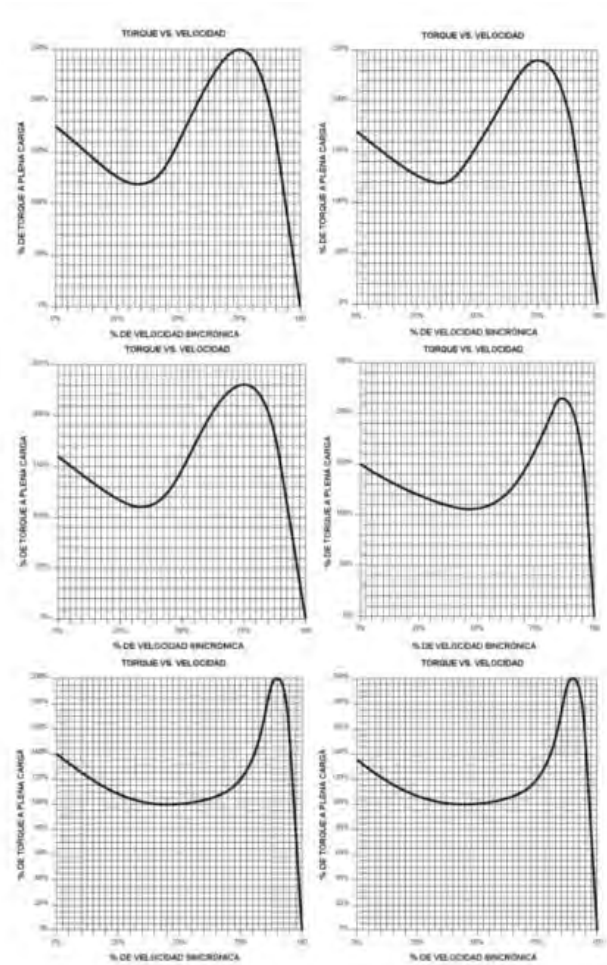


Maleev

## Motores eléctricos

Los motores eléctricos pueden definirse como un dispositivo encargado de transformar energía eléctrica en energía mecánica por medio de la interacción de campos magnéticos. Las curvas de desempeño más importantes son:

FIGURA 5  
Curvas de desempeño para un motor sincrónico

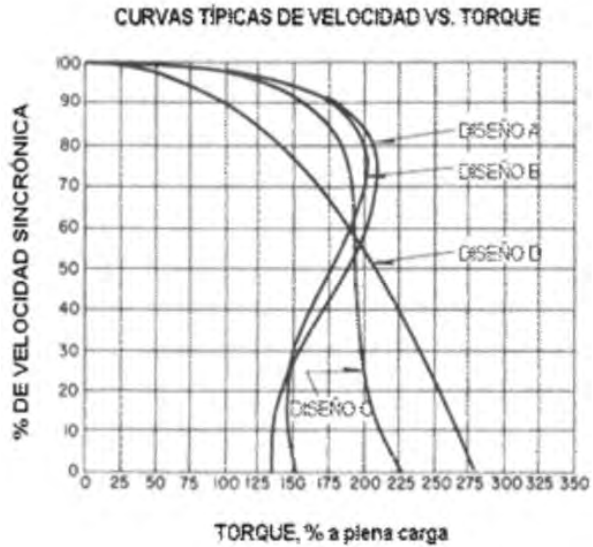


SIEMENS@,2008

Figuras correspondientes a motores síncronos de 1.5, 2, 3, 5, 7.5 y 10 HP

FIGURA 6

Curva de desempeño para los motores de inducción jaula de ardilla clase A, B, C y D



Pump handbook

## ETAPA II

Luego de haber encontrado toda la información necesaria para construir una base teórica sólida, se continuó con el diseño conceptual, en el cual se adoptó la metodología de Nigel Cross. Se definieron objetivos importantes para el diseño, como: seguridad, confiabilidad de resultados, facilidad de uso y facilidad de transporte.

Se establecieron las funciones mirando la máquina en su sentido más general, desde el punto de vista funcional, es decir, lo que esta debe hacer. La máquina será diseñada para medir potencia, como ya se sabe, y como todo sistema debe tener unas entradas y unas salidas que se prevé son las que se pueden observar en la figura 7, una representación en forma de caja de lo que es el freno Prony.

Una forma más detallada de entender lo que se muestra en la figura 7, es la estructura funcional, la cual se obtuvo mediante la división en subfunciones como: acoplar con el eje del motor, transformar torque en fuerza, medir velocidad angular, medir fuerza, recopilar e interpretar datos.

FIGURA 7  
Caja negra

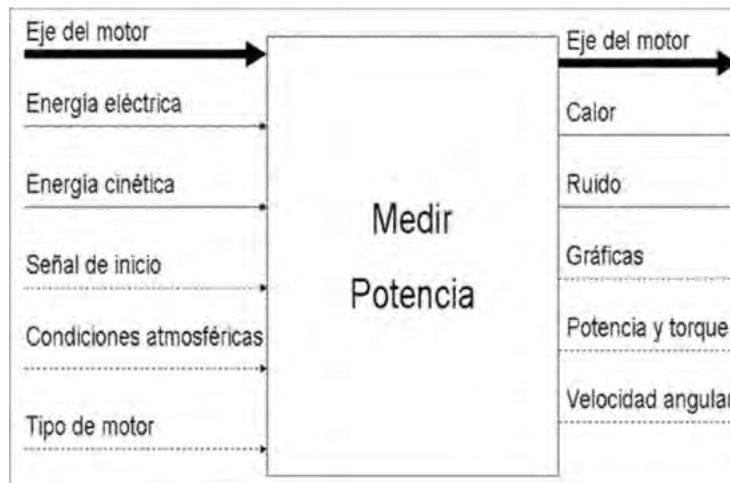
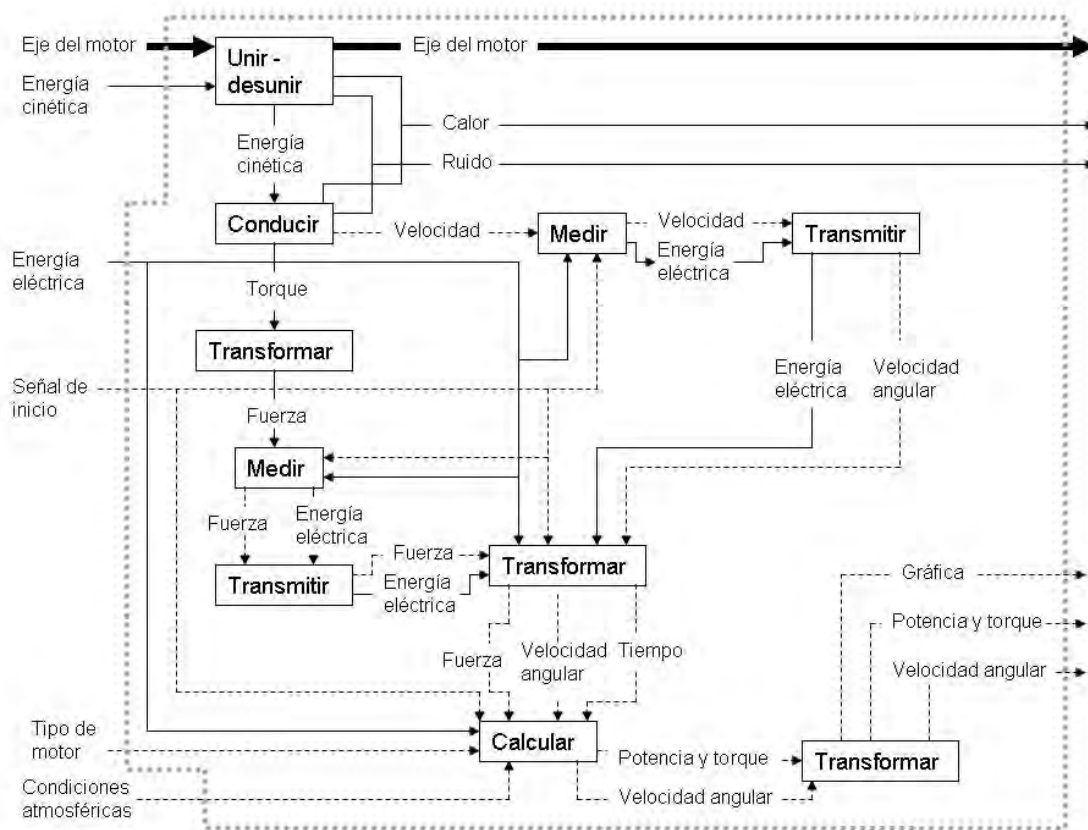


FIGURA 8  
Estructura funcional del freno Prony



El siguiente paso, fue fijarle unos límites al diseño donde básicamente se definieron los siguientes requerimientos.

TABLA 1  
Requerimientos básicos

REQUERIMIENTOS	
Potencia nominal	10 HP (7.46 kW)
Torque máximo	65 N.m
Velocidad angular máxima	12000 rpm
Peso máximo	150 kg
Dimensiones máximas	600 x 450 x 450 mm
Resolución mínima del medidor de velocidad	1 rpm
Frecuencia de la toma de datos	0.01 s
Velocidad del procesador mínima por minuto	1 kHz

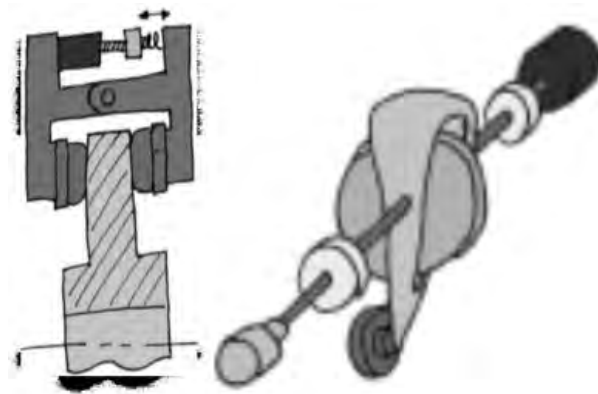
Teniendo lo anterior se generaron unas alternativas para la configuración del freno Prony. Las planteadas fueron: polea y banda y freno y brazo de torsión. La última configuración fue la elegida, debido a su sencillez.

Con la configuración para el freno Prony definida, se realizó un diagrama morfológico, en el cual se establecieron funciones secundarias que deben ser desempeñadas éste y se analizaron sus posibles soluciones. Para este, se obtuvo mediante una evaluación de las opciones que se utilizarían, los componentes son los siguientes:

- Acople elástico dentado (sistema de acople).
- Freno de disco (freno).
- Motor eléctrico, tornillo de potencia y resorte (sistema de activación del freno).
- Encoder (medidor de velocidad).
- Celda de carga (medidor de fuerza).
- Tarjeta de adquisición de datos (controlador).
- NI – LabView (software).

Con los componentes definidos, se pasó a hacer configuraciones gráficas de las partes básicas del sistema en general, así como también para el sistema de frenado. El resultado fue:

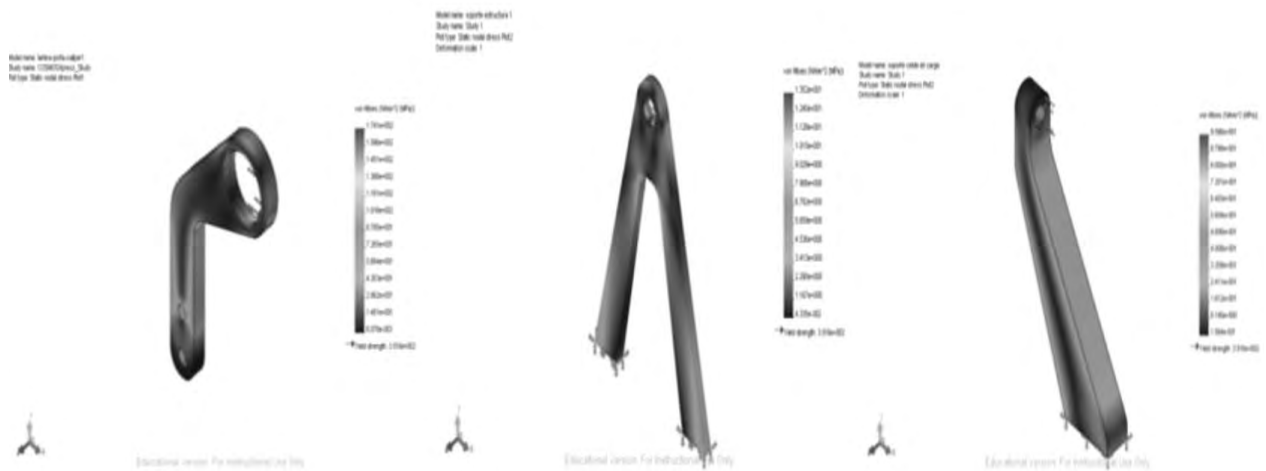
FIGURA 9  
Configuraciones gráficas



### ETAPA III

Esta etapa fue en la que se realizó el diseño de detalle del freno Prony, se calcularon partes críticas como: cálculos estáticos, cálculo del eje, cálculo del resorte, cálculo del tornillo de potencia, cálculo del pasador y cálculo de las sujeciones con tornillo. Además se seleccionaron los componentes comerciales y se hicieron las simulaciones correspondientes a algunas partes críticas.

**FIGURA 10**  
Simulación de partes críticas



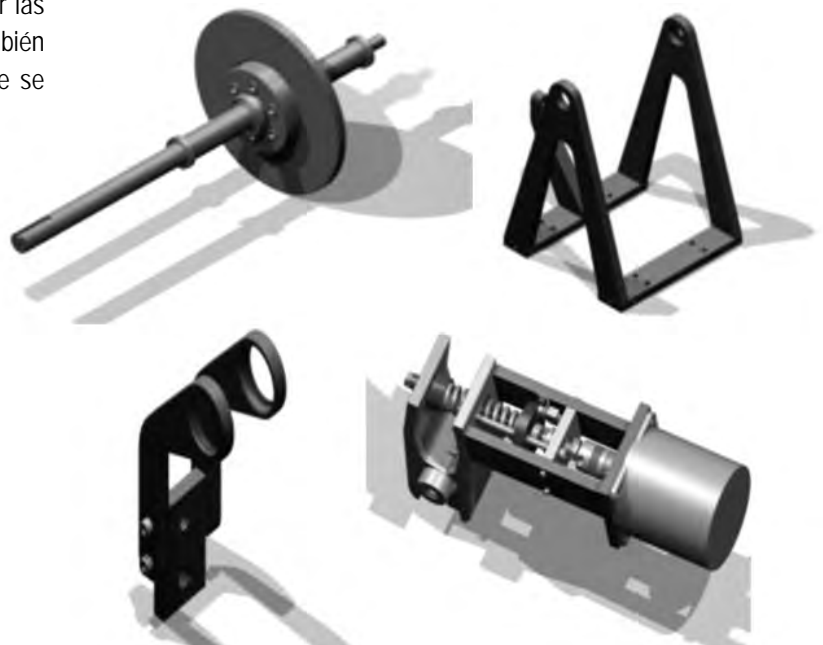
**ETAPA IV**

Por último se procedió a hacer los planos de taller de cada una de las piezas, en los cuales se pueden encontrar las especificaciones necesarias para su fabricación. También se presentaron los planos de ensambles, en los que se muestra claramente en qué lugar debe ir cada pieza.

**FIGURA 11**  
Modelación final



**FIGURA 12**  
Sistemas que conforman el freno Prony



**FIGURA 13**  
**Ensamble de los sistemas**



## **CONCLUSIONES**

El diseño del freno Prony, es importante ya que le permite a muchas empresas de la industria colombiana tener conocimiento de la potencia entregada por los motores de accionamiento de los equipos con los que trabaja diariamente.

El freno Prony no es una máquina comúnmente conocida en el medio industrial nuestro, por lo que se consultó mucha información, criterios y procedimientos de diseño incluidos en esta tesis constituyen una base de consulta para aplicaciones futuras relacionadas con la selección o cálculo de dispositivos de medición de la potencia entregada por los motores de accionamiento.

Se considera que, con el proceso de detalle basado en Nigel Cross se logró un entendimiento bastante completo de la máquina, lo cual permitió seleccionar a partir de una exploración detallada, las mejores soluciones para cada subsistema y para el sistema completo del freno Prony y así, dar cumplimiento con la función deseada.

En el proceso de diseño se evaluaron todas las partes que se consideraron críticas para el buen funcionamiento

el freno, basándose en metodologías confiables y conservadoras como las presentadas en el libro de Shigley 92 en la utilización de los software de simulación, siguiendo las recomendaciones de los fabricantes y teniendo en cuenta situaciones extremas a las que la máquina eventualmente podría llegar a estar sometida, lo cual brinda un razonable grado de confianza y seguridad en cuanto a durabilidad y reducción de probables condiciones de falla.

Se realizó la modelación de la máquina, lo cual incluyó la forma geométrica de cada pieza la dinámica del conjunto y el ensamble mismo, con lo que se puede afirmar que el equipo tendrá un adecuado desempeño no solo durante su funcionamiento sino también para realizar el montaje del mismo.

## **BIBLIOGRAFÍA**

CROSS, Nigel. (2005). Métodos de diseño: Estrategias para el diseño de productos. México D.F: Limusa Wiley. 190 p.

KARASSIK, Igor J. (1976) .Pump handbook. Estados Unidos: McGraw Hill. P.6-3.

MALEEV, V. L. (1945). Internal-Combustion Engines; Theory and Design. New York:McGraw-Hill. 636p.

NORTON, Robert L. (1999). Diseño de máquinas. México: Prentice Hall. 1080p.

SHIGLEY, Joseph Edward y MISCHKE, Charles R. (2002). Diseño en ingeniería mecánica. 6 ed. México: McGraw Hill. 1258p.

WIKIPEDIA, The Free Encyclopedia. (2008). Dynamometer <http://es.wikipedia.org/wiki/Dynamometer/> (Febrero. 2008).

SIEMENS. Nema frames application manual. <http://www2.sea.siemens.com/Products/Electric-Motors/NEMA-AC-Motors/NEMA-Application-Manual.htm> (Abril. 2008).

# **EXPLORACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS NECESARIAS PARA EL DESARROLLO DE APLICACIONES CON CELDAS DE COMBUSTIBLE EN COLOMBIA**

SERGIO DAVID PALACIO VENEGAS

spalaci1@eafit.edu.co

Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS

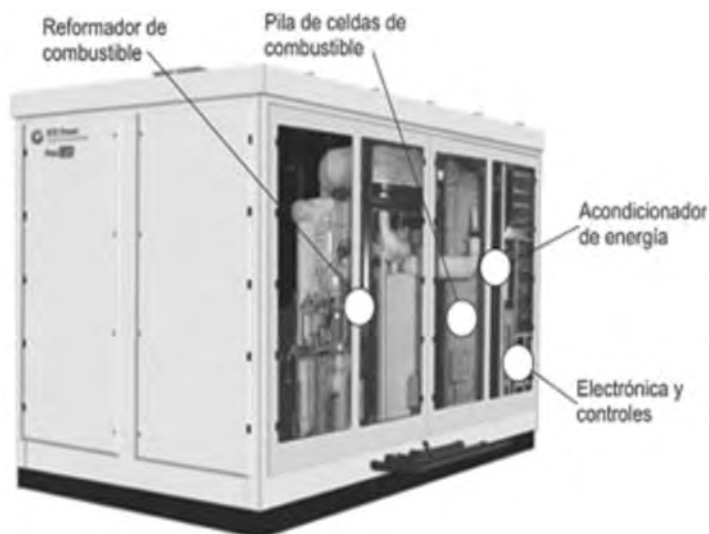
DISEÑO DE SISTEMAS TÉCNICOS

ASESOR

LUIS SANTIAGO PARIS LONDOÑO

SECTOR BENEFICIADO

UNIVERSIDAD EAFIT



## **RESUMEN**

Las celdas de combustible son el apasionante mundo, hasta cierto punto romántico, de obtención de energía lo más limpia posible a partir del elemento más abundante de la naturaleza (y del universo): Hidrógeno ( $H_2$ ). Embellece dicho romanticismo la idea casi platónica de tener como "único" sub producto agua potable.

## **ABSTRACT**

The fuels cells are the exciting world, somewhat romantic, of obtain energy as clean as possible from the most abundant element of nature (and the universe): hydrogen ( $H_2$ ). Is utopian the idea almost platonic of having as "unique" sub product water.

## **PALABRAS CLAVES**

Celdas de Combustible, Hidrógeno, Calentamiento Global, energías alternativas, metanol.

## **KEYWORDS**

Fuels cells, Hydrogen, Global Warming, Alternative energies and methanol.

## **INTRODUCCIÓN**

Partiendo de la necesidad por conocer esta nueva tecnología es debido realizar un acercamiento encaminado al desarrollo de aplicaciones útiles y la presentación de todas las variables que intervienen en el posible establecimiento de un mercado para las celdas de combustible. Bajo esta línea se debe entender todos los pormenores al respecto del rendimiento energético de las celdas, cuales son las posibles vías de movilidad para las aplicaciones y cuáles son los posibles actores y escenarios empresariales en la meta por el establecimiento de una industria entorno aplicaciones con fuente principal las celdas de combustible.

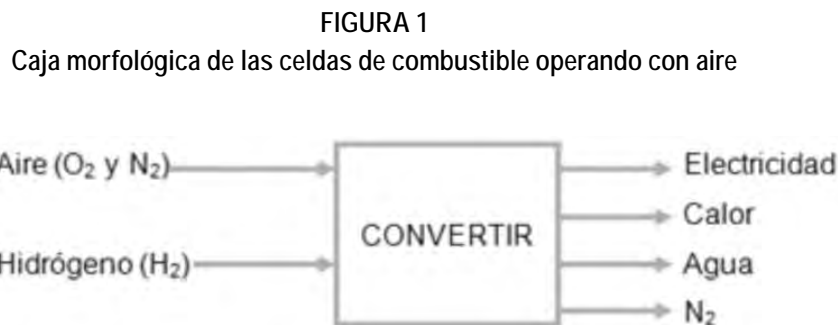
## **CELAS DE COMBUSTIBLE: DESCRIPCIÓN, ESTRUCTURA Y APORTE AMBIENTAL**

Las celdas de combustible se pueden representar morfológicamente, tal y como se ve en la figura 1, como un dispositivo que convierte el oxígeno del aire y el suministro de hidrógeno del combustible en electricidad como producto principal, a su vez tiene como sub productos agua en forma líquida o gaseosa (según el tipo de celda) y hay una pequeña cantidad de calor que se disipa a través del dispositivo

Las celdas de combustible por lo tanto son semejantes a las baterías, con las cuales comparten la naturaleza electroquímica en el proceso de generación de energía, y a los motores que (no siendo tan semejantes a las baterías)

trabajan continuamente al consumir un combustible de una cierta clase. Aquí es donde las analogías terminan. A diferencia de los motores o de las baterías, las celdas de combustible no necesitan recargarse, funcionan de manera eficiente, y (cuando se utiliza el hidrógeno como combustible) genera solamente energía y agua potable. Es por esto que le conoce como un motor cero emisiones.

Idealmente se hace de celdas funcionando con  $O_2$  pero es común encontrar celdas funcionando con aire, es interesante ver lo que le pasa al nitrógeno (existente hasta en un 78% de la composición del aire), el cual entra a la celda y gran porcentaje sale por el campo de flujo del oxidante junto con el agua. Parte del mismo entra en la reacción que se produce en la membrana que puede imposibilitar la reacción completa disminuyendo un poco la eficiencia de conversión.



## **TIPOS DE CELAS DE COMBUSTIBLE**

Una gran variedad de celdas de combustible que existen actualmente pueden ser caracterizadas por el electrolito usado. Todas estas celdas de combustible funcionan con el mismo principio básico. En el ánodo, un combustible (usualmente hidrógeno) es oxidado en electrones y protones, y en el cátodo, el oxígeno es reducido en una especie de óxido. Dependiendo del electrolito, ambos protones o iones del óxido son transportados a través del conducto iónico pero electrónicamente el electrolito se aísla al combinarse con el óxido o con los protones para generar ya sea energía eléctrica o agua.

### **Celda de combustible Intercambiadora de Protones - PEMFC**

Ventajas:

- Su electrolito sólido reduce la corrosión y problemas de manejo.
- Su Baja temperatura de uso permite una puesta en marcha rápida.
- Cuando se usa solamente hidrógeno como combustible pueden tener eficiencias hasta del 60%.



**Desventajas:**

- La baja temperatura de uso hace necesario el tener catalizadores muy costosos.
- Su alta sensibilidad ante impurezas en el combustible.

**Celda de combustible de Alcalina - AFC****Ventajas:**

- Su excelente y rápida reacción del electrolito en el cátodo lo que la hace una de las celdas con mayor eficiencia (hasta del 70%).

**Desventajas:**

- La alta sensibilidad que tiene el electrolito a contaminación con  $\text{CO}_2$  hace necesario utilizar hidrógeno de alta pureza aumentando costos.

**Celda de combustible de Ácido Fosfórico - PAFC****Ventajas:**

- Aceptan impurezas en el combustible de hasta el 1% de CO.
- Si se utiliza en un sistema de cogeneración del vapor generado puede llegar a tener eficiencias de hasta 85% mucho más que el 30% máximo alcanzado por una máquina térmica.

**Desventajas:**

- Requiere el uso de un catalizado de platino debido a su lento arranque, esto aumenta considerablemente su costo.
- Son de muy gran tamaño y peso.

**Celdas de combustible de Carbonato fundido - MCFC****Ventajas:**

- Tiene una alta eficiencia debido a la alta temperatura de uso que permite mejor la conductividad.
- Se pueden usar varios tipos de catalizadores aparte del de platino.

**Desventajas:**

- La alta temperatura de uso acelera la corrosión y el desgaste de los componentes de la celda.

**Celda de combustible de Óxido Sólido - SOFC****Ventajas:**

- Alta eficiencia por la alta temperatura de uso.
- Mismas ventajas de las PEMFC al tener un electrolito sólido.

**Desventajas:**

- La alta temperatura hace que los componentes internos se dañen con mayor facilidad.

**TERMODINÁMICA DE LAS CELDAS DE COMBUSTIBLE**

Las celdas de combustible, aunque no son parecidas a las máquinas térmicas, suelen compararse contra estas ya que la termodinámica que se usa para describir las máquinas térmicas es la misma con la cual se llegan a los resultados de rendimiento para las celdas de combustible. Es más, desde la segunda ley de la termodinámica se predice que debe existir una manera más eficiente de convertir la energía química en eléctrica. La mejor manera por lo pronto es sin duda disminuyendo la irreversibilidad del proceso, esto es desde luego un proceso reversible.

Las celdas electroquímicas tales como baterías de almacenamiento y las celdas de combustible, funcionan a una temperatura constante con los productos de la reacción que salen a la misma temperatura que los reactivos. Debido a esta reacción isotérmica, mucha más de la energía química de los reactivos se convierte a energía eléctrica en lugar de ser consumida para elevar la temperatura de los productos; el proceso electroquímico de conversión es por lo tanto menos irreversible que la reacción de combustión. En la celda electroquímica, ninguno de los criterios de las máquinas térmicas se satisfacen, por lo que la eficiencia del ciclo de Carnot, que limita el trabajo máximo a la temperatura más alta del ciclo, no es aplicable a las celdas electroquímicas.

El trabajo que genera una celda electroquímica no implica expansión, éste genera un trabajo electroquímico en el cual la carga eléctrica se mueve a través de un voltaje por lo que el trabajo máximo queda (para el caso de la celda de combustible):

$$W_{celda.max} = -\Delta G$$

El rendimiento de las celdas de combustible puede determinarse a partir de la ecuación de Nernst representado como el voltaje de la celda.

$$E = E^0 - \frac{RT}{n_e F} \ln Q$$

La ecuación de Nernst provee una relación entre el potencial estándar ideal,  $E^0$ , para la reacción de la celda y el potencial ideal de equilibrio  $E$  a otras temperaturas y presiones parciales de los reactivos y los productos. Una vez conocido el potencial ideal a condiciones estándar, el voltaje ideal puede predecirse a otras temperaturas y presiones usando dicha ecuación.

## COMPONENTES DE LAS CELDAS DE COMBUSTIBLE

Una celda de combustible está compuesta por dos electrodos, un ánodo y un cátodo, separados por un electrolito que facilita la transferencia iónica. Entre los electrodos se genera una corriente eléctrica que, a diferencia de lo que ocurre en una celda o batería convencional, no se agota con el tiempo de funcionamiento, sino que se prolonga mientras continúe el suministro de los reactivos. Una arreglo simple de celda puede producir tan solo una diferencia de potencial entre 0.5 y 1 voltio, en consecuencia, para aplicaciones prácticas se deben realizar combinaciones en serie y en paralelo de tal forma que se aumente el voltaje y la corriente, flexibilidad que se puede hacer gracias a la capacidad que tienen las celdas de dejarse empaquetar en celdas.

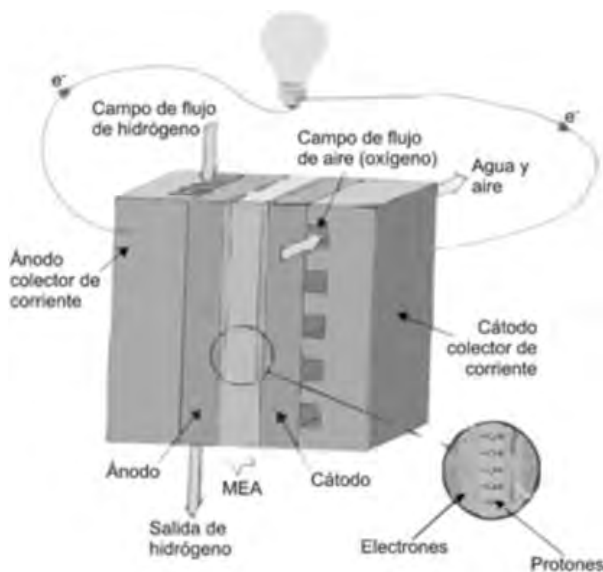
### MEA

La combinación ánodo-membrana-cátodo es lo que se llama el MEA. Su configuración ha variado desde el MEA usado en el Geminis el cual usaba 4 mg de platino por  $cm^2$

de membrana. Hoy en día usan aproximadamente 0.5 mg de platino por  $cm^2$ .

La membrana actúa como un conductor de protones como se muestra en la figura 2. Esto requiere que la membrana esté humidificada ya que el proceso de conducción de protones se basa en la membrana de agua.

FIGURA 2  
Componentes de las celdas de combustible



### Las capas traseras

Las capas traseras, el campo de flujo y los colectores de corriente están diseñados para maximizar la corriente que se puede obtener desde el MEA. Las capas traseras, cada una al lado del cátodo y del ánodo (ver figura 2) están hechas de carbono para permitir la conductividad de los electrones desde el ánodo al cátodo. Las capas permiten la efectiva difusión del gas hacia el catalizador localizado en el MEA. También ayudan en el manejo del agua permitiendo la cantidad idónea para que haya disminución en la eficiencia y también la correcta humidificación del MEA.

### Campos de flujo/colectores de corriente

En la parte externa de las capas traseras están los platos los cuales cumplen una doble función de coleccionar la

corriente y de servir de campo de flujo para los productos y los iones. Colector de corriente: cuando el hidrógeno se oxida debe ser conducido desde el ánodo y los iones negativos a través del circuito externo.

## SUMINISTRO DE COMBUSTIBLE

Aunque el hidrógeno es el combustible ideal para la mayoría de las celdas de combustible, no existe actualmente una infraestructura completa de hidrógeno. Además el uso de aire implica contaminación al interior de la celda. La presencia de  $\text{CO}_2$  en el combustible disminuye la eficiencia de la celda hasta en un 25%. Combustibles: hidrógeno, metanol, gas licuado del petróleo y monóxido de carbono.

## LAS CELDAS DE COMBUSTIBLE Y EL CALENTAMIENTO GLOBAL

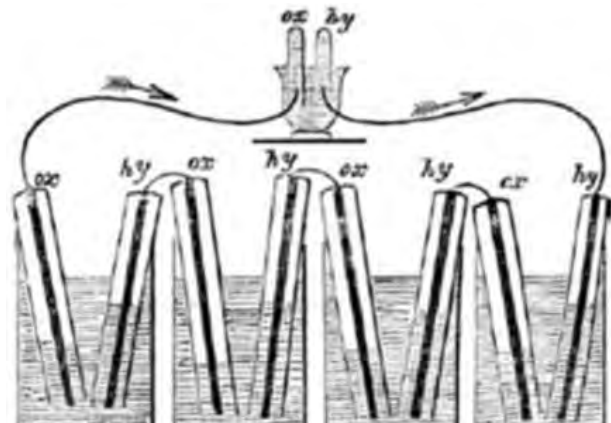
Las celdas de combustible son un tipo de energía renovable que disminuye el impacto de emisiones de GEI ya que produce energía con el agua como único subproducto principal.

Esto representa una gran disminución de emisiones ya que la generación de energía es el 44% de las emisiones de  $\text{CO}_2$  y además, el uso en transporte ayuda a mitigar el 18% de las emisiones. El cambio climático es una realidad a la cual ya nadie es ajeno ampliamente demostrado en: incremento de la temperatura de los mares, incremento de las precipitaciones, deshielo de los polos, aumento en temporadas de sequías e incremento en el nivel del mar.

## PRECEDENTES HISTÓRICOS DE LAS CELDAS DE COMBUSTIBLE

La historia de las celdas comienza con los estudios realizados por William R. Grove en 1839 con el proceso inverso a la electrólisis del agua. Durante su experimentación hizo 14 combinaciones de gases en el ánodo y en el cátodo y concluyó que el oxígeno alimentando uno de los electrodos, e hidrógeno y monóxido de carbono en el otro, "son los únicos gases que son capaces de realizar una electrólisis sintética al combinarlos para poder producir corriente eléctrica". La figura 3 muestra la pila de celdas de combustible creada por Grove.

FIGURA 3  
Celda de Grove de 1942



Cada uno de los diferentes tipos de celdas de combustible ha tenido una propia historia. Las SOFC fueron estudiadas por Baur y Preis en 1937 quienes desarrollaron el electrolito sólido partiendo de los estudios realizados por Wilhelm Nernst en 1899. Las MCFC fueron el centro de atención de Davtayan en 1946 el cual desarrolló el electrolito y estableció las temperaturas en las cuales es eficiente trabajar dichas celdas. Las AFC fueron las celdas que más impulsaron su historia temprana ya que fueron el tipo de sistema que la NASA adoptó para sus programas espaciales de Apolo y Geminis. El investigador Francis Bacon desarrolló el principio funcional de las AFC. Las PAFC fueron inicialmente desarrolladas para ser usadas con gas natural en 1975 por la empresa Pratt. Las PEMFC son las celdas más prometedoras y más estudiadas en los últimos tiempos. Funcionaba con un polímero sólido como electrolito desarrollado por Grot en 1972 para DuPont el cual sería el precursor de la membrana intercambiadora de protones.

Tuvieron que pasar aproximadamente 120 años para que las celdas demostraran su potencial cuando la NASA (1969) comienza a implementarlas en sus programas espaciales con gran éxito. Parte de la espera, o del tiempo en el que las celdas no tuvieron importancia, fue debido a los motores de combustión interna los cuales inmediatamente desplazaron otros dispositivos como las celdas de combustible. En la década de los 60 la industria comenzó a reconocer el potencial de las celdas pero se encontraron con la barrera

tecnológica de unos altos costos de fabricación. Con el tiempo esa barrera fue disminuyendo hasta el día de hoy donde hay cientos de compañías que investigan y desarrollan aplicaciones con celdas de combustible.

## FORMAS DE IMPLEMENTACIÓN DE LAS CELDAS DE COMBUSTIBLE

Las celdas de combustible tienen principalmente tres usos: transporte, generación de energía eléctrica estacionaria y aplicaciones portátiles.

FIGURA 4  
Chasis del Sequel de GM



### Transporte

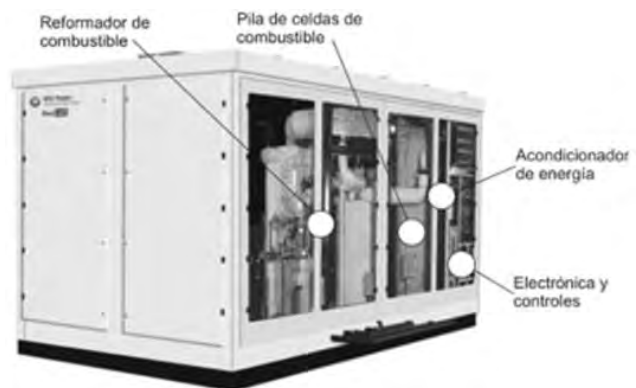
En el sector de transporte, las celdas de combustibles son tal vez el más importante contendiente de los motores de combustión interna. Son muy eficientes ya que son electroquímicamente mejores que las máquinas térmicas. Además, ayudan a reducir el consumo del principal emisor de  $CO_2$ .

Lo que hace de las celdas de combustible el más atractivo sistema para sistemas de transporte es el hecho de que tiene cero emisiones o son muy pequeñas. Es esto lo que inspiró a compañías automotrices y a otros desarrolladores de celdas de combustible en los años 80' a 90' a comenzar a desarrollar buses y carros con sistemas de alimentación por celdas de combustible.

Las principales compañías automotrices en el tiempo han tenido experiencias desarrollando vehículos con celdas de combustible. Es de destacar la trayectoria que han tenido los vehículos impulsados por celdas de combustible de la

General Motors. Esta empresa comenzó el programa de celdas en 1966 y hasta el 2007 han producida cerca de 11 modelos comerciales. La figura 4 muestra el modelo Sequel lanzado en el 2005 con una autonomía de 483 km y una velocidad máxima de 140 km/h.

FIGURA 5  
PC25 de 200kW de UTC



La experiencia en el desarrollo de vehículos con celdas de combustible ha llevado al desarrollo de completos sistemas de transporte público con celdas de combustible, la alta autonomía y velocidades alcanzadas han hecho de los modelos perfectos competidores de los vehículos tradicionales.

Para que Colombia puede hacer uso de ésta tecnología es necesaria una infraestructura adecuada de producción y distribución de combustible (sea hidrógeno y otro), además es indispensable contar con instalación operativa adecuada para realizar mantenimiento y control de dichos vehículos.

### **Generación de energía eléctrica estacionaria**

Es el segundo mercado para las celdas de combustible. La baja emisión de CO<sub>2</sub> es el principal atractivo para su uso en pequeñas plantas energéticas, particularmente en la tarea de complementar o sustituir sistemas térmicos de generación energética, o donde la red de energía eléctrica no alcanza a llegar.

Para la generación doméstica (entre 5-10 kW) son por el momento la única solución práctica. Las plantas con celdas de combustible ayudan en la tarea de generación de energía y las celdas (del tipo MCFC y SOFC) tienen amplio rango de combustibles y de contaminantes presentes en éste.

Empresas como MTU y UTC han utilizado con éxito modelos de generación energética a partir de celdas de combustible. El modelo PC25 de UTC ha demostrado una autonomía de más de 40,000 horas mientras provee casi 200 kW a una eficiencia aproximada del 65%. La figura 5 muestra el modelo PC25 de la UTC.

Colombia es un país rico en agua por lo que las amplias redes de plantas hidroeléctricas pueden suplir la demanda energética por un tiempo. Las celdas de combustible pueden servir de apoyo a la red de distribución además de ser una excelente idea en la búsqueda por distribuir energía eléctrica en lugares remotos y de baja demanda.

Las celdas de combustible pueden ser adoptados en rellenos sanitarios u otras fuentes de emisiones de gases tales como metanol. Al ser las celdas de altas temperaturas (SOFC y MCFC) flexibles a los combustibles se puede usar el metanol como combustible y generar pequeños centro de producción energética.

### **Aplicaciones portátiles**

Son aplicaciones secundarias por el momento. El mercado de las aplicaciones portátiles es menor pero está en potencial crecimiento para las celdas de 1 kW, como soporte de fuente de energía en carros, también llamadas unidades auxiliares de energía. El término "celdas de combustible portátiles" a veces incluye aplicaciones independientes como en campismo, pesca, monitoreo de tráfico, etc.

Una aplicación portátil describe un pequeño e independiente sistema de energía de potencia que va desde unos pocos vatios a aproximadamente un kilovatio, el cual sirve principalmente a propósitos de "conveniencia" con el fin de ayudar al medio ambiente y el ahorro de energía.

Existen una gran variedad de productos portátiles: cargadores para celulares y equipos electrónicos, baterías portátiles (ver figura 6), unidades auxiliares, etc. Uno de los grandes retos es reemplazar o competir contra las baterías de litio en precio, contra los cargadores, contra el tamaño de las baterías en los celulares, la seguridad de los combustibles, etc.

**FIGURA 6**  
Modelo AHD-100 de la Marine FC



Existe una gran variedad de aplicaciones portátiles en las cuales las celdas de combustible pueden llegar a tener un papel importante.

## **ASPECTOS DE INTERÉS PARA EL DESARROLLO DE APLICACIONES EN COLOMBIA**

Hay básicamente cuatro aspectos generales a tener en cuenta: actores, aplicación potencial, celda a implementar y retos.

### **Actores**

Para que el desarrollo de aplicaciones con celdas de combustible sea posible es importante establecer quiénes son los actores encaminados a ser los precursores y cuáles son sus tareas. Básicamente hay cuatro actores: Universidades (deberían hacer e investigar), Centros de investigación (deberían promover y alentar), Empresas (deberían comercializar y generar) y el Gobierno (debería impulsar y legislar).

Cada uno de los actores es parte importante en la ejecución de cada una de sus tareas, no se puede hablar de algún actor sin el trabajo de los demás. De los cuatro hay dos de sumo interés. El gobierno es el principal aliado de los demás actores y su función es la de establecer un marco legislativo de seguridad, responsabilidad y del comercio de las celdas de combustible.

El otro actor de interés son las universidades. Estas están llamadas a ser la cabeza de todo el proceso. Para que puedan cumplir con su deber es recomendable:

- Contar con asignaturas de energías alternativas.
- Poseer semilleros de investigación de energías alternativas.
- Comenzar con líneas de énfasis en torno a energías alternativas y celdas de combustible.
- Dotar de laboratorios y equipos a investigadores con fines académicos.
- Tener, luego de esta implementación vertical, programas de postgrado en celdas de combustible.

### **Aplicación potencial**

De las tres aplicaciones posibles que tienen las celdas de combustible, se considera que las aplicaciones portátiles son la aplicación potencial en el país. Las características que corroboran esto son:

- La tecnología de las baterías no estarán a la altura de los futuros dispositivos electrónicos portátiles (si es que van a necesitar baterías).
- En aplicaciones donde el valor de las baterías es importante las celdas pueden llegar a competir con precios bajos.
- Las celdas van en competencia directa tanto con la batería como contra el cargador de la batería, lo que puede llevarlas a ser más baratas.
- Las celdas no solo compiten con las baterías sin que pueden llegar a ser complementos aparte de sustitutas.
- Aplicaciones de bajo costo como juguetes pueden ser introducidos con mayor facilidad que vehículos o plantas energéticas.
- Artículos de lujo pueden ser susceptibles a usar celdas de combustible haciéndolas más atractivas a dicho mercado.

### **Celda a implementar**

La celda de combustible más prometedora y que cuenta con amplias ventajas para ser estudiada debido a la demanda de investigación con relación a sus beneficios es la celda de metanol directo.

La celda de combustible de metanol directo (DMFC) es a menudo considerada como el sistema de celda de combustible ideal ya que funciona con un combustible líquido. Además, el sistema de potencia con DMFC es inherentemente más simple y más atractivo que la convencional celda de combustible de metanol indirecto, que se basa en voluminosos y caros sistemas de reformador catalítico para convertir metanol a combustible de hidrógeno.

**Ventajas:**

- Funcionan con combustible líquido.
- El sistema es mucho más simple y atractivo que otros tipos de celdas.

**Desventajas:**

- El pobre rendimiento del ánodo.
- El rendimiento actual no supera  $\frac{1}{4}$  de las PEMFC.

**Retos**

Las celdas de combustible deben de enfrentarse a varios retos decisivos que determinarán finalmente su éxito. Estos retos abarcan desde los tecnológicos hasta los económicos, pasando por retos políticos y gubernamentales.

El primer reto es el alto costo de implementación de las celdas de combustible que es por lejos el mayor factor que contribuye a la limitada penetración en el mercado de la tecnología de celdas de combustible. A fin de que las pilas de combustible puedan competir realmente con la tecnología actual para la generación de energía tienen que ser más competitivos desde el punto de vista del capital y los costes de instalación.

Un segundo reto es que las celdas de combustible deben ser desarrolladas para usar ampliamente los combustibles fósiles disponibles, para manejar variaciones en la composición del combustible y funcionar sin efectos perjudiciales para el medio ambiente o para la propia celda de combustible. La capacidad de funcionamiento de los combustibles renovables es esencial para la captura de oportunidades en el mercado.

Otro reto importante es que las celdas de combustible pueden ser una gran fuente de energía prima si demuestran tener una fiabilidad grande, calidad de potencia, y si pueden suministrar energía por largos períodos de tiempo. Actualmente hay prototipos que han superado la barrera de las 50,000 horas. La alta calidad de energía eléctrica que las celdas de combustible pueden proporcionar puede ser el más importante factor en la comercialización de algunas aplicaciones.

Otras cuestiones que afectan a la comercialización de celdas de combustible son la falta de leyes y reglamentos gubernamentales con respecto a la ubicación, pólizas de seguro, y la certificación de productos con celdas de combustible.

**CONCLUSIONES**

Técnicamente las celdas de combustible son dispositivos no térmicos de conversión energética de alta tecnología que mitiga el impacto ambiental generado por la industria al tener como principal subproducto agua potable.

La alta eficiencia teórica que poseen las celdas de combustible las hace técnicamente competidoras de los motores de combustión interna en transporte, de las termoeléctricas en la generación de energía eléctrica, y de las baterías en las aplicaciones portátiles.

La reducción de costos es uno de los principales retos que debe enfrentar las celdas de combustible en su carrera por la aceptación e introducción al mercado, la reducción del platino como la búsqueda de materiales y componentes que ayuden a la conversión y el proceso de la membrana son los principales campos de acción a desarrollar.

Los diversos actores que entrar a jugar en la adaptación de la tecnología de celdas de combustible en Colombia hacen parte de las características necesarias para su implementación siendo las universidades el principal motor y las encargadas de la educación e investigación, las empresas de la generación y comercialización dentro del mercado, los centros tecnológicos de la promoción con incentivos financieros y finalmente el gobierno, como principal aliado, de la creación del marco legislativo adecuado para la implementación, además de impulsar la investigación.

Finalmente se puede establecer que las características necesarias para poder implementar ésta tecnología en Colombia son:

- Saber qué son las celdas de combustible como funcionan y como determinar su rendimiento.

- Comprender la historia que han tenido las celdas de combustible en el tiempo.
- Analizar cada una de las posibles implementaciones con celdas de combustible.
- Esbozar la necesidad del combustible, cuales son los diferentes tipos, sus ventajas y retos.
- Entender el aporte al medio ambiente que generan las celdas de combustible disminuyendo emisiones de GEI.
- Establecer los diferentes jugadores que entran en la meta de implementar ésta tecnología en Colombia.
- Establecer una aplicación potencial a ser desarrollada.
- Establecer con qué tipo de celdas se desearía experimentar.
- Reflexionar acerca de los retos que implica adoptar ésta tecnología.

## **BIBLIOGRAFÍA**

ÇENGEL, Yunus y BOLES, Michael. Termodinámica. Cuarta edición. México DF. McGrawHill 2003, pág. 2-8, 164-173, 241-271, 300-306, 384-402, 692-704 ISBN 970-10-3966-1.

DARNELL, Grupo. Fuel Cells for portable power: markets, manufacture and cost. U.S: Fuel Cell Council. California, 2006. Pág. 8, 3 – 20, 22, 25, 27, 97 – 102, 158 – 161.

EG&G TECHNICAL SERVICES, Fuel Cell Handbook. Séptima edición. Parsons, Inc. Morgantown, USA, U.S. Department of Energy, 2004. Pág. 20, 27-30, 131-134, 154-156, 197, 402.

HOOGERS, Gregor. Fuel Cell Technology Handbook. Primera edición. Boca Ratón, Florida. CRC Press. 2003 Pág. 5, 44, 51, 78, 83-101, 120, 165-174, 180-190, ISBN 0-8493-0877-1.

HOYOS, A. Bibian. RESTREPO, Ana I. Ánodos de Pt-Ru y Pt-Ir para celdas de combustible alimentadas con

metano y propano directo. Información Tecnológica Vol. 18 N°4-2007. Universidad Nacional de Colombia. Medellín, pág. 43 – 46.

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y Secretaría de la Convención sobre el Cambio Climático (UNFCCC). Cambio Climático, carpeta de información. Châtelaine. PNUMA, UNFCCC, 2004. Pág. 3-7, 10-15, 33, 56.

SØRENSEN, Bent. Renewable Energy. 3th edición. San Diego, California. Elvsevier Academic Press, 2004. Pág. 1-20, 318-320, 530 ISBN 0-12-656153-2.

THIOKOL. High-pressure conformable hydrogen storage for fuel cell vehicles. Proceedings of the 2000 hydrogen program review. NREL/CP-570-28890. Brigham City. 2000. Pág. 4.

FUEL CELLS. Worldwide hydrogen Fueling Stations. Disponible en internet: <http://www.fuelcells.org/info/charts/h2fuelingstations.pdf>.

NFCRC. National Fuel Cell Research Center. University of California, Irvine. Challenges [http://www.nfrcr.uci.edu/2/FUEL\\_CELL\\_INFORMATION/FCexplained/challenges.aspx](http://www.nfrcr.uci.edu/2/FUEL_CELL_INFORMATION/FCexplained/challenges.aspx).

STOPGLOBALWARMING. Learn more. [http://www.stopglobalwarming.org/sgw\\_learnmore.asp](http://www.stopglobalwarming.org/sgw_learnmore.asp)

USDE. U.S. Department of Energy. Energy Efficiency and renewable energy. <http://www.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/resources/db/higheredcatalogs/>

UTC. The PureCell Model 200 power solution. Disponible en internet: [http://www.utcpower.com/fs/com/bin/fs\\_com\\_Page/0,11491,0122,00.html](http://www.utcpower.com/fs/com/bin/fs_com_Page/0,11491,0122,00.html)



# **IMPLEMENTACIÓN DEL PILAR DE TPM MANTENIMIENTO AUTÓNOMO EN EL PÓRTICO DE SERTISSAGE LOGAN EN LA ENSAMBLADORA SOFASA ENVIGADO**

JULY ANDREA MONTOYA AGUIRRE

[jmonto35@eafit.edu.co](mailto:jmonto35@eafit.edu.co)

Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS

MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

ASESOR PRINCIPAL

JUAN PABLO AGUDELO

SECTOR BENEFICIADO

SOFASA



## **RESUMEN**

El propósito de este artículo es mostrar el trabajo realizado para la implementación de los pasos uno y dos de mantenimiento autónomo en el pórtico de Sertissage Logan, con el fin de que los operarios conozcan sus equipos de trabajo y desarrollen habilidades para realizar tareas sencillas de mantenimiento como limpieza, lubricación y ajustes, que contribuyen al mejoramiento continuo de la empresa Sofasa.

## **ABSTRACT**

The intention of this article is to show the work carried out to implement steps one and two of independent maintenance in the porch of Sertissage Logan, in order that the workers know their work parties and develop abilities to carry out simple tasks of maintenance like cleaning, lubrication, adjustments, which contribute to the continuous improvement of the Sofasa Company.

## **PALABRAS CLAVES**

FOS: ficha de operación estándar. Es un documento donde se describen las actividades necesarias para lograr los objetivos del lugar de trabajo.

ESCORIA: óxido que se forma en la superficie de la soldadura.

RU: responsable de unidad, es el jefe de los operarios.

SERTISSAGE: proceso mediante el cual se doblan y se unen láminas metálicas por medio de puntos de soldadura.

TPM: mantenimiento productivo total.

UET: unidad específica de trabajo.

## **KEY WORDS**

FOS: card of standard operation. It is a document where the activities necessary are described to achieve the objectives of the work place.

DREG: oxide that forms in the surface of the weld.

RU: unit person in charge.

SERTISSAGE: process by means of which they bend and metallic laminas by means of weld points are united.

TPM: total productive maintenance.

UET: specific unit of work.

---

## INTRODUCCIÓN

Una de las principales características del TPM es el involucramiento y la participación directa de la función de producción en actividades de mantenimiento. En la medida en que se incorpora nueva tecnología en la construcción de los equipos productivos, los operarios de éstos deben desarrollar un nivel técnico mayor, ya que deben conocer en profundidad su funcionamiento y participar en su mantenimiento. Son varias las tareas que puede realizar el operario, como limpiar, lubricar, cuidar los equipos, realizar chequeos diarios, observar el buen estado de sensores, mantener el sitio de trabajo libre de elementos innecesarios, entre otros.

Existen actitudes del personal de mantenimiento dentro de las plantas al atribuir los problemas de los equipos a las prácticas deficientes de los operarios y el personal de producción a los deficientes métodos empleados por mantenimiento. Finalmente, ninguna de las funciones es responsable del problema. Estos comportamientos han llevado a que dentro de las plantas industriales no se promueva la necesidad de que el operario pueda conocer profundamente la maquinaria. Sin este conocimiento difícilmente podrán contribuir a identificar los problemas potenciales de los equipos, situación que se ve agravada con la falta de inducción y entrenamiento del personal cuando llega a la empresa.

En estas circunstancias el mantenimiento autónomo es un pilar de TPM urgente de implantar en esta clase de empresas para transformar radicalmente la forma de actuar en el día a día. Cada persona debe contribuir a la realización del mantenimiento del equipo que opera, con lo cual las actividades de mantenimiento autónomo o de cuidado de las condiciones básicas deben asumirse como tareas de producción.

## FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Sofasa S.A es una empresa ensambladora y comercializadora de vehículos de las marcas Renault y Toyota. Actualmente la empresa se encuentra en un proceso de implementación del mantenimiento productivo total en las áreas de soldadura, pintura y ensamble. El pósito de Sertissage es el lugar donde se ensamblan puertas, capó, portillón y piezas laterales de los vehículos, en este caso del vehículo Logan. Actualmente el departamento de soldadura presenta problemas de mantenimiento los cuales se ven reflejados en los paros que diariamente ocurren, provocando pérdidas en la producción.

La importancia del proyecto radica en que Sofasa es una empresa con un proceso productivo secuencial donde cada actividad depende de otra y una falla en un equipo representa grandes pérdidas para la empresa. Con la implementación del mantenimiento autónomo se pretende disminuir las pérdidas causadas por tiempos muertos ya que la empresa tiene un margen de producción que debe cumplir y éste se está viendo afectado por los grandes problemas de mantenimiento que actualmente se presentan, en cuanto a aumento de costos, pérdidas de producción, paradas de los equipos, defectos en los procesos y mala calidad, entre otros.

## ANTECEDENTES

La implementación de TPM en Sofasa comienza con la implementación de cinco eses, luego, con la llegada de Toyota en 1989, se empiezan a trabajar con los grupos Kaizen e ideas y sugerencias enfocando así los dos pilares de mejoramiento continuo y mejoras enfocadas. Estas actividades y grupos fueron implementadas con el fin de minimizar pérdidas, lograr un mejor estándar de producción y una eficiencia mayor en cada taller de producción. La implementación de Kaizen se inició configurando grupos dedicados a la resolución de problemas y coordinados directamente por recursos humanos. Sus trabajos comenzaron inicialmente en la planta, con temas relacionados con el mejoramiento continuo y eliminación de pérdidas.

Actualmente Sofasa se encuentra implementado el pilar de mantenimiento programado del TPM, se utiliza el método de etiquetado para reportar y resolver los problemas y fallos que se presentan en los equipos. En todos los niveles de la empresa se aplica el método de 5s. Se tienen implementadas las gamas de auto-mantenimiento de los equipos. De igual forma, se llevan indicadores por medio de tableros de pérdidas, donde se muestra la evolución de éstos por taller.

## TPM

El programa TPM, es un sistema de mejoramiento continuo con más de treinta años de historia, ampliamente probado en muchos países desarrollados y con resultados plenamente verificables. Con el mantenimiento productivo total, TPM, se introducen elementos fundamentales como: el auto-

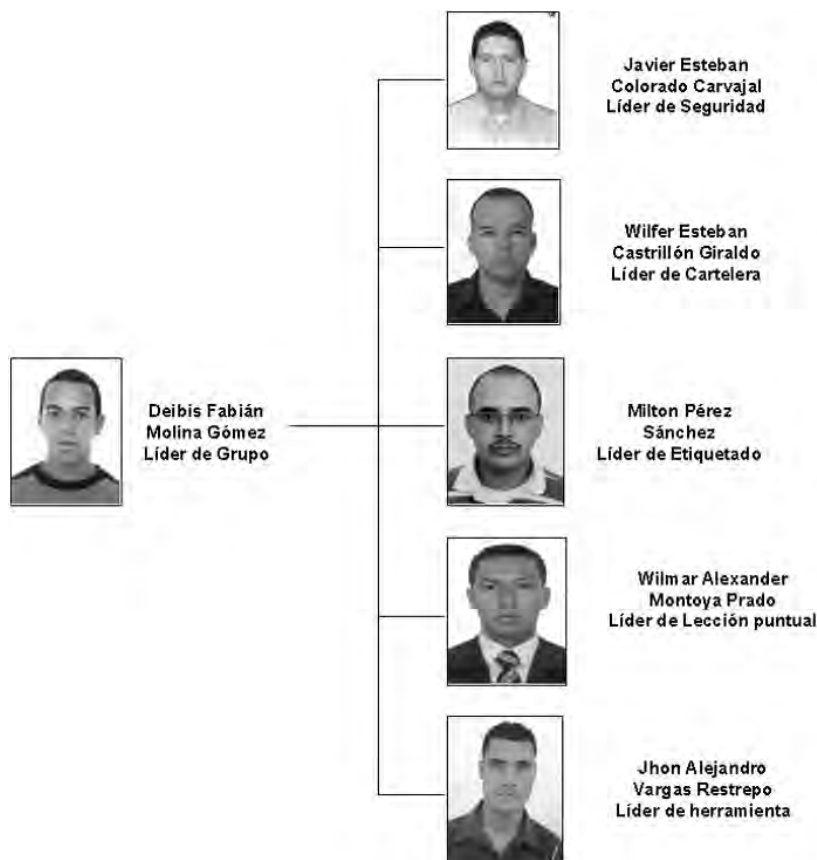
mantenimiento el cual es llevado a cabo por los propios operarios, la participación de todo el personal desde los altos directivos hasta el personal operativo y la creación de la cultura del mejoramiento continuo como estímulo al personal y fortalecimiento del trabajo en equipo.

El mantenimiento autónomo permite delegar a los operarios actividades de mantenimiento rutinarias y fáciles de realizar, ya que son ellos quienes tienen mayor contacto con sus equipos de trabajo y por lo tanto están en mayor capacidad de detectar, identificar y entender las anomalías que se presentan en sus equipos.

## GRUPO PILOTO

El grupo piloto del proyecto está conformado por el responsable de unidad y cinco operarios del pórtico de Sertissage Logan, como se muestra a continuación.

FIGURA 1  
Grupo piloto



## EQUIPOS UTILIZADOS EN EL PÓRTICO

A continuación se muestran los equipos utilizados en el pórtico de Sertissage Logan y sobre los cuales se realizaron las actividades de limpieza e inspección.

FIGURA 2  
Matriz



FIGURA 3  
Pinza



FIGURA 4  
Bomba de mastic



## PASOS IMPLEMENTADOS

### Paso 1: limpieza por inspección

El objetivo del paso 1 del programa de mantenimiento autónomo es elevar la fiabilidad del equipo a través de tres actividades:

- Eliminar el polvo, la suciedad y los desechos.
- Descubrir todas las anomalías.
- Corregir las pequeñas deficiencias y establecer las condiciones básicas del equipo.

Una limpieza profunda fuerza a los operarios a tocar cada parte del equipo. Esto incrementa su interés en él y su resolución para no permitir que el equipo se ensucie de nuevo. Con todo, la limpieza inicial tiene un arranque lento porque muchos operarios no comprenden por qué deben hacerla, o creen que deben hacerla el personal de mantenimiento. Incluso cuando se les dice que la limpieza inicial significa tener que dejar el equipo imaculado, los operarios no calibran bien hasta donde tienen que llegar en sus actividades de limpieza.

## **Paso 2: eliminar las fuentes de contaminación y áreas inaccesibles**

Durante el paso 1, operarios usan sus manos y los cinco sentidos físicos para realizar la limpieza inicial y detectar anomalías. Durante el paso 2, usan su cabeza para crear mejoras eficaces. Cuando el equipo se ensucia rápidamente o no se puede mantener el nivel de limpieza obtenido inicialmente, habitualmente los operarios sienten el impulso de hacer algo para resolverlo.

En otras palabras, se vuelven conscientes de la necesidad de hacer mejoras. Empiezan a pensar sobre los modos de controlar las fugas, los derrames y otras fuentes de contaminación, intentan también mantener las condiciones básicas del equipo establecidas en el paso 1, pero se dan cuenta que eso les exige una cantidad de tiempo y esfuerzo considerables. Se sienten incómodos con los lugares difíciles de alcanzar y se sienten obligados a pensar sobre mejorar su accesibilidad.

El objetivo del paso 2 es reducir el tiempo de limpieza, chequeo y lubricación introduciendo dos tipos de mejora. Figura: objetivos para fuentes de contaminación y lugares inaccesibles.

## **Preparación para paso 3: establecer los estándares de limpieza e inspección**

El objetivo de este paso es garantizar el mantenimiento de los logros obtenidos en los pasos 1 y 2, esto es, asegurar el mantenimiento de las condiciones básicas y de la situación óptima del equipo. Para lograr esto, los grupos de operarios deben estandarizar los procedimientos de limpieza e inspección y asumir la responsabilidad de mantener su propio equipo.

## **PLAN DE ACCIÓN**

A continuación se muestra el plan de acción desarrollado para la implementación de los pasos uno y dos de mantenimiento autónomo en el pórtico de Sertissage Logan:

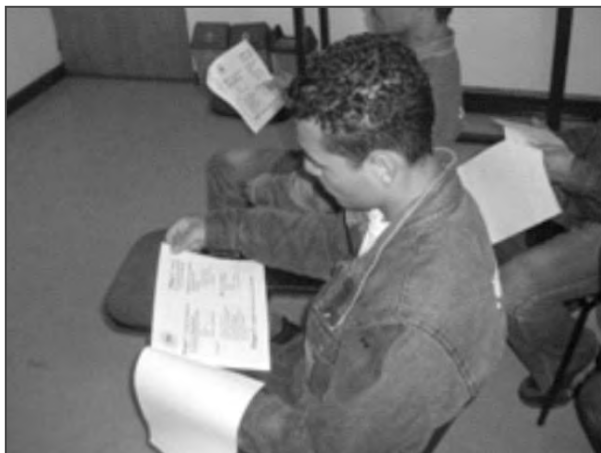
<b>ESTRATEGIA</b>	<b>ACTIVIDAD</b>
Conformación grupo piloto	Selección de líderes. Asignación de responsabilidades. Selección de equipos a trabajar.
Seguimiento a paros	Formato reporte de pérdidas. Evolución de pérdidas.
Capacitaciones	Selección de temas. Programación y realización de capacitaciones.
Informe del equipo	Elaboración e implementación de tablero mto autónomo.
Implementación paso 1	Entrenamiento en rutinas de limpieza y funcionamiento de equipos. Utilización oportuna de etiquetas. Elaboración lecciones puntuales. Construcción gabinete herramientas.
Implementación paso 2	Detectar áreas difícil acceso, y fuentes de contaminación. Establecer e implementar contramedidas. Herramientas de control visual.
Preparación paso 3	Establecer y validar parámetros a estandarizar. Estandarizar actividades de mantenimiento autónomo.

## ACTIVIDADES REALIZADAS

Se dictaron capacitaciones en los siguientes temas, de acuerdo al cronograma de trabajo: mantenimiento autónomo, pinzas, matricería y bombas de mastic y 5S.

- Paso 1: limpieza por inspección: lecciones puntuales y detección de anomalías.
- Paso 2: eliminar fuentes de contaminación y áreas inaccesibles y análisis de causa.
- Introducción al paso 3: establecer los estándares de limpieza e inspección.

FIGURA 5  
Jornadas de capa



Con la implementación de los pasos uno y dos de mantenimiento autónomo el grupo piloto implementó el tablero de auto-mantenimiento, en el cual se muestran las lecciones puntuales realizadas por el grupo, las capacitaciones recibidas, los indicadores y la información

del etiquetado, las FOS de auto-mantenimiento de los equipos y los análisis de causa realizados. El tablero se muestra a continuación.

FIGURA 6  
Tablero mantenimiento autónomo



Se realizaron jornadas de limpieza donde los operarios desarrollaron habilidades para detectar anomalías en sus equipos de trabajo y empezaron a buscar soluciones para disminuir los tiempos de limpieza y para mantener sus equipos limpios y funcionando correctamente.

Adicional a esto se realizaron las FOS de auto-mantenimiento de los equipos y se implementaron en el pórtico. Se hizo un análisis de las fuentes de contaminación y se implementaron contramedidas para las mismas. Se realizaron auditorías para los pasos uno y dos implementados.

FIGURA 7  
Jornada limpieza por inspección





### ANOMALÍAS ENCONTRADAS

Anomalías en bombas de mastic, Fugas de mastic, Poca fluidez de mastic por boquilla, Anomalías en pinzas,

Tips desgastados o desalineados, Microswitches que no funcionan, Fugas de agua por electrodos o mangueras, Pinza recalentada, Anomalías en matrices, Pilotos flojos o sueltos, Claves flojas o reventadas, Clave sin pin pasador, Mangos de claves desgastados, Pasadores flojos.

### ANÁLISIS DEL NO CUMPLIMIENTO DE INDICADORES

Debido a que con la implementación de los pasos uno y dos de mantenimiento autónomo no se logró disminuir los paros de los equipos hasta cero, como es el objetivo de la planta, se realizó el siguiente análisis, para determinar cuáles fueron las principales causas del no cumplimiento del indicador.

FIGURA 8  
Análisis de espina de pescado



## CONCLUSIONES

El proyecto fue adoptado con optimismo, se nota un interés por parte de los operarios por aprender y contribuir al mejoramiento de sus equipos. A medida que se desarrolló el proyecto el personal fue adquiriendo mayor compromiso con las actividades realizadas, se apersonaron más por sus equipos de trabajo y mostraron un mayor interés en recibir capacitaciones y dar soluciones eficientes a los problemas presentados. Con lo anterior se concluye que la metodología utilizada hace que los operarios se interesen más por los equipos, y que se hagan responsables del funcionamiento de los mismos con un mayor sentido de pertenencia.

Por medio del diagnóstico realizado se detectó el poco conocimiento que los operarios tenían de sus equipos de trabajo y la poca participación en actividades sencillas de mantenimiento. De la misma manera se pudieron detectar los puntos débiles a trabajar y a partir de ellos realizar un plan de acción enfocado a implementar con éxito los pasos 1 y 2 de mantenimiento autónomo.

La implementación del paso uno de mantenimiento autónomo, permitió establecer una nueva disciplina de inspección por parte del personal operativo hacia los equipos de trabajo facilitando la detección de anomalías que posteriormente puedan causar grandes pérdidas. Estas rutinas de inspección están estipuladas en las FOS de auto-mantenimiento mostradas en el anexo A. De esta manera se garantiza que los equipos del pórtico permanezcan limpios y libres de contaminación, aumentando así su disponibilidad y mejorando su rendimiento dentro de los procesos de producción.

Por medio de las jornadas de limpieza los operarios se entrenaron en detección de anomalías y se logró establecer una mayor relación entre el operario y el equipo. Los operarios tomaron conciencia de la importancia de mantener los equipos en su estado óptimo de funcionamiento y de los beneficios recibidos al realizar tareas de mantenimiento autónomo.

Las jornadas de limpieza por inspección permitieron desarrollar en el personal operativo habilidades para detectar condiciones anormales de los equipos, conservar las condiciones básicas de estos y responder con rapidez

a las anomalías detectadas, ya sea reparándolas o proponiendo una solución para eliminar sus causas.

La implementación de los pasos uno y dos de mantenimiento autónomo contribuye a alargar la vida de los equipos aumentando la disponibilidad de los mismos y por la tanto la productividad. De igual manera, crean un interés en los operarios no solo por cuidar y limpiar los equipos sino por mantenerlos funcionando correctamente, previniendo su deterioro al analizar las causas de las anomalías.

## BIBLIOGRAFÍA

DÁVILA VIDES, Jairo y PINEDA CUARTAS, Juan Camilo. TPM Latino. Medellín, Colombia. 1ª edición. 2005. 17, 18, 22, 27, 28, 34, 55, 63, 64, 55,71p.

GAVIRIA DUQUE, Daniel y RESTREPO ARISTIZABAL, Juan José. Selección de las variables que tienen relación de causalidad directa o estructural con la implantación del TPM: revisión del caso Sofasa. Medellín, 2005, 22, 23, 38p. Trabajo de grado. Universidad EAFIT. Departamento de Ingeniería Mecánica. Área de mantenimiento.

LOAIZA, María Isabel. Implantación de TPM en Sofasa analizado bajo el modelo de la JIPM. Medellín, Colombia, 2004. 45p Tesis de maestría (MBA). Universidad EAFIT Escuela de Administración.

MONTOYA SERNA, Iván Darío. Implementación de tácticas TPM en la sección de preparación dentro de una empresa mercerizada ora de hilos. Medellín, 2002, 16, 21p. Trabajo de grado. Universidad EAFIT. Departamento de Ingeniería Mecánica.

RENAULT, Sistema de producción. Dossier de Management del SPR. Francia. 2004. 28-32p.

SHIROSE, Kunio. TPM for workshop leaders. Portland, USA. Productivity press Inc, 1992. 17, 95p. ISBN 0915299925.

SUZUKI, Tokutaro. TPM para industrias de proceso. Japan Institute of Plant Maintenance. Versión en español TGP – Hoshin. Madrid, España, 1995. ISBN: 84-87022-18-9.



# **ESPUMAS FLEXIBLES PARA LA SUSTITUCIÓN DE ESPUMAS DE PULIDO UTILIZADAS EN LA INDUSTRIA CERÁMICA LOCAL - CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y MECÁNICA**

**JUAN SEBASTIÁN JARAMILLO SERNA**

juansj84@hotmail.com

Departamento de Ingeniería Mecánica

**ANDRÉS FELIPE VÉLEZ VELÁSQUEZ**

pipeve@hotmail.com

Departamento de Ingeniería Mecánica

**ÁREA DE ÉNFASIS**

DISEÑO DE SISTEMAS TÉCNICOS

**ASESOR**

NORA CATALINA RESTREPO ZAPATA

**SECTOR BENEFICIADO**

UNIVERSIDAD EAFIT



## **RESUMEN**

La industria del procesamiento de materiales cerámicos emplea en sus diferentes procesos de formado y pulido, materiales espumados para dar forma y acabado a las piezas producidas. Sin embargo, cualquier espuma no puede ser usada debido al intervalo tan amplio de propiedades y morfología que estas poseen, por ejemplo, una espuma rígida por su dureza deformaría el producto crudo y una de poro cerrado no sería fácil de limpiar. En la actualidad, la industria cerámica local utiliza una espuma flexible importada con altos costos y tiempos de entrega muy largos lo que exige que la gestión del departamento de compras sea bien ejecutada y en coordinación con producción, para que exista disponibilidad de la espuma. En este trabajo se expondrá la caracterización física y mecánica de la espuma actual para definir las condiciones (o variables) de la misma y se comparará con espumas flexibles existentes en el medio para obtener alguna (o ninguna) que tenga las condiciones óptimas.

## **ABSTRACT**

Ceramics processing industry employs foam material in order to finish crude pottery. However, any foam cannot be used because of the wide properties range and the morphology. For example, rigid foam could deform crude pottery and closed cell foam would be impossible to clean. Nowadays, local ceramic industry uses imported flexible foam with high cost and long lead time. For this reason, it is demanded good coordination between purchasing department and production department. This research presents physical and mechanical characterizations of the current foam in order to define the conditions and also it is compared with others flexible foams found in the local market to obtain one foam (or neither) with optimal conditions.

## **PALABRAS CLAVES**

Espumas, Cerámicos, Propiedades físicas, Propiedades mecánicas.

## **KEYWORDS**

Foam, Pottery, Physical properties, Mechanical properties.

---

## **INTRODUCCIÓN**

Una espuma es básicamente una sustancia que se forma cuando muchas burbujas de un gas son atrapadas en un líquido o en un sólido. Existen un sinnúmero de productos espumados comunes tanto naturales como artificiales, que van desde la piedra pómez hasta cojines para asientos (Lee et al., 2007). Las espumas plásticas, también conocidas como plásticos expandidos generalmente consisten de un mínimo de dos fases, una matriz polimérica sólida y una fase sólida presente.

Las espumas pueden ser flexibles o rígidas dependiendo de si su temperatura de transición vítrea está por debajo o por encima de la temperatura ambiente, la cual a su vez depende de la composición química, el grado de cristalinidad y el grado de entrecruzamiento de las moléculas. Además la morfología de la espuma es una característica crítica: la geometría de la celda puede ser abierta (túneles entre las celdas) o cerrada. (Klempner et al., 1991).

Una espuma polimérica posee propiedades físicas, mecánicas y térmicas únicas, las cuales son regidas por la matriz polimérica, la estructura de la celda y la composición del gas. Cuando una fase gaseosa se dispersa en forma esférica dentro de una matriz polimérica, la estructura de un compuesto es formada naturalmente y las propiedades de este compuesto son determinadas por sus constituyentes y sus distribuciones. Dado que el peso del gas es despreciable, las propiedades del compuesto gas/polímero a menudo dependen volumétricamente de los componentes.

Debido a la gran utilización de las espumas en todos los sectores industriales normalmente las espumas son

caracterizadas en términos de su desempeño mecánico, mediante diferentes tipos de ensayos mecánicos para medir rigidez, fuerza, resistencia al impacto, resistencia dieléctrica y térmica y permeabilidad. Además de las técnicas de caracterización mecánica existe un trabajo adicional para entender el origen de su desempeño, así que la relación entre la morfología de la espuma ha sido abordada por Gibson et al., 1997 que relaciona las propiedades mecánicas con su densidad. Sin embargo, al basarse exclusivamente en la densidad de la espuma, no se tienen en cuenta las características morfológicas detalladas de la espuma, como su distribución de tamaño de celda y anisotropía (Lee et al., 2005).

Las pastas cerámicas tienen varios componentes que se pueden clasificar en dos grupos: arcillosos y duros. En el primer grupo se encuentran las arcillas, caolines, arcillolitas y los demás minerales que aportan plasticidad a la pasta por su naturaleza; en el segundo grupo se encuentran la arena (cuarzo), feldespatos, dolomita, alúmina y otros compuestos y óxidos carentes de plasticidad pero aportantes de otras características necesarias en las pastas, y que generalmente se presentan en granos secos.

El proceso de formación por forjado (roller) depende mucho de la plasticidad de la pasta. Durante el proceso una rodaja de pasta es colocada sobre un molde de yeso y rotada a 400 rpm mientras se empuja contra esta una herramienta (roller en resina epóxica) con el perfil de la pieza. Esta herramienta define la superficie y forma la superficie superior de la pieza.

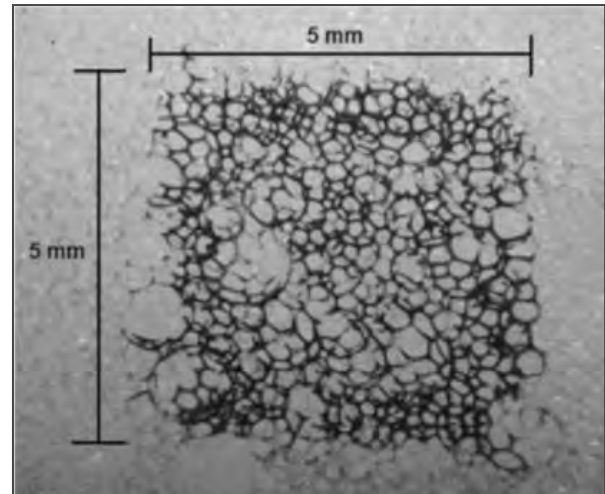
Cuando dos superficies de ingeniería están sometidas a esfuerzos de contacto aparecerá una distorsión en cada una de ellas. Estas deformaciones pueden ser elásticas, plásticas o una mezcla de ambas, las cuales pueden observarse a diferentes escalas: Macroscópica, a simple vista o con ayuda de comparadores y microscópica, como el número discreto de puntos de contacto que se deforman durante la aplicación del esfuerzo (Williams, 1994). Si además se inicia un deslizamiento relativo entre ellas aparece una resistencia al movimiento ofrecida por ambos

cuerpos que es necesario vencer para continuar con el movimiento, esta resistencia es conocida como fricción. Los cuerpos pueden ser un gas y un sólido (fricción aerodinámica), un líquido y un sólido (fricción lubricada), entre un sólido y un sólido (fricción sólida) o debido a la disipación de energía interna dentro de un cuerpo (fricción interna) (Larsen-Basse, 2004). Los cerámicos, los cuales son sólidos no metálicos inertes, han sido usados para propósitos tribológicos por décadas. Sin embargo, los estudios sobre tribología de cerámicos se centran en el estudio de cerámicos técnicos e investigaciones sobre materiales cerámicos tradicionales, como arcillas, son prácticamente inexistentes, especialmente en estado crudo.

## ESTUDIO EXPERIMENTAL

Para el trabajo experimental se utilizó como base para la ponderación la espuma flexible actualmente utilizada en el medio. Se caracterizaron además otras tres opciones de espumas que a partir de ahora se llamarán Espuma importada, Espuma nacional y Espuma de polietileno (PE). La caracterización fue realizada de la siguiente manera: a) La caracterización mecánica se realizó en una máquina universal de ensayos INSTRON 3366 basándose en la norma ASTM D3574-03 utilizando cuerpos de prueba de dimensiones 50 x 50 x 25 mm, las condiciones de ensayo utilizadas fueron: Velocidad de deformación de 250 mm/min, durante dos deformaciones del 75% y velocidad de deformación de 50 mm/min hasta una deformación del 50%. b) La medición de densidad se realizó basándose en la norma ASTM D 1188-96. c) La medición de la absorción de la espuma consistió en sumergir por completo las probetas previamente pesadas durante 24 horas, para luego hacer una serie de mediciones de peso que dan cuenta de las propiedades de absorción de los diferentes tipos de espumas analizadas. d) La morfología fue medida caracterizando el tamaño de celda y la densidad de celda en un área de 25 mm<sup>2</sup> (véase Figura 1).

**FIGURA 1**  
Área estándar para la medición de la morfología de la espuma flexible



La medición de la capacidad de abrasión (pulido) del material cerámico fue realizado *in situ* (véase Figura 2) en donde las diferentes espumas se acondicionaron para la operación.

**FIGURA 2**  
Montaje de las espumas de pulido



f) La medición cuantitativa de la abrasión (medición de la rugosidad obtenida en los platos) fue realizada utilizando un rugosímetro Mahr Perthen 79120000, el parámetro utilizado para tal fin fue rugosidad promedio (Ra)

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 se presentan los resultados de las propiedades caracterizadas para la espuma flexible actualmente utilizada en el proceso de pulido. Estas se consideraran como los valores ideales para esta aplicación.

**TABLA 1**  
Propiedades de espuma actual

PROPIEDAD		RESULTADO
Densidad aparente		0.050 g/cm <sup>3</sup>
Absorción	Absorción total	2451.113 %
	Absorción escurrido gravedad	813.651 %
	Drenaje escurrido gravedad	64.18 %
Módulo de elasticidad		46.15 kPa
Recuperación elástica		1.4 kPa
Densidad de celda		13.44 celdas/mm <sup>2</sup>
Tamaño de celda promedio		0.25 mm
Rugosidad obtenida en el plato		4.93 μm
Resistencia al desgaste		Buena

En la Tabla 2 se presentan los resultados de las espumas alternativas para el proceso de pulido.

**TABLA 2**  
Propiedades de espuma

PROPIEDAD		Espuma importada	Espuma nacional	Espuma de PE
Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )		0.080	0.033	0.020
Absorción	Absorción total (%)	2968.72	3382.99	908.49
	Absorción escurrido gravedad (%)	2214.20	1368.36	696.56
	Drenaje escurrido gravedad (%)	24.64	57.87	21.03
Módulo de elasticidad (kPa)		36.32	65.34	N/A
Recuperación elástica (kPa)		1.95	1.05	N/A
Densidad de celda (celdas/mm <sup>2</sup> )		12.2	3.96	6.56
Tamaño de celda (mm)		0.51	0.99	1.39
Rugosidad obtenida en el plato (μm)		3.42	3.77	N/A
Resistencia al desgaste		Buena	Regular	Mala

Para la ponderación de las propiedades más influyentes en el proceso de pulido estas se clasificaron con calificaciones y porcentajes que se presentan en la Tabla 3. La metodología usada para este procedimiento es basada en la metodología de Senge, 1994 para la toma de decisiones.

**TABLA 3**  
**Ponderación de propiedades**

PROPIEDAD	CALIFICACIÓN	PORCENTAJE	CLASIFICACIÓN
Absorción	16	14	4
Densidad aparente	9	8	6
Módulo de elasticidad	12	11	5
Recuperación	19	17	3
Densidad de celda	4	4	7
Tamaño de celda	1	1	8
Desgaste	25	22	2
Abrasión	26	23	1

En la Tabla 4 se presentan las calificaciones en forma de gráficos radiales de las propiedades evaluadas para cada espuma, así como las calificaciones totales, donde la espuma actual tiene una calificación de 1000 por ser, por ahora, la espuma ideal para obtener condiciones óptimas en el proceso de pulido.

TABLA 4  
Calificación de las espumas

ESPUMA	GRÁFICO	CALIFICACIÓN TOTAL
PU Nacional	<p>A radar chart for PU Nacional with eight axes: Absorción (top), Abrasión (top-left), Desgaste (left), Tamaño de celda (bottom-left), Densidad de celda (bottom), Recuperación (bottom-right), Módulo de elasticidad (right), and Densidad aparente (top-right). The scale ranges from 0 to 10. The scores are approximately: Absorción (5), Abrasión (8), Desgaste (4), Tamaño de celda (4), Densidad de celda (4), Recuperación (8), Módulo de elasticidad (4), and Densidad aparente (8).</p>	555
PU Importada	<p>A radar chart for PU Importada with eight axes: Absorción (top), Abrasión (top-left), Desgaste (left), Tamaño de celda (bottom-left), Densidad de celda (bottom), Recuperación (bottom-right), Módulo de elasticidad (right), and Densidad aparente (top-right). The scale ranges from 0 to 10. The scores are approximately: Absorción (5), Abrasión (8), Desgaste (8), Tamaño de celda (4), Densidad de celda (10), Recuperación (4), Módulo de elasticidad (10), and Densidad aparente (4).</p>	605
PE	<p>A radar chart for PE with eight axes: Absorción (top), Abrasión (top-left), Desgaste (left), Tamaño de celda (bottom-left), Densidad de celda (bottom), Recuperación (bottom-right), Módulo de elasticidad (right), and Densidad aparente (top-right). The scale ranges from 0 to 10. The scores are approximately: Absorción (5), Abrasión (8), Desgaste (4), Tamaño de celda (4), Densidad de celda (4), Recuperación (4), Módulo de elasticidad (4), and Densidad aparente (8).</p>	80

## CONCLUSIONES

Debido a lo observado en la Tabla 5 se concluye que las espumas evaluadas no tienen las características adecuadas para el proceso de pulido. Por el momento, en el mercado local no se consigue una espuma que pueda ser utilizada por la industria cerámica local. Por todo lo anterior, se propone el diseño local de una espuma especial para el pulido de los productos cerámicos de Corona considerando las propiedades de la espuma que actualmente se está utiliza, mejorando la resistencia al desgaste y la abrasión obtenida en el material cerámico; el costo sería un elemento secundario para este diseño considerando que los tiempos de entrega tan restringidos actualmente hacen que el costo de compra, transporte, logísticos y de importación sean muy altos, haciendo que un diseño nacional tenga una relación coste/beneficio máximo.

## BIBLIOGRAFÍA

- LEE, S. T.; PARK, C. B., y RAMESH, N. Polymeric Foams Science and Technology. Boca Raton. CRC Press. 2007.
- KLEMPNER, D., y FRISCH, K. C. Handbook of polymeric foams and foam technology. New York. Hanser Publishers. 1991.
- GIBSON, L., y ASHBY, M. Cellular Solids: Structure and Properties. Cambridge. Cambridge University Press. 1997.
- LEE, S. T.; RAMESH, N. S. y GENDRON, R. Thermoplastic Foam Processing. Boca Raton. CRC Press LLC. 2005.
- WILLIAMS, J. Engineering Tribology. En: Engineering Tribology. New York: Oxford University Press. 1994. p. 488.
- LARSEN-BASSE, J. Solid Friction. En: P. J. BLAU. ASM Handbook Volume 18: Friction, Lubrication and Wear Technology. [s.l.]. ASM International. 2004. p. 25 - 78.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard test methods for flexible cellular materials. Test C – Compression force deflection test. West Conshohocken. ASTM. 2003. p. 4 - 5. ASTM D3574 - 03.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard Test Method for Bulk Specific Gravity and Density of Compacted Bituminous Mixtures Using Coated Samples. West Conshohocken. ASTM. 1996. ASTM D1188 – 96

# **DISEÑO Y DESARROLLO DE UN DISPOSITIVO NEUMÁTICO DE COMPRESIÓN CONSTANTE POR LA TÉCNICA DE LOS CUATRO PUNTOS PARA ESTUDIOS DE STRESS CORROSIÓN CRACKING DE O-RINGS METÁLICOS EN AUTOCLAVES**

ALEJANDRO BERMÚDEZ FERNÁNDEZ

abermud2@eafit.edu.co

Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS  
DISEÑO DE SISTEMAS TÉCNICOS

ASESOR  
EDGAR ALEXANDER OSSA

SECTOR BENEFICIADO  
Centro de Estudios de Energía Nuclear [SCK CEN]



## **RESUMEN**

Un montaje para estudios de iniciación de grietas en condiciones ambientales de reactores de agua presurizados ha sido reproducido en una autoclave a través de un dispositivo que consta de un muelle controlado neumáticamente. Está basado en una carga constante, por compresión en el método de los cuatro puntos para unas muestras de anillos. Los valores de carga necesarios para producir los límites de esfuerzo necesarios son hallados utilizando un dispositivo para slow strain rate testing (SSRT) y también por un análisis de elementos finitos. La reproducción de stress corrosión cracking es validada por análisis posteriores microscópicos para determinar el debido funcionamiento del dispositivo.

Experimentos fueron realizados en acero inoxidable austenítico sensibilizado (tipo 304) en agua pura oxigenada a 300°C (simulando un reactor de agua presurizada con condiciones químicas de agua normal). Las muestras fueron expuestas a diferentes niveles de esfuerzos para un periodo máximo de 15 días. Ninguna de las muestras estaba completamente fracturada después de la prueba. Análisis de la microestructura indicó grietas intergranulares en todas las muestras y zonas de hoyuelos estrechos mostrando iniciación de ataque. Respecto a esto el dispositivo funcionó apropiadamente, mas experimentación será llevada a cabo.

## **PALABRAS CLAVES**

Stress corrosión cracking, compresión de anillos, iniciación de grieta, slow strain testing, muelle.

## **ABSTRACT**

A set-up for crack initiation studies in pressurized water reactor (PWR) environment conditions has been reproduced in an autoclave by means of a pneumatic servo



controlled bellows device. It is based on the constant load, four point compression of ring samples. Load values necessary to produce the stress limits needed are found by using a slow strain rate testing (SSRT) device and a finite element analysis. The reproduction of stress corrosion cracking is supported by post test microscopic analysis to determine correct functionality by the bellows device.

Experiments were done on sensitized austenitic stainless steel (type 304) in oxygenated pure water at 300°C (simulating a pressurized water reactor with normal water chemistry). The samples were exposed at different stress levels for a maximum period of 15 days. None of the samples were completely broken after the test. Analysis of the microstructure data indicated intergranular cracks on all samples and narrow type dimple fracture zones showing attack initiation. With this respect the device functioned properly, further testing will be performed.

## **KEYWORDS**

Stress corrosion cracking, o-ring compression, crack initiation, slow strain rate testing, and bellow

## **INTRODUCCIÓN**

El stress corrosión cracking (SCC) es un tema importante en el manejo de centrales eléctricas nucleares debido al gravamen de vida de los componentes del reactor. Para un desempeño óptimo de la vida útil, un método confiable para predecir el tiempo a la falla de un componente tiene que ser desarrollado y ser validado contra datos experimentales. Generalmente, el tiempo a falla debido a SCC consiste en 3 etapas: (1) la etapa de incubación, (2) la iniciación de la grieta y (3) la propagación de la grieta y fractura mecánica debido a la sobrecarga de la sección representativa restante del componente (Newman, 2002). En la práctica actual, en las centrales eléctricas nucleares, los primeros dos pasos no pueden ser separados fácilmente, pues el límite de detección para los defectos está típicamente de la orden de un milímetro. Por lo tanto los métodos de prueba para predecir el tiempo de iniciación de grieta son de gran importancia. En este trabajo se presenta el desarrollo de un dispositivo que prueba la iniciación de grieta, que se puede utilizar para probar la tubería de acero inoxidable

austenítica 304 producidos industrialmente (anillos o) en autoclaves. Una aplicación es simular las condiciones ambientales dentro de un reactor nuclear.

Las pruebas para comprobar el SCC pueden ser costosas debido a las siguientes inconveniencias, según lo estudiado: El estudio experimental del proceso de iniciación de grieta, implicado en el SCC, con especímenes lisos está compuesto por pruebas de carga ascendente o pruebas de carga constantes. Las pruebas de carga constantes son la mejor simulación de la situación de un componente en un reactor, pero pueden requerir muchos especímenes y a veces largos periodos de prueba para obtener datos confiables. Cuando los especímenes se exponen en el estado no irradiado en el ambiente, incluyendo el flujo de la irradiación, los experimentos pueden ser muy largos y por ende muy costosos. Cuando se utiliza material pre irradiado, el maquinado de las muestras es difícil y la calidad disponible del material es generalmente baja (Payer, 1976).

## **PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL**

Dos tipos de experimentación fueron llevados a cabo; slow strain rate testing (SSRT) e iniciación de grieta por carga constante en el dispositivo neumático. Los resultados de la primera prueba permitieron llevar a cabo la segunda. Ambas pruebas con el mismo material; la primera en condiciones en aire y la segunda en agua pura oxigenada a 300°C con el material previamente sensibilizado para promover el ataque del SCC.

## **MATERIAL**

El material de prueba es un tubo de acero inoxidable austenítico (tipo 304) que representa uno de los más usados para la frontera de presión y otros componentes en un circuito de un PWR, como la tubería primaria o tubería interna en el núcleo del reactor. La agresividad de los ambientes corrosivos presentes allí genera la necesidad de reemplazar estos componentes representando altas pérdidas en disponibilidad de planta.

Para aceros austeníticos, la resistencia a la corrosión es relativa a su contenido de níquel, un alto contenido asegura una mejor resistencia. Valores nominales de composición del material son dados en la Tabla 1, y propiedades mecánicas en la Tabla 2. A temperaturas elevadas el esfuerzo de cedencia de un metal tiende a disminuir. Este valor de esfuerzo será igual a 290 MPa para la temperatura de 300°C a la cual será expuesto el material, según la Figura 1. Dicho valor de esfuerzo que buscara igualar la carga compresiva por medio de presión neumática aplicada por el dispositivo. Es necesario hallar esta carga para determinar qué presión aplicar en el sistema.

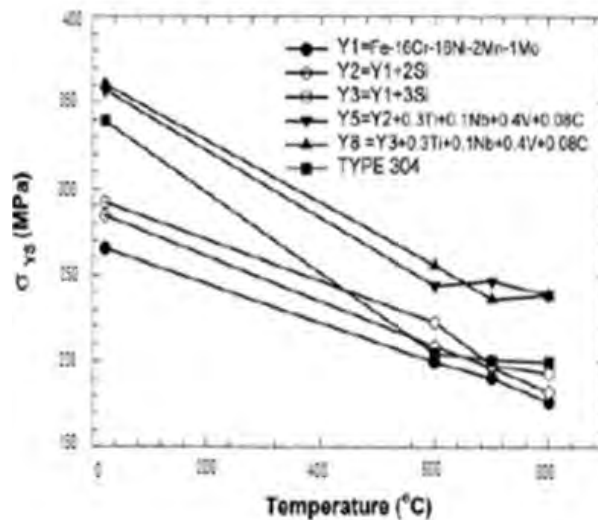
**TABLA 1**  
Composición química nominal de acero tipo 304

Componente	WT %
C	0.08
Mn	2
Si	0.75
P	0.045
S	0.03
Cr	18
Mo	-
Ni	8
N	0.1

**TABLA 2**  
Propiedades mecánicas acero tipo 304

Propiedad	Valor
Esfuerzo Ultimo	515 [MPa]
Esfuerzo de Cedencia	340 [MPa]
Modulo de Rigidez	193 [GPA]
Razón de Poisson	0.27-0.30

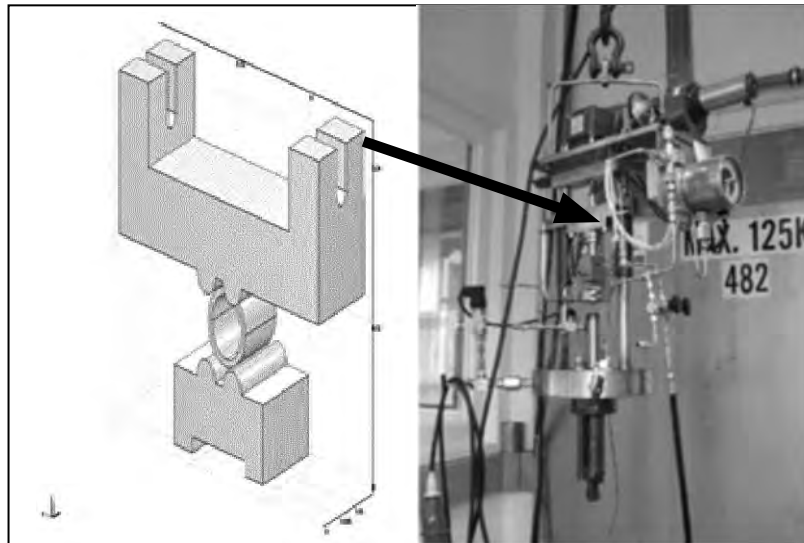
**FIGURA 1**  
Comportamiento del esfuerzo de cedencia de varios materiales a diferentes temperaturas



### Experimentación con el SSRT

El diseño de la muestra y el montaje de compresión de los cuatro puntos acoplado al SSRT se observa en la Figura 2. La matriz de experimentación consta de 10 muestras, como se determinan en la Tabla 3, y cada una se le determino la carga necesaria para llegar al esfuerzo de cedencia. Lecturas de desplazamiento por un sensor LVDT y de carga por una celda fueron obtenidas y graficadas para generar una curva de esfuerzo a razón de desplazamiento para cada muestra.

**FIGURA 2**  
**Montaje de compresión por cuatro puntos en el SSRT**



**TABLA 3**  
**Matriz de muestras para pruebas en SSRT**

Muestra	D Externo (mm)	D Interno (mm)	L (mm)
SSRT-IA-1	10	8	12
SSRT-IA-2	10	8	10
SSRT-IA-3	10	8	8
SSRT-IA-4	10	8	6
SSRT-IA-5	10	8	4
SSRT-IA-6	8	6	12
SSRT-IA-7	8	6	10
SSRT-IA-8	8	6	8
SSRT-IA-9	8	6	6
SSRT-IA-10	8	6	4

Estas a su vez fueron comparadas con un software para el análisis de elementos finitos llamado COMSOL Multiphysics, Como se puede observar en la Figura 3. Con esta verificación de resultados experimentales a teóricos

se pudo verificar la validez de la fuerza hallada en COMSOL para generar el esfuerzo de cedencia necesario para cada muestra en la fibra exterior del anillo como se denota en la Figura 4 (circulo negro).

FIGURA 3  
Valores de carga a razón de desplazamiento

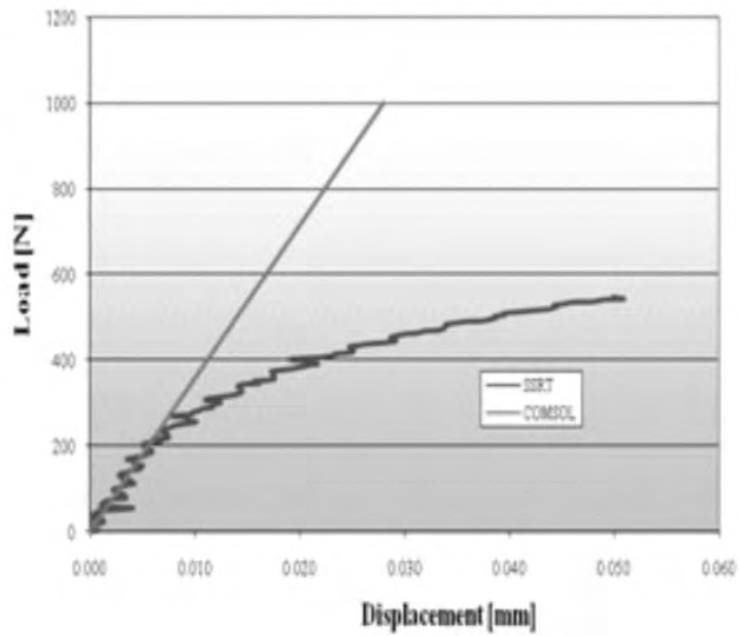
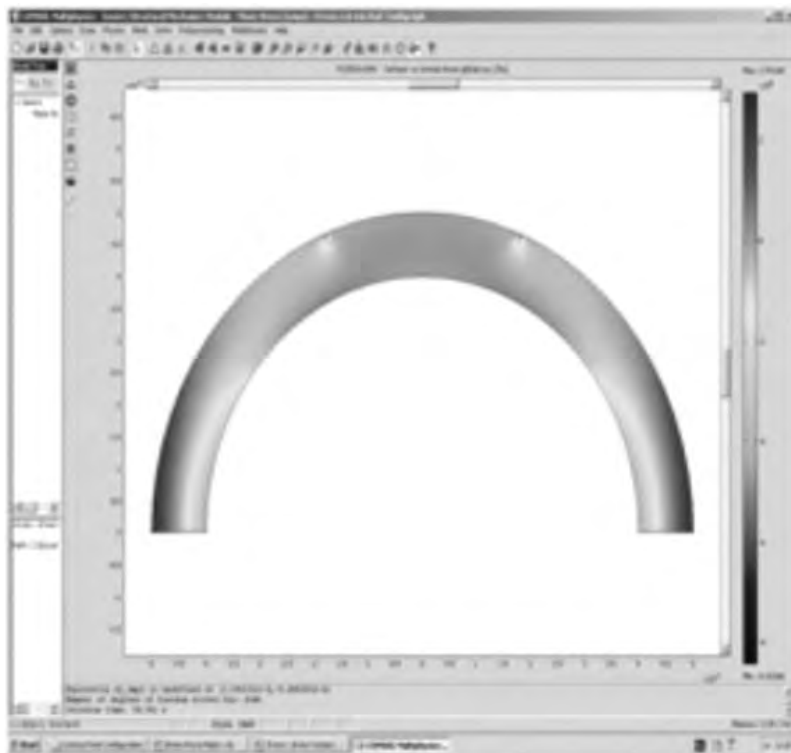


FIGURA 4  
Análisis por elementos finitos en COMSOL Multiphysics con énfasis en cedencia en la fibra exterior en el eje x



## Experimentación con el Dispositivo Neumático

Las pruebas de los anillos expuestos a las condiciones corrosivas que generan el SCC fueron realizadas en una autoclave sellada en condiciones ambientales PWR a 300°C, ya mencionado por 15 días. Con una presión constante al muelle que proporcionaba la carga compresiva a los anillos.

El funcionamiento del dispositivo se observa en la figura 5. La parte (a) es donde se ubica a soldadura el muelle. Por medio de un fuerza extensiva axial, gracias el gas que presuriza el muelle y lo expande, el hala la "jaula" (b) hacia arriba creando así la compresión del primer anillo. Una vez este anillo llegue a su nivel de esfuerzo deseado, un bloque (f), actuara como un paro de aplicación a esa muestra y continuara transmitiendo la compresión a la jaula que siga (c). La parte superior (e) está sujeta a la tapa de la autoclave y permiten rigidez. Los pasadores (d) son los que permiten el desplazamiento lineal a medida que el muelle empuja hacia arriba.

## RESULTADOS

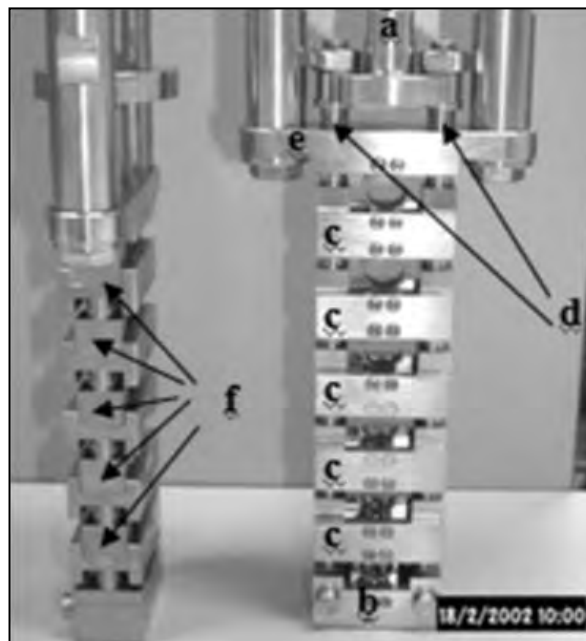
### Resultados SSRT

La Tabla 4 muestra los resultados obtenidos para cada espécimen en la matriz de prueba de la Tabla 3. En términos generales la comparación realizada para cada curva obtenida por medio del SSRT y estudiada en COMSOL resultó muy familiar a la demostrada en la Figura 3, datos similares y congruentes. Aplicando estática se hallaron por medio de las siguientes formulas los valores de presión necesarios para aplicar al sistema neumático y recrear las cargas compresivas necesarias. Valores también disponibles en la Tabla 4. Donde F representa la carga que se debe aplicar, A, el área efectiva de acción del muelle y P la presión requerida para lograr dicha carga.

$$F = P/A \quad (1)$$

Se observa que los resultados muestran coherencia en el sentido en que la carga aumenta en sentido lineal a medida que aumenta el área superficial de cada muestra.

FIGURA 5  
Principios del funcionamiento del dispositivo



**TABLA 4**  
Matriz de resultados para el SSRT

Muestra	Carga [N]	Sx fibra interior en eje Y [MPa]	Sy fibra exterior en eje X [MPa]	Presión (bar)
SSRT-IA-1	710	2.34E+08	2.98E+08	21.01
SSRT-IA-2	1060	2.33E+08	2.96E+08	31.36
SSRT-IA-3	1410	2.32E+08	2.96E+08	41.72
SSRT-IA-4	1760	2.32E+08	2.95E+08	52.07
SSRT-IA-5	2110	2.32E+08	2.95E+08	62.43
SSRT-IA-6	430	2.60E+08	2.92E+08	12.72
SSRT-IA-7	650	2.62E+08	2.95E+08	19.23
SSRT-IA-8	870	2.63E+08	2.96E+08	25.74
SSRT-IA-9	1090	2.64E+08	2.96E+08	32.25
SSRT-IA-10	1300	2.62E+08	2.95E+08	38.46

### Resultados Dispositivo Neumático

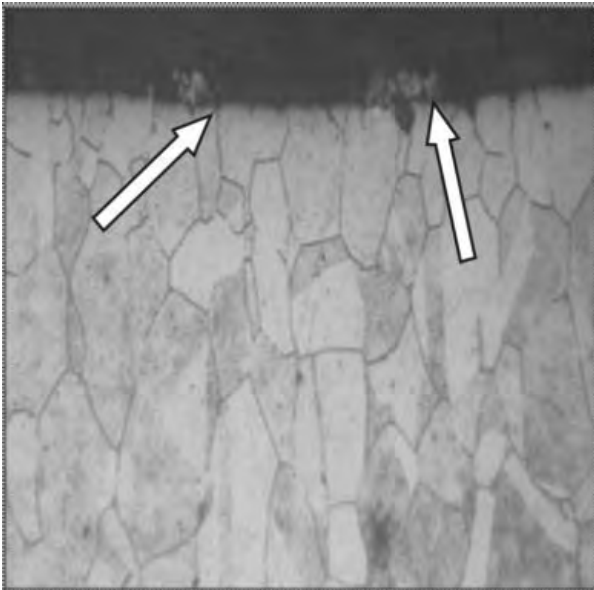
Con base en el principio de funcionamiento se desarrolla y fabrica un dispositivo de las mismas características funcionales con capacidad de prueba para tres muestras. Con restricciones dimensionales (medidas del autoclave) que permitan la realización de experimentos en autoclave con profundidades igual o mayores a 190 mm y diámetros interiores iguales o mayores 40 mm. El dispositivo se observa en la figura 6.

El estudio metalografico de las muestra fue atacado con Vileya (5 ml de ácido Clorhídrico, 100 ml de metanol y 1 g de ácido pícrico) y estudiado a magnitudes de 200x y 500xs. Se observa en las secciones transversales de la Figura 7, a 200x, la propagación intergranular de las grietas como es señalado. La aumentación a 500xs en la Figura 8 demuestra la estructura del grano en la frontera debido al sensibilizado.

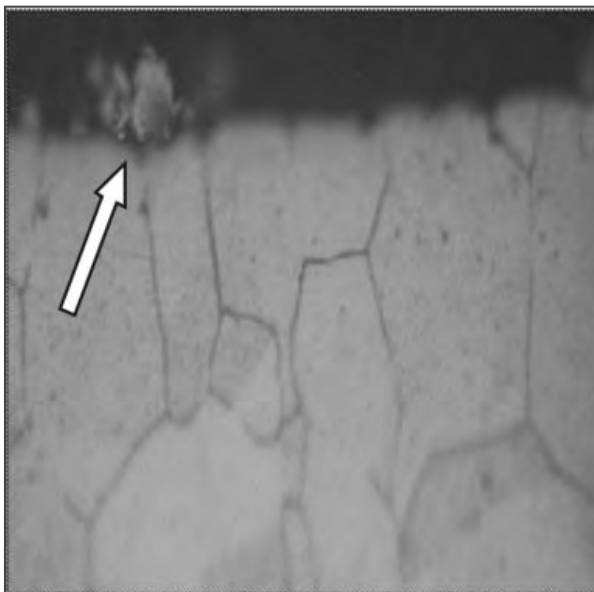
**FIGURA 6**  
Dispositivo desarrollado



**FIGURA 7**  
Grieta intergranular a través del límite de frontera sensibilizado



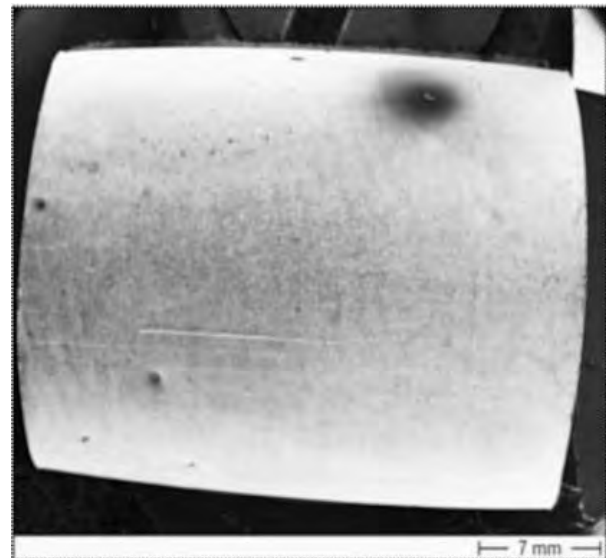
**FIGURA 8**  
Imagen aumentada 500xs del fenómeno de iniciación de grieta en la muestra



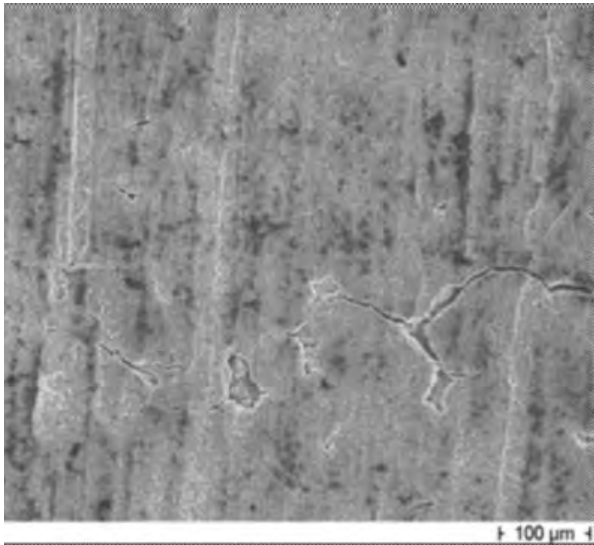
Por medio de una exanimación por scanning electron microscope (SEM) se procedió hacer un estudio sobre las muestras aun más detallado. Las superficies interiores e inferiores donde se concentro el esfuerzo, la fibra exterior, fueron estudiadas. En la mayoría de las muestras varias grietas de diferentes tamaños y profundidades han sido observadas. No hay tendencias claras en las grietas superficiales debido a la variación de esfuerzo aplicado. Las grietas superficiales están orientadas en la dirección del esfuerzo máximo a tensión aplicado, como se observa en la Figura 9.

Las grietas superficiales también se encuentran a lo largo de los límites de frontera granulares, señalado en la Figura 10. La presencia de la película oxidante dificulta la claridad en la observación de las grietas superficiales sobre toda la muestra. La película refleja la estructura de las limitaciones de grano sensibilizadas debajo de ella y claramente tiende a quebrar en dichos límites como se observa en la figura 11.

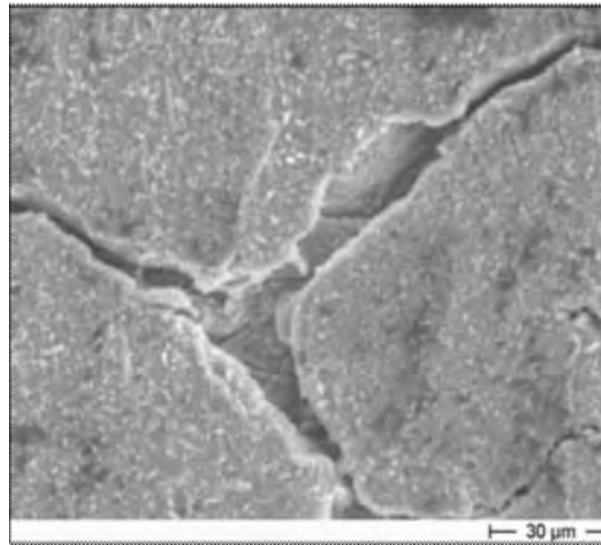
**FIGURA 9**  
Orientación general de las grietas superficiales



**FIGURA 10**  
Grietas a lo largo de los límites de frontera



**FIGURA 11**  
Estructura de limitaciones del grano



## CONCLUSIONES

Un montaje para pruebas de iniciación de SCC en condiciones de PWR fue desarrollado.

La geometría de la muestra para esta opción es de anillo, comprimida por el método de los cuatro puntos. Análisis de esfuerzos mostro que el esfuerzo máximo ocurría en la fibra exterior del anillo en el eje X y la fibra interna del eje X.

Una relación entre el esfuerzo máximo y la fuerza externa aplicada fue determinada gracias a un análisis de elementos finitos y también a través de pruebas experimentales.

El montaje fue concebido de tal forma que la prueba de varias muestras a la vez en paralelo sea posible.

El experimento fue llevado a cabo con agua pura de condiciones PWR y con muestras sensibilizadas, lo cual acelera el proceso de iniciación.

Ninguna falla completa fue registrada para la prueba a 15 días.

Análisis posterior por SEM mostro grietas superficiales en todas las muestras en la dirección del esfuerzo máximo aplicado.

Fractura a lo largo de los límites de frontera granulares pueden ocurrir debido a altos esfuerzos localizados en los granos.

Las pruebas resultaron bien aunque ninguna iniciación de grieta sustancial fue observada.



## **BIBLIOGRAFÍA**

NEWMAN, R.C., MARCUS, P. and OUDAR, J. Corrosion Mechanisms in Theory and Practice. 2 Ed. Philadelphia: CRC, 2002. 752 p. ISBN 0824706668.

PAYER, J.H., BERRY, W.E. and BOYD W.K. Constant Strain Rate Technique for Assessing Stress-Corrosion Susceptibility. In: Stress-Corrosion: New Approaches. H.L. Craig Jr. Ed. Philadelphia: American Society for Testing and Materials, 1976. p. 82-93. STP 610.

SCOTT, P.M. Environment-assisted Cracking in Austenitic Components. In: International Journal of Pressure Vessels and Piping. Elsevier, Oxford: 1996. vol. 65. no. 3. p. 255-264. ISSN 0308-0161.

STAEHLE, R.W. Framework for predicting stress corrosion cracking. In: Environmentally assisted cracking: predictive methods for risk assessment and evaluation of materials, equipment, and structures. West Conshohocken: Kane, R.D., 2000. p. 131-165. STP 1401.

# DISEÑO DE LA METODOLOGÍA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE TRES SISTEMAS DEL PILAR DE MANTENIMIENTO PROGRESIVO EN UNA COMPAÑÍA DE FLEXOGRAFÍA

JAIME ENRIQUE LONDOÑO CONGOTE

jlondo23@eafit.edu.co

Departamento de Ingeniería Mecánica

JUAN DAVID OSPINA MEDINA

jospin11@eafit.edu.co

Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS

MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

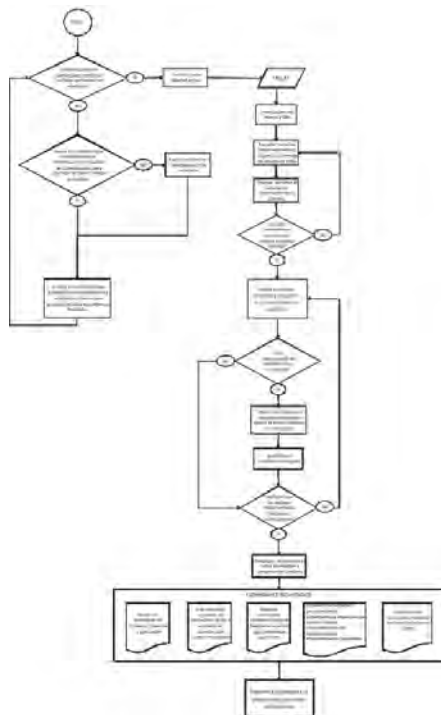
ASESOR PRINCIPAL

JUAN FELIPE ALZATE LÓPEZ

SECTOR BENEFICIADO

UNIVERSIDAD EAFIT

MICROPLAST – COLDEPLAST



## **PALABRAS CLAVES**

TPM: Administración productiva total.

Sistema: Es un conjunto de partes que operan con interdependencia para lograr objetivos comunes.

Flexografía: Sistema de impresión se utiliza tintas líquidas caracterizadas por su gran rapidez de secado lo que permite imprimir volúmenes altos a bajos costos, comparado con otros sistemas de impresión.

Indicadores de mantenimiento: Valor numérico que denota el estado de un equipo o maquina.

MTBF: Tiempo medio entre fallas.

MTTR: Tiempo medio para reparar.

Mantenimiento productivo: Grupo de trabajo encargado de realizar las labores de mantenimiento correctivo y preventivo.

## **INTRODUCCIÓN**

Algunas empresas en Colombia han venido adoptando TPM como parte de su sistema integral de gestión, los resultados que esta metodología ha dejado ver en las grandes empresas del mundo hacen que las compañías nacionales que quieren competir en el mercado internacional se acojan a esta estrategia metodológica.

Lo que se pretende con el desarrollo de este proyecto, es aportar al cumplimiento de las expectativas que tiene la empresa en cuanto al avance de la implementación del pilar mantenimiento progresivo de TPM.

El aporte específico que tendrá este proyecto consiste en plantear un modelo de trabajo soportado en todos los fundamentos teóricos del tema y encaminado a servir como guía para la implementación de los tres sistemas en cuestión.

## **DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA**

Enfocada en la atención al cliente y su satisfacción, la compañía es una manufacturera de envases flexibles que atiende a sectores tan importantes como el de los

alimentos e higiene, nacional e internacionalmente. Con una experiencia de más de 50 años y con la combinación de un excelente equipo de trabajo y tecnología de punta, permiten que siempre se cumplan las expectativas del cliente o que inclusive se superen estas.

Ubicada en Medellín, Colombia, la compañía se ha logrado posicionar como una de las empresas líderes en el sector de envases flexográficos. A través de exportaciones directas e indirectas, la compañía ha logrado llegar a diversos mercados internacionales, ofreciendo una amplia gama de materiales que se ajustan a las diferentes necesidades y exigencias de los envases que estos requieren.

## **PROPUESTA DEL PROYECTO**

Este proyecto nace como una propuesta hecha por parte de la empresa de manufactura de envases flexográficos, en la cual se exponen las necesidades que se tienen para lograr el cumplimiento de ciertos objetivos dentro de la implementación del pilar de mantenimiento progresivo de TPM. Como parte de esta propuesta en la empresa sugirió la idea de cumplir los objetivos de esta parte del pilar mediante un proyecto de grado, realizado por estudiantes de pregrado debido a lo importante que es para la compañía como labor social contribuir a la formación de futuros profesionales, y a su vez beneficiarse del conocimiento que estos puedan aportar.

La necesidad que existe en la empresa radica en la forma como actualmente se están llevando a cabo ciertas actividades de mantenimiento, donde existen operaciones que no están debidamente estandarizadas, no se tienen claramente definidas las actividades del departamento de mantenimiento para lograr soportar la tarea del mantenimiento de condiciones básicas realizado por manufactura, y por último la cantidad de fallas hace que el departamento de mantenimiento realmente trabaje como un departamento de reparaciones no pudiendo controlar la cantidad de trabajos resultantes. Lo que propone la metodología es plantear el camino que simplifique la manera de obtener mejores resultados si esta es ejecutada de manera correcta.

## **DISEÑO DE LA METODOLOGÍA SISTEMA DE SOPORTE A MANTENIMIENTO AUTÓNOMO**

### **BASES DE PRIORIZACIÓN**

Encontrando la relación entre cada indicador y su impacto económico, se puede establecer que criterio afecta más significativamente los costos operativos de la compañía, de esta manera se obtiene una base de priorización importante ligada a uno de los elementos primordiales para las empresas, la eliminación de las pérdidas.

El factor costo es algo que varía en todos los equipos y en todos los periodos de tiempo, un modelo general para asociar un costo a cada indicador de mantenimiento es algo que requiere alto conocimiento y experiencia de los equipos y un análisis profundo de los factores que intervienen en la variabilidad de los costos. Algunos de estos factores que deben ser considerados en un estudio son:

- Costo de la mano de obra directa.
- Costo de la materia prima.
- Costo de los productos defectuosos.
- Costo de los no producidos.
- Costo de la mano de obra indirecta en operaciones y reparaciones.
- Costo de repuestos en las reparaciones.
- Costo de los tiempos muertos (comidas, descansos, ausentismo, etc.).
- Costo de capacidad ociosa.
- Costo de puesta en marcha.

Estas consideraciones, sugieren que los indicadores se deberían organizar de la siguiente manera descendente dependiendo lo que cada uno interioriza y afecta para obtener un criterio de priorización en los trabajos sobre los equipos de Mantenimiento autónomo: MTBF, % de Tiempo Improductivo, MTTR, Número de Fallas Y EGE.

Para cada uno de ellos se debe definir la meta y después analizar en el orden sugerido el cumplimiento para establecer cuál es la mayor necesidad.

## **ENTREGA DE ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO PRODUCTIVO A MANTENIMIENTO AUTÓNOMO**

Algunos de los criterios propuestos para tener en cuenta inicialmente en esta evaluación por parte del departamento de mantenimiento son:

- Tiempo que demanda la operación de mantenimiento.
- Herramientas necesarias para realizar la operación de mantenimiento.
- Frecuencia.
- Habilidad técnica necesaria y conocimiento del funcionamiento correcto del sistema.
- Cantidad de personas necesarias para realizar la actividad.








Inicialmente las actividades que se deben evaluar son las correspondientes a limpiezas, lubricación e inspección debido a que el resto de actividades preventivas generalmente requieren de mayor habilidad por parte del interventor o requieren instalaciones, desarme o utilización de repuestos especiales. Estas actividades en su mayoría serán entregadas desde los programas actuales de Mantenimiento Preventivo de la compañía.

### **REVISIÓN DE ESTÁNDARES DE MANTENIMIENTO AUTÓNOMO**

De acuerdo con lo propuesto en los conceptos para el diseño de la metodología, este proyecto sugiere algunos puntos clave ó tips que sirvan como guía al grupo de mantenimiento productivo para la revisión y validación de las normas Lubricación, inspección y limpieza propuestas por mantenimiento autónomo.

El pilar de MA en sus etapas superiores sugiere un trabajo organizado en algunas categorías que pueden ser susceptibles de fallas para los diferentes tipos de negocios. Estas categorías entre otras incluyen: Tornillería, Neumática, Hidráulica, Eléctrica / Electrónica y Estrategia de Control.

## SISTEMA DE PROCESO DE ELIMINACIÓN DE FALLAS

LOGO		Norma de Lubricación				Máximo peso	H		G		
		LUBRICACION				Tiempo		Intervalo		Capacidad	Responsable
Equipos	Punto de Lubricación	Tipo de Lubricante	Mínimo de Cantidad y Lubricación Normalizada	Actividad al Lubricar			B	M	A		
(A)	(D)	(B)	(E)	(F)							
				(F)							
HERRAMIENTAS											
1.	4.	7.	10.	13.	16.						
2.	5.	8.	11.	14.	17.						
3.	6.	9.	12.	15.	18.						
MÉTODO DE LUBRICACIÓN						TIEMPOS DE LUBRICACIÓN					
      						Tiempo Real Total: _____ Diferencia a Reducir: _____ Tiempo usado: _____					
Aprieta el botón de sugerencia						Aprieta el botón de recalcular/eliminar					

El proceso de análisis estadístico de los datos históricos de la compañía. Se han establecido como fallas significativas, denominadas por la compañía como "Fallas Mayores" aquellas que generan valores representativos de tiempo improductivo debido al tiempo de paro y al costo de su reparación.

Siendo consecuentes con la carga laboral del personal de mantenimiento de la compañía y los espacios de tiempo destinados por parte del departamento de TPM para la realización de estas actividades de análisis, es necesario establecer cuáles son las fallas que se van a analizar en un principio, teniendo en cuenta que la cantidad de fallas que se presentan en un mes superan en amplio margen la capacidad que tiene la compañía para disponer de personal para analizarlas. Por tal motivo se debe seguir un procedimiento para determinar cuáles fallas se deben analizar inicialmente y cuáles no por lo criterios definidos por la compañía.

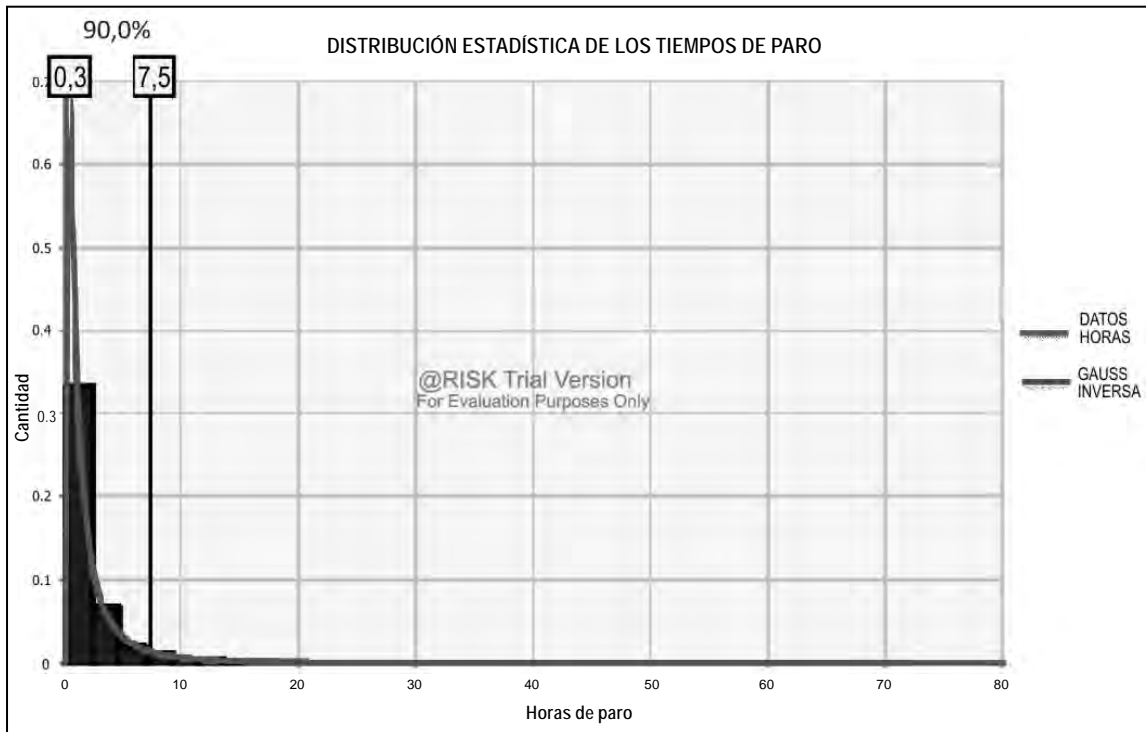
Análisis estadístico por tiempo de paro: Luego de organizar y analizar los datos históricos de la duración de

los mantenimientos correctivos en los últimos 20 meses, con la ayuda de un software de análisis estadístico se identifica la distribución estadística a la que más se ajustan estos datos.

La distribución estadística que más se ajusta el comportamiento de estos datos es la curva de distribución Gauss inversa, la cual muestra la tendencia de una densidad alta de datos bastante significativa para valores bajos de tiempos de reparación y una baja densidad de datos para valores de tiempos de reparación altos, lo que concuerda perfectamente con los reportes de mantenimiento.

Otra información importante que ofrece el software estadístico es la tabla de percentiles, que permite identificar los valores de entrada (tiempos de paro) agrupados acumulativamente en secciones porcentuales, es decir, permite ubicar un dato específico de entrada en la curva de distribución.

**FIGURA 2**  
Aproximación de la curva de distribución Gauss inversa al comportamiento de los tiempos de paro por correctivos



**FIGURA 3**  
Percentiles producto del análisis de los datos de tiempos de paro

Percentiles	Entrada	Gauss inv
5%	0.33	0.3366
10%	0.5	0.4136
15%	0.5	0.486
20%	0.5	0.5602
25%	0.5	0.6391
30%	0.75	0.7252
35%	1	0.8208
40%	1	0.9286
45%	1	1.0517
50%	1	1.1943
55%	1.41	1.3621
60%	1.5	1.5629
65%	2	1.8081
70%	2	2.1149
75%	2.5	2.5114
80%	3	3.0465
85%	3.5	3.8169
90%	5	5.0525
95%	7.5	7.5418

Con base en la capacidad del equipo de mantenimiento para ejecutar los procesos de eliminación de fallas, establecida en aproximadamente 240 fallas analizadas por año, se puede localizar en la tabla de percentiles el valor asociado que representa el límite por encima del cual se presentan en promedio 240 fallas por año.

El dato localizado representa un valor de referencia para establecer la clasificación de fallas que propone la metodología diseñada en este proyecto.

### **ANÁLISIS ESTADÍSTICO POR COSTOS DE CORRECTIVOS**

Para este caso se utilizaron datos históricos de los últimos 18 meses, correspondientes a los costos promedio de las intervenciones correctivas en los equipos de la planta. Los costos de las operaciones de tipo preventivo

no fueron tenidos en cuenta en este análisis debido a que el concepto de falla se entiende solamente desde los procedimientos correctivos.

A la cantidad de fallas que deben ser analizadas por cuenta de la duración de los mantenimientos correctivos, se suman las fallas que representan costos significativos para la compañía. Se estableció un punto de partida para el análisis de fallas de acuerdo a su costo de reparación, de manera que todas las fallas que superen el percentil 80 de la distribución Weibull deben ser analizadas.

Este percentil se estableció como un punto de partida tentativo, debido que a partir de allí las fallas tienen un costo unitario promedio para reparar de aproximadamente \$310.200 COP lo que representa una cifra significativa para la compañía tratándose de una única falla que se puede eliminar por medio de su análisis.

**FIGURA 3**  
Aproximación de la curva de distribución Weibull al comportamiento de los costos por mantenimientos correctivos

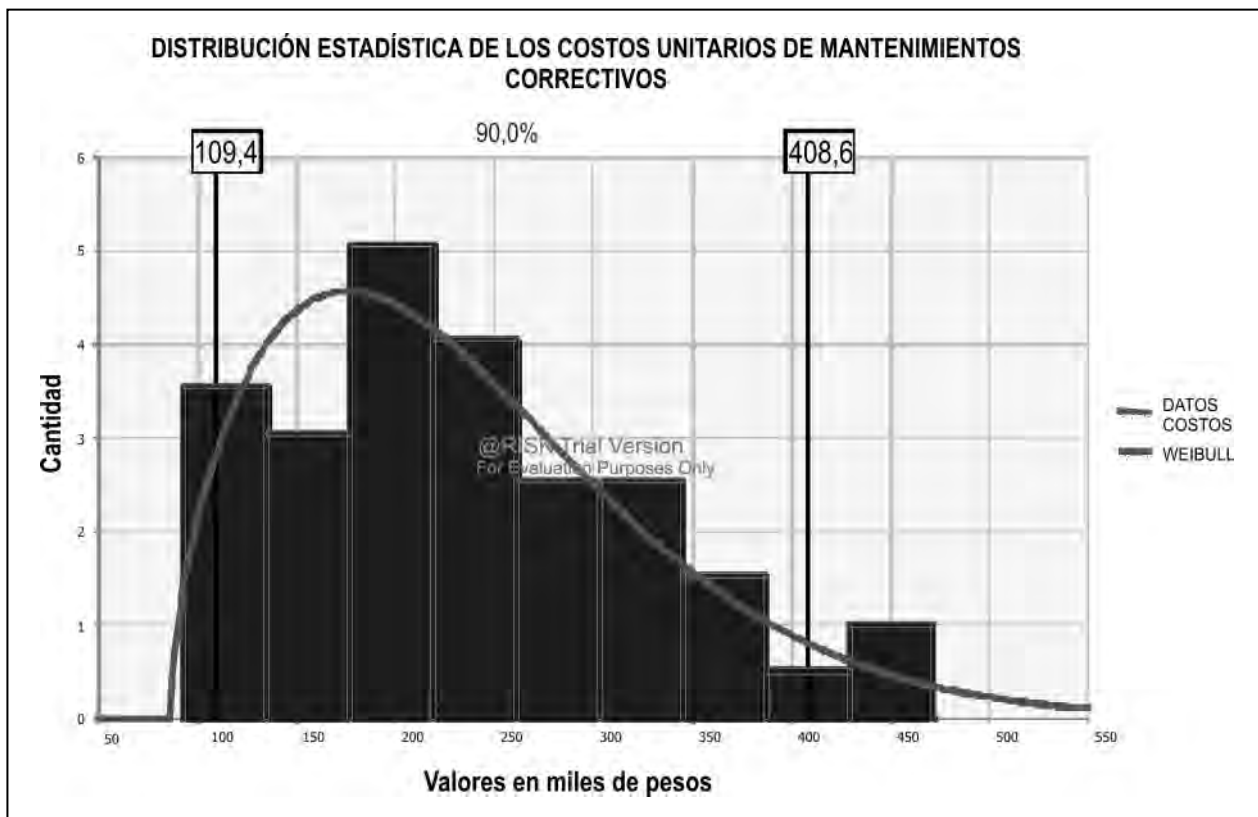


FIGURA 5  
Percentiles producto del análisis de datos de costos de correctivos

Percentiles	Entrada	Weibull
5%	109,372	111,917
10%	115,101	126,648
15%	136,589	139,312
20%	150,810	151,015
25%	161,063	162,226
30%	182,046	173,212
35%	188,308	184,160
40%	190,056	195,220
45%	210,852	206,532
50%	226,600	218,238
55%	231,577	230,499
60%	254,330	243,510
65%	259,043	257,528
70%	275,399	272,907
75%	297,294	290,178
80%	328,377	310,200
85%	338,714	334,544
90%	360,794	366,629
95%	408,626	416,960

En base a los resultados obtenidos del estudio se define la clasificación de las fallas en mayores y menores.

FIGURA 6  
Clasificación de las fallas de acuerdo a costo y tiempo de paro

Clasificación de las fallas		
Criterio/clasificación	Falla Menor	Falla Mayor
Costo	< \$310.200 COP	> \$310.200 COP
Tiempo	< 3.0465 Horas	>3.0465 Horas

Flujograma del proceso de eliminación de fallas: Una vez definida la clasificación de las fallas se procede al seguimiento del flujograma que describe de manera ordenada cómo se debe proceder en términos generales para implementar un proceso de eliminación de fallas.





FIGURA 8  
Lado frontal del formato de reporte y análisis de fallas

N° de Consecutivo o código en SAP		<b>FORMATO PARA REPORTE Y ANALISIS DE FALLAS</b>		<b>LOGO</b>	
Fecha reporte:		Fecha analisis:			
Hora parte:		Hora fin de parte:			
Equipo:		Codigo equipo:			
Modulo:		Codigo modulo:			
Parte:		Codigo parte:			
Descripción detallada de la falla (Que observó en el momento en que sucedió y en la reparación)					
Cual son los síntomas observados:					
Insumo		Fuido extraño		No prende	
Recalentamiento		Limpia		Falta de fluido eléctrico	
Vibración		Corto circuito		Desbalanceo	
Problemas de extrusión		Problemas de coexistencia		Problemas de laminación	
				Problemas de sellado	
Cual parece ser el efecto de falla:					
Consumo natural		Falla mecánica		Falla hidráulica	
Problema de lubricación		Falla neumática		Problema de operación	
Desalineación		Falla eléctrica		Falta de entrenamiento	
				Mala reparación anterior	
				Problemas de diseño	
				Mala calidad de materiales	
<b>Defina como trabaja el componente que fallo dentro de la maquina</b>					
Esquema				Liste los defectos observados en el componente que fallo	
				1	
				2	
				3	
				4	
				5	
Otros datos importantes					
¿Ha ocurrido antes esta falla?				SI ( ) NO ( )	
¿Cuántas veces?					
¿Otro equipo requiere inspección/mantenimiento por esta falla?				SI ( ) NO ( )	
¿Cuál (es)?					

Como parte de la metodología propuesta por los autores el formato de reporte y análisis de fallas esta soportado con un documento que facilita su utilización con el fin de obtener resultados confiables del análisis de fallas.

## SISTEMA DE PROCEDIMIENTOS Y ESTÁNDARES DE MANTENIMIENTO

La metodología que proponen los autores para implementar el sistema de procedimientos y estándares, plantea tres elementos que permiten consolidar todos

los aspectos que se deben tener en cuenta para desarrollar el proceso de estandarización de actividades de mantenimiento. Priorización de los procedimientos de mantenimiento que se deben realizar en la compañía. El método establece los siguientes criterios para definir esta priorización de actividades:

Criticidad: Este primer elemento de juicio establece que las primeras actividades que se deben atender al momento de realizarles un estándar, son aquellas en las que intervienen componentes que puedan afectar más directamente el proceso productivo que otras y/o afectar la seguridad.

Frecuencia: Se debe identificar la frecuencia con la que se realizan las actividades, de manera que las que se ejecutan constantemente también cuenten con un estándar que facilite su realización y evite que el tiempo acumulado por variaciones en los procedimientos o desconocimiento de esta sea muy alto.

Complejidad: Busca identificar las actividades en las que los encargados de realizarlas poseen diferentes habilidades técnicas de manera que a partir de la estandarización de dichas actividades cualquier persona pueda llevarlas a cabo.

Cada uno de estos criterios puede ser evaluado siguiendo la siguiente tabla.

**FIGURA 9**  
Calificación de las actividades para la priorización

Elemento	Bajo = 1	Medio = 5	Alto = 10
Criticidad	Tarea no afecta Los Indicadores PQCDMS	Tarea puede Afectar el Costo, las Entregas y la Moral	Tarea puede afectar Productividad y la Seguridad
Frecuencia	Tarea se realiza cada año o más	Tarea se realiza entre cada 3 meses y 1 año	Tarea se realiza entre cada 1 día y 3 meses
Complejidad	Tarea requiere poca habilidad técnica	Tarea requiere mediana habilidad técnica	Tarea requiere mucha habilidad técnica

La priorización final se obtendrá desde la estratificación de las actividades al aplicar la fórmula:

$$\text{Prioridad} = \text{Criticidad} * 0,5 + \text{Frecuencia} * 0,3 + \text{Complejidad} * 0,2$$

Elementos que debe contener un estándar de mantenimiento. En base a las necesidades de la compañía se establecieron los siguientes criterios que debe contener un estándar para actividades de mantenimiento: Persona encargada, Equipo detenido o en funcionamiento, Numero de interventores, Cuando se realiza la acción, Que conocimiento y habilidad

se requiere, Tiempo total que requiere la actividad, Elementos y actividades de seguridad, Materiales a utilizar, Herramientas requeridas, Descripción paso a paso de las actividades.

### **ELABORACIÓN DEL ESTÁNDAR**

Todos los elementos previamente descritos convergen finalmente en la elaboración física de los estándares para las operaciones de mantenimiento. El formato que este proyecto propone para la realización de los estándares de mantenimiento en la compañía se muestra a continuación.

**FIGURA 10**  
Propuesta para el estándar de actividades de mantenimiento

LOGO	NOMBRE DE LA ACTIVIDAD				CONSECUTIVO
Persona encargada			¿Se necesita equipo parado? (S ó N)		
Número de Personas que deben intervenir			Dónde/Cuánto		
Habilidades requeridas			Tiempo total de la actividad (min.)		
Actividades de seguridad					
Materiales a utilizar	Descripción	Código del Almacén	Cantidad	Referencia	
Herramienta					
Principales fotos y pasos	Descripción de las actividades	Estándar técnico seguridad	Herramienta	Tiempo	

## CONCLUSIONES

Con la información que se obtiene de los indicadores de mantenimiento se logra conocer el estado de los equipos y sus procesos, permitiendo identificar en un orden de prioridad cuál debe recibir mayor atención por parte de mantenimiento productivo, fortaleciendo así el puente de comunicación con mantenimiento autónomo y en alineación con los imperativos del negocio.

El acompañamiento a los grupos de trabajo de Mantenimiento Autónomo, logrará que estos no solo realicen tareas operativas sino también tareas técnicas que permitan alargar la vida útil del equipo y además generar un sentido de pertenencia sobre este.

Para realizar un procedimiento de análisis de fallas, es necesario realizar previamente una clasificación de éstas puesto que resulta complejo investigar todas las que se presentan en una compañía. Para el caso particular de este proyecto la clasificación se hizo entre fallas mayores y menores bajo los criterios de tiempo de paro y costo promedio para cada falla. De esta manera se consideran fallas mayores aquellas que produzcan un tiempo de paro mayor a 3.04 horas o que representen un costo de 310.000 COP.

Los estándares brindan una herramienta poderosa para garantizar la reproducibilidad de los procesos en cualquier industria. El modelo propuesto para llevar a cabo la estandarización de las operaciones de

mantenimiento incluye el cómo debe realizarse una categorización de estas actividades según su criticidad, frecuencia y complejidad, así como también sugiere un formato para llevar a cabo esta labor describiendo los elementos básicos que debe contener un estándar de este tipo.

## **BIBLIOGRAFÍA**

REY SACRISTAN Francisco. Mantenimiento Total de la Producción (TPM): Proceso de implantación y Desarrollo. Madrid - España: Fundación Confemetal, 2001. 349p. ISBN: 84-95428-49-0.

SHIROSE, Kunio. TPM Para mandos intermedios de fábrica. 2 ed. Madrid: - España: Productivity Press, 2000. 155 p. ISBN: 84-87022-11-1.

SEKINE, Ken'Ichi. TPM for the Lean Factory. Oregon – U.S.A: Productivity Press, 1998. ISBN: 9781563271915.

STEINBACHER, Norma; STEINBACHER, Herbert. TPM for america. 1 ed. Portland – U.S.A.: Productivity Press, 1993. 147 p.

SUZUKI, Tokutarō; Japan Institute of Plant Maintenance; TPM in process industries. Portland: – U.S.A: Productivity Press, 1994. 416 p. ISBN: 1-56327-0366.

TAJIRI, Masaji; GOTOH, Fumio. Autonomous Maintenance in Seven Steps. Implementing TPM on the Shop Floor. 1 ed. Portland – U.S.A: Productivity Press, 1999. 328 p. ISBN: 9781563272196.

## **REFERENCIAS TOMADAS DE INTERNET**

CERO AVERÍAS, TPM Aspectos generales [en línea]. [Citado Abril de 2008]. Disponible en internet: <http://www.ceroaverias.com/centroTPM/definiciontpm.htm>.

# **RELACIÓN DEL TPM Y LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN DE MANTENIMIENTO APLICADO A UNA EMPRESA DE BENEFICIO DE MINERALES NO METÁLICOS**

OSCAR ANDRÉS FIGUEROA ZULETA

ofiguer1@eafit.edu.co

Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS

MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

ASESOR PRINCIPAL

GUSTAVO ADOLFO VILLEGAS

SECTOR BENEFICIADO

SECTOR INDUSTRIAL



## **RESUMEN**

El TPM es conjunto ordenado de actividades, que una vez implementadas ayudan a mejorar la competitividad industrial. Debido a las grandes ventajas que brinda a las organizaciones trabajar con la metodología TPM, muchas empresas ven la necesidad de implementarla en todas las áreas de la empresa, entre ellas el departamento de mantenimiento. Un aspecto clave del TPM se apoya en el registro y conservación de la experiencia adquirida por los trabajadores en el cuidado y conservación de los equipos, pero sin embargo, es frecuente observar en las empresas que éste conocimiento se pierde por la falta de registros. En otras empresas "el dato" existe pero no genera información por falta de interpretación, si no existe información, no existirá la posibilidad de generarse conocimiento. Por lo tanto se deben desarrollar las herramientas necesarias que ayuden al plan de formación, obtención y aplicación del conocimiento.

Debido a que muchas empresas cuentan con un sistema de información de mantenimiento, este se debe poder relacionar con el TPM de forma eficiente; y además, el TPM requiere información para poder medir la gestión de mantenimiento; surge la iniciativa de un proyecto, donde se realice una serie de actividades encaminadas a relacionar el TPM con los sistemas de información de mantenimiento y así, servir de guía para la parametrización del sistema de información y la construcción de reportes e indicadores.

## **PALABRAS CLAVES**

TPM: Total Productive Maintenance o en español Mantenimiento Productivo Total.

CMMS: Computerized Maintenance Management System o en español Sistemas de Información de Mantenimiento

JIPM: Japan Institution of Plant Engineers o en español Instituto Japonés de Mantenimiento de Plantas

## INTRODUCCIÓN

La mejor forma de introducir este tema es haciendo las siguientes preguntas.

### **¿Por qué TPM?**

El Mantenimiento Productivo Total (TPM) es conjunto ordenado de actividades, que una vez implementadas ayudan a mejorar la competitividad industrial.

### **¿Por qué estas actividades ayudan a mejorar la competitividad?**

Por que eliminan las seis grandes pérdidas que se generan en los procesos. Pudiéndose diferenciar los resultados de la gestión empresarial entre las empresas

### **¿Por qué el TPM no está implementado en todas las empresas?**

Muchas empresas han pensado en implementar esta metodología. Pero el TPM presenta grandes retos como son un cambio cultural, un cambio en la forma de administrar y adicionalmente gestionar gran volumen de información especialmente en las etapas básicas. Para lo cual no están preparados o no tienen los recursos necesarios

### **¿Por qué no están preparadas las empresas para gestionar la información existiendo tantas ayudas informáticas?**

Muchas empresas poseen sistemas que ayudan a la gestión empresarial pero no han sido implementados y parametrizados de forma adecuada para que trabajen de forma integra con sus estrategias corporativas.

### **¿Por qué pueden ayudar los sistemas de información con la implementación del TPM?**

Los sistemas de información de mantenimiento "CMMS" están desarrollados para ayudar a la gestión empresarial

por medio del almacenamiento de información y entrega de resultados para el área de mantenimiento y apoyo a otras áreas.

Por lo tanto surge una pregunta que es la clave del porque de este proyecto y deriva al objetivo principal. ¿Cómo debo manejar mi CMMS para que trabaje íntegramente con el TPM?

## OBJETIVOS DEL PROYECTO

**Objetivo general:** Relacionar el TPM y los sistemas de información de mantenimiento y aplicarlo en una empresa de beneficio de minerales no metálicos.

**Objetivo 1:** Determinar qué información del TPM se debe tener en cuenta para el sistema de información de mantenimiento.

**Objetivo 2:** Determinar los aspectos del sistema de información de mantenimiento que afectan la parametrización en base al TPM.

**Objetivo 3:** Realizar el esquema con las actividades necesarias para la construcción de reportes o cubos de información, que sirvan de guía para la realizar gráficas, indicadores y reportes necesarios del TPM.

**Objetivo 4:** Aplicar las relaciones entre los sistemas de información de mantenimiento y el TPM en el área de mantenimiento de SUMICOL S.A.

Este proyecto se centra en el estudio de las variables de los pilares del TPM que tienen relación con los sistemas de información de mantenimiento, por lo tanto se revisaran los diferentes pasos del TPM involucrados.

## PILAR DE MEJORAS ENFOCADA Y LOS CMMS

La mejora enfocada busca eliminar toda clase de pérdidas. el método adoptado por el TPM para identificar y cuantificar estas pérdidas se centra en examinar las entradas de producción, que son equipos, materiales, personas y métodos, como causas y se considera como

pérdida cualquier deficiencia de estas entradas.

Los resultados se evalúan cuantitativamente por medio de las salidas y se evidencia por medio de indicadores (Suzuki, 1995, 47).

Para realizar éstos indicadores se requiere que en el CMMS se pueda ingresar información del tiempo real utilizado por operarios y mecánicos en tareas manuales de lubricación y chequeo, tiempo de preparaciones y ajustes que requieran órdenes de trabajo para mantenimiento y tiempos estándares parametrizados para tareas de mantenimiento autónomo, las tareas estándares deben tener una frecuencia fija, y deben estar registradas en los registros de mantenimiento planeado y autónomo, algunas en las matrices de mantenimiento basado en tiempo y otras en los estándares de mantenimiento autónomo.

El CMMS debe ser capaz de almacenar la información de los diferentes tiempos de paro que afectan la productividad y que están relacionados con actividades que el departamento de mantenimiento debe ejecutar.

Si los resultados de la mejora enfocada son presentados de modo gráfico, se hace más fácil su asimilación y seguimiento. Es muy importante que el CMMS pueda realizar reportes, así sea sólo en un archivo plano, para luego convertirlos en informes gráficos con ayuda de cualquier programa de hojas de cálculo y/o análisis estadístico.

## **PILAR DE GESTIÓN TEMPRANA Y LOS CMMS**

La gestión temprana es importante porque al momento de realizar una inversión considerable, se espera que ésta perdure por muchos años. Sin una gestión temprana estricta, tales equipos entran en la fase de operación plagados de defectos ocultos (Suzuki, 1995, 199).

Por esto la importancia que cobra un CMMS confiable, donde la información ingresada se realice de forma adecuada, para no tener gran cantidad de datos, pero ninguno de ellos valioso para futuros montajes, o

corregir de raíz un problema. Por lo tanto la gestión del equipo consiste en gran parte de proyectos y de mantenimiento.

Se debe identificar cual información es posible almacenar en el CMMS y cual no, ya que la información necesaria para la gestión temprana pueden ser muy extensa y variada, y normalmente estos sistemas guardan historial de mantenimientos preventivos, predictivos y correctivos. Lo que se puede hacer es dentro de los hojas de adquisición del equipo que se almacena en el CMMS, referenciar los catálogos, módulos, planos y mejoras utilizadas en la gestión temprana.

## **PILAR DE MANTENIMIENTO AUTÓNOMO Y LOS CMMS**

Mantenimiento autónomo son actividades que realiza el área de producción encaminadas a mantener el óptimo funcionamiento de los equipos, logrando cumplir con los planes de producción. La ayuda por parte del departamento de mantenimiento es indispensable para establecer el mantenimiento autónomo y hacerlo una parte eficaz del plan de mantenimiento. Las tareas más importantes son:

Facilitar instrucciones en técnicas de inspección y ayudar a los operarios a preparar estándares de inspección. El CMMS debe tener forma de almacenar las instrucciones que los operarios deben realizar para el mantenimiento autónomo, para que de esta forma no se produzca una redundancia de actividades con respecto al mantenimiento planeado. Deben tener frecuencia e insumos requeridos.

Facilitar formación en técnicas de lubricación, estandarizar tipos de lubricantes y ayudar a los operarios a formular estándares de lubricación. En el CMMS debe estar el registro de las lubricaciones y los puntos o componentes a lubricar. Igualmente debe estar la frecuencia y el tipo de lubricantes que cada equipo necesita. Es usual que los cambios de aceite complejos los realice mantenimiento, por lo tanto se debe tener en los estándares de lubricación de mantenimiento



autónomo que esta tarea la realiza mantenimiento. Tratar rápidamente el deterioro, las pequeñas deficiencias, y las deficiencias en las condiciones básicas del equipo. El CMMS debe ser de toda la empresa, que producción pueda realizar requisiciones de servicio directamente al sistema.

Organizar las actividades de rutina. El sistema debe imprimir las órdenes de tareas de mantenimiento con anticipación para que estas queden registradas como tarea a realizar, si no se realiza se debe identificar con un código especial esta orden.

Crear sistemas de registros de mantenimiento, datos para mantenimiento y resultados de mediciones. El sistema no solo debe contar con módulos para ingresar información, sino también con módulos para realizar reportes para así realizar seguimiento a las acciones tomadas.

Control de repuestos, plantillas, herramientas y datos técnicos. Un CMMS debe controlar todos los repuestos, un listado de materiales utilizados para la construcción de elementos de máquinas y en general de todos los insumos de productos utilizados por producción y mantenimiento y que se utilizan para actividades de mantenimiento.

## **PILAR DE MANTENIMIENTO PLANEADO Y LOS CMMS**

El objetivo es mantener el equipo y el proceso en condiciones óptimas con costos apropiados. La gestión del equipo está influenciada por características de los equipos, naturaleza de los procesos, fallos de las instalaciones y capacidad y funciones del personal de mantenimiento (Suzuki, 1995, 145).

Una gestión de mantenimiento eficiente, combina óptimamente, el mantenimiento basado en tiempo, mantenimiento basado en condiciones y el mantenimiento de averías.

Cuando no se tiene información histórica, no se cuenta

con el apoyo en datos sobre comportamiento pasado que ayude a establecer el tiempo adecuado para realizar las acciones de mantenimiento preventivo; por lo tanto los tiempos son establecidos de acuerdo a la experiencia, recomendaciones del fabricante y otros criterios con poco fundamento técnico. Si la empresa tenía un CMMS bien estructurado y la información se ingresaba correctamente, estas frecuencias se determinan del estudio de la información ingresada en el

De igual forma en el CMMS se debe ingresar valores rutinariamente de forma manual o automática, ya sea entradas de diferentes aparatos de diagnóstico, como medidores de temperatura, pistolas de ultrasonido, analizadores de vibraciones, etc. Para que de esta forma el sistema de aviso de anomalías y pueda programar el mantenimiento. En el CMMS se debe configurar el maestro de unidades de condición.

Todas las averías deben ser ingresadas al CMMS con la información detallada, para así realizar el seguimiento. Los datos deben ser, fecha de solicitud, fecha de ejecución, fecha de fin, tiempo de paro, tipo de paro, prioridad, solicitante, equipo, número de control, problema, solución, actividades realizadas, repuestos utilizados, persona que realiza el trabajo, fecha de trabajo tiempo empleado. Toda esta información se registra en el orden de trabajo y registro de mantenimiento.

Este es sin duda uno de los módulos más importantes del CMMS, ya que todas las correcciones deben ser pasadas al CMMS con la información detallada, para así realizar el seguimiento.

El paso 3 de mantenimiento planeado es la mayor relación entre el TPM y los CMMS, ya que aquí se pide explícitamente desarrollar un modelo sistémico para manejar los siguientes aspectos.

Presupuesto de mantenimiento, el cual asigna y totaliza el presupuesto de mantenimiento.

Previsión de vida de equipo sobre las fechas en las que se prevé que el equipo termine su vida útil, gráficos que

comparen las pérdidas de paradas previstas con los costos de mantenimiento que ayuden a medir la eficacia del mantenimiento (Suzuki, 1995, 177).

También se debe crear un subsistema para controlar las piezas de repuestos y materiales.

Además se debe crear un subsistema para controlar información técnica que esté relacionada con mantenimiento.

Un sistema es conjunto de cosas que ordenadamente relacionadas entre sí contribuyen a determinado objetivo. También se entiende como conjunto de reglas o principios sobre una materia, racionalmente enlazados entre sí.

Por lo tanto un Sistema de Información sólo tiene razón de ser si existe una función que lo justifique. En otras palabras, un Sistema de Información no tiene sentido sólo, por sí mismo (Pinilla, 2007, 4).

Un sistema de información se justifica si ayuda a asegurar la calidad de los productos y servicios y mantener la empresa en los niveles adecuados de competencia.

Un sistema de información de mantenimiento más que un software, es una metodología de gestión y administración de mantenimiento, que permite a las empresas obtener resultados en cuanto a:

- Definición de procesos óptimos
- Normalización de procedimientos.
- Análisis de eventos.
- Conocimiento de los costos.
- Obtención de indicadores de gestión.

Los módulos más importantes que tiene un CMMS son: manejo de activos físicos, manejo de almacenes y sus artículos, manejo del personal, órdenes de trabajo, mantenimientos planeados y la relación entre todos ellos en las historias de servicio de los equipos.

Los CMMS son muy similares, lo más importante de un CMMS es que se pueda aplicar a cualquier industria. Por lo tanto los estudios de las variables que se ven afectadas

por el TPM son muy generales, pero sirven para que se pueda manejar la administración del mantenimiento de TPM de forma flexible.

El análisis de datos en las empresas es una práctica cotidiana, la llegada de herramientas tecnológicas para el soporte a la toma de decisiones ha facilitado ésta tarea a los niveles intermedios y estratégicos de la organización, así es como nace el concepto de Inteligencia de Negocios (BI por sus siglas en inglés Business Intelligence). Ha contribuido a aumentar la necesidad de convertir los datos en información para tomar acción dentro de la empresa, por tanto, se concluye, que en una organización inteligente el análisis de datos juega un rol central para que éstas sean altamente competitivas (GOPAC@ 2008).

Hay un dicho que dice "usted no puede mejorar lo que usted no puede medir", esto implica tener un indicador que mida el desempeño de la empresa. Por esto el TPM utiliza un indicador llamado Efectividad Global del Equipo (EGE), para medir la productividad y realizar los diagnósticos al nivel de equipo (Ramírez, 2006, 12).

El cálculo del EGE es fundamental dentro del TPM, EGE responde elásticamente a las acciones realizadas tanto de mantenimiento autónomo, como de otros pilares del TPM, una buena medida inicial del EGE ayuda a identificar las áreas críticas donde se podría iniciar una experiencia piloto TPM y para conocer claramente el impacto de las seis grandes pérdidas. (Ramírez, 2006, 13)

Debido que para calcular el EGE, se requiere de información que no se almacena en el CMMS, éste proyecto se centra en los diferentes indicadores que llevan a aumentar la disponibilidad de los equipos, lo cual es importante para aumentar la eficiencia global de los equipos.

## **PÉRDIDAS QUE AFECTAN LA DISPONIBILIDAD**

**Pérdidas por fallas.** Son causadas por defectos en los equipos que requieren de alguna clase de reparación.

Estas pérdidas consisten de tiempos muertos y los costos de los repuestos y mano de obra requerida para la reparación. La magnitud de la falla se mide por el tiempo muerto causado (MONOGRAFIAS@ 2005).

Pérdidas de cambio de modelo y de ajuste. Son causadas por cambios en las condiciones de operación, como el empezar una corrida de producción, el empezar un nuevo turno de trabajadores. Estas pérdidas consisten en tiempo muerto, cambio de moldes o herramientas, calentamiento y ajustes de las máquinas. Su magnitud se mide por el tiempo muerto (MONOGRAFIAS@ 2005).

El tiempo de preparación es el período en el cual, se ajustan los parámetros necesarios para el cambio de referencia. Este tiempo puede incluir limpieza, ajuste de variables en máquina para garantizar la calidad del producto siguiente, montaje de herramientas y dispositivos, y búsqueda de personas (THE PRODUCTIVITY DEVELOPMENT TEAM, 1999, 14-20).

Los indicadores trabajados que ayudan a mejorar la disponibilidad son:

- Gravedad de fallos
- Número de paradas por averías
- Tiempo medio entre fallos
- Tiempo medio para reparar
- Costos de Mantenimiento
- Costos de inventario de repuesto

Uno de los objetivos de este proyecto es poder implementar las relaciones entre el TPM y los sistemas de información de mantenimiento en un sistema de información real, donde se identifiquen los lugares donde se debe ingresar la información y que esta fluya coherentemente con los objetivos que se buscan con el TPM.

Par lograr esto se revisarán los diferentes maestros del sistema de información, verificando su capacidad para almacenar los datos necesarios, se ubicarán campos para almacenar la información que el departamento de mantenimiento maneja y que son utilizados en TPM.

El CMMS utilizado en SUMICOL S.A. soporta las transacciones de información necesarias para que las actividades de los pilares que tienen relación con mantenimiento funcionen correctamente.

Los principales maestros que se deben modificar en un CMMS son todos los que están relacionados con el registro de órdenes de trabajo y registro de mantenimiento, ya que estos registros son los que forman la relación más directa entre el TPM y los CMMS.

La parametrización del mantenimiento basado en tiempo y los repuestos necesarios para este, funcionan correctamente en el CMMS pero. Presenta problemas con el módulo de mantenimiento basado en condición. Ya que este se encuentra en un estado muy insipiente para cumplir con los requisitos de TPM.

## **CONCLUSIONES**

El TPM y los CMMS son herramientas que mejoran la competitividad industrial; se relacionan entre sí, ya que para gestionar gran cantidad de información del TPM que maneja el departamento de mantenimiento se utilizan los CMMS. Esta información representa aspectos técnicos y económicos, planes de mantenimiento, control de trabajos, diagnóstico de condición de equipos y estadísticas de comportamiento y falla. Lo importante de esta herramienta informática es que debe estar enfocada a la toma de decisiones, y no solo al almacenamiento de información. Entonces un CMMS más que un software, es una metodología de gestión y administración de mantenimiento que cuenta con módulos para ingresar información utilizada en TPM, y algunos con módulos de reportes que sirven para realizar seguimiento a las acciones tomadas que ayudan a mejorar la eficiencia global de los equipos. Si el CMMS no está diseñado para la exploración de información o la toma de decisiones, se deben diseñar estructuras especiales que lo complementen.

El TPM se apoyan en el registro y conservación de la experiencia adquirida por los trabajadores en el cuidado

y conservación de los equipos, entonces cada reparación e inspección de un equipo se constituye en un proceso de generación de conocimiento. Por lo tanto el CMMS es una herramienta que sirve para respaldar diferentes pilares del TPM, ya que en él se puede almacenar información como tarjetas de causa básica de falla, tarjetas fugai de personal especializado, estadísticas de fallo, información asociada al equipo, como son números de planos, consecutivo de manuales, instructivos del fabricante, y consecutivos de lecciones de un punto; todo esto utilizado en mantenimiento autónomo. También en el CMMS se pueden agregar o eliminar componentes, controlar repuestos, listado de herramientas e insumos y configurar el sistema de mantenimiento basado en el tiempo, reservando materiales automáticamente, programando el personal dependiendo de los tiempos estimados, tipos de actividades y tipo de especialista requerido; todo esto del pilar de mantenimiento planeado. También el CMMS es una herramienta para los pilares de gestión temprana y mejoras enfocadas, ya que se tiene información para evitar problemas en futuros equipos y también para ver la evolución en el tiempo del resultado de mejoras aplicadas.

Los CMMS son aplicables a cualquier tipo de empresa, por lo tanto el CMMS debe tener forma de relacionarse con el TPM. Lo importante de ésta interacción es que la gestión sea la más beneficiada y no una de las dos metodologías. Por lo tanto los CMMS deben contar con módulos flexibles para manejar repuestos, actividades de mantenimientos de averías, tareas de mantenimientos planeados, activos de la empresa, información de costos e información de empleados. Entonces, el primer paso para relacionar el CMMS y el TPM, es analizar el formato de registro de órdenes de trabajo, el registro de mantenimientos planeados y los diferentes maestros del CMMS, ya que por medio de estos registros se almacena la información de los trabajos realizados en reparaciones de averías, cierre de tarjetas fugai de mantenimiento y mantenimientos planeados. En estos formatos se puede registrar información de análisis, tales como 5W + 1H o 5 por qué por qué. También por medio de estos registros queda almacenada la información del tiempo de mano de obra, Donde se cargan los repuestos gastados y los tiempos de paro por fallo.

En el CMMS utilizado por SUMICOL S.A. es posible almacenar la información del TPM relacionada con el CMMS, Las diferentes tablas de maestros del CMMS tienen la posibilidad de modificarse de modo que la caracterización de los campos funcione con el TPM. Se encontró forma funcional de ingresar el registro de averías y tarjetas fugai en el CMMS, La parametrización del mantenimiento basado en el tiempo y los repuestos necesarios para éste funcionan correctamente. En general el sistema tiene buena proyección a trabajar con la metodología TPM pero presenta problemas con los módulos de mantenimiento basado en condición y no tiene módulos para realizar reportes y extracción de la información.

Por último, El TPM requiere en su totalidad de un sistema de información mucho más completo del que aquí se presenta como son los CMMS. Este proyecto sólo tomo en consideración 4 pilares y en un indicador del EGE (Disponibilidad). Ya que se centró en el departamento de mantenimiento. Por lo tanto para tener una integralidad en la relación del TPM y los sistemas de información de la compañía se debe buscar relacionar la información del TPM con otros tipos de sistemas más completos y que tienen un cubrimiento sobre más áreas de la compañía.

## **BIBLIOGRAFÍA**

JIPM. TPM For Every Operator. Editorial Productivity, Inc. Portland, United States of America: 1996. ISBN: 1563270803.

Mora G, Luis A. Mantenimiento Estratégico para Empresas Industriales o de Servicio. Editorial AMG. Medellín, Colombia: 2006. ISBN: 958-33-8218-3

Morales Z, Juan F. Estudio sobre el estado de situación de la implementación del TPM en Chile. Proyecto de grado para optar por el título de Ingeniero Industrial. Santiago de Chile, Chile. 2004.

Parrado A, Paola A; Sánchez B, Juliana. Estructuración e implementación del pilar de mejora enfocada en Tetra

Pak Colombia. Proyecto de grado para optar por el título de Ingeniero Industrial. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá D.C., Colombia: 2004.

Pérez J, Carlos M. Tendencias en el desarrollo de CMMS, Soporte y Cia Ltda. Medellín, Colombia: 2006

Pérez J, Carlos M. Gerencia de mantenimiento y sistemas de información. Soporte y Cia Ltda. Medellín, Colombia: 1992. ISBN: 95498-0-2

Pinilla C, Pablo. Presentación Power Point de la asignatura Sistemas de información en mantenimiento. Especialización en mantenimiento industrial. Universidad EAFIT. Medellín, Colombia: 2007.

THE PRODUCTIVITY DEVELOPMENT TEAM. OEE For Operators. Editorial Productivity, Inc. Portland, United States of America 1999. ISBN: 1563272210.

CERO AVERIAS, 2007. [En línea]. [Conceptos básicos de TPM] [Revisión del hipervínculo Agosto de 2007]. Disponible en Internet: <http://www.ceroaverias.com/centroTPM/index33.htm>

GOPAC SI, 2008. [En línea]. [¿Qué es inteligencia de negocios?] [Revisión del hipervínculo Marzo de 2008]. Disponible en Internet: <http://www.gopac.com.mx/v3/gopacbi/quees.asp>

JIPM, 2007. [En línea]. [Instituto japonés de mantenimiento de plantas] [Revisión del hipervínculo mayo de 2008]. Disponible en Internet: <http://www.jipm.or.jp/en/>

MONOGRAFÍAS, 2008. [En línea]. [Conceptos básicos de TPM] [Revisión del hipervínculo Agosto de 2007]. Disponible en Internet: <http://www.monografias.com/trabajos14/manufact-esbelta/manufactesbelta2shtml#mantenim>

OEE, 2008. [En línea]. [EGE] [Revisión del hipervínculo Mayo de 2008]. Disponible en Internet: <http://www.oeec.com/?overture>.

SOPORTE Y CIA LTDA, 2007. [En línea]. [Tendencias en el desarrollo de CMMS] [Revisión del hipervínculo Julio de 2007]. Disponible en Internet: [www.rcm2-soporte.com/documentos/2006/SOP-Tendencias-de-los-CMMS-Enero2006.pdf](http://www.rcm2-soporte.com/documentos/2006/SOP-Tendencias-de-los-CMMS-Enero2006.pdf)

# **IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO EN UNA EMPRESA DEL SECTOR MANUFACTURERO**

MARÍA ANTONIETA GÓMEZ GÓMEZ

mgomezg5@eafit.edu.co

Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS

MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

ASESOR PRINCIPAL

JUAN SANTIAGO VALLEJO

SECTOR BENEFICIADO

ARQUIMUEBLES S.A



## **RESUMEN**

El siguiente artículo tiene como objetivo describir el proceso utilizado para implementar un plan de mantenimiento en una empresa del sector manufacturero, teniendo en cuenta las condiciones específicas de operación de las máquinas, además muestra las bases de datos que la empresa manejará para el plan de mantenimiento las cuales permiten hacer un seguimiento de las operaciones realizadas a cada uno de sus equipos.

## **ABSTRACT**

The following article describes the processes used to develop a maintenance plan for a business in the manufacturing sector, taking into account the specific operational conditions of each machine.

In addition, a database is provided that the company can use for its maintenance plan, whose inventory demonstrates the activities carried out upon each of its machines.

## **PALABRAS CLAVES**

Plan de mantenimiento, mantenimiento correctivo, productividad, confiabilidad, fallas, mantenimiento autónomo, lubricación, mantenimiento preventivo, eficacia, disponibilidad, mantenibilidad.

## **KEY WORDS**

Maintenance plan, corrective maintenance, productivity, reliability, faults, autonomous maintenance, lubrication, preventative maintenance, effectiveness, availability, maintainability.

## INTRODUCCIÓN

Las empresas cuentan actualmente con maquinaria más compleja que requiere de un nivel de mantenimiento superior, por lo tanto es necesario organizar una buena gestión de mantenimiento, que comienza con la implementación de un plan de mantenimiento.

Las consecuencias de un alto porcentaje de mantenimiento correctivo tienden a ser más visibles en un mercado donde la competencia nacional está cada día aumentando y mejorando sus procesos productivos y la amenaza de nuevos competidores internacionales que pueden desestabilizar el mercado.

La empresa tiene como meta para el año 2008 adquirir maquinaria nueva que le permita ofrecer nuevos productos tanto a nivel nacional como internacional y optimizar los procesos de producción, es por esto que se realiza este proyecto que organiza, mediante un

plan de mantenimiento, toda la información referente a los equipos con el fin de realizar un mantenimiento estructurado que permita ejercer control sobre cada una de las máquinas. De esta manera la compañía podrá tomar decisiones que apunten a alcanzar un nivel máximo de efectividad en el funcionamiento del sistema productivo.

## ¿QUÉ HACE LA EMPRESA?

Arquimuebles es una organización con experiencia en el diseño, comercialización y fabricación de mobiliario para colectividades y mobiliario urbano. Utilizan materiales de altas especificaciones como acero inoxidable, duraluminio, madera teca policarbonato, mimbre natural y sintético. Fabrican mobiliario exclusivo de imagen corporativa, líneas para zonas de comidas, hoteles, instituciones educativas, clubes sociales y deportivos y almacenes de marca.

FIGURA 1  
Centro comercial San Fernando Plaza Medellín



## **MANTENIMIENTO EN LA EMPRESA**

Hasta mediados del 2007 el 95% aproximadamente, del mantenimiento que se desarrolla en la empresa ha sido de carácter correctivo, dejando un 5% al mantenimiento preventivo, que en su mayoría lo realiza un contratista externo quien es el encargado de su planificación y ejecución.

Arquimuebles nunca ha contado con un plan de mantenimiento preventivo sobre todos sus equipos, es por esto que se observa un alto nivel de desgaste y pérdida de eficiencia en los equipos que posee. Por otro lado la mayoría son equipos que se tienen desde que inicia la empresa y muchos de ellos se han adquirido de segunda mano, por lo que no cuenta con manuales o instrucciones de mantenimiento por parte del fabricante.

En el último año el porcentaje de mantenimiento correctivo ha disminuido a un 70%, dándole entrada al preventivo que actualmente ocupa un 30% del mantenimiento que se realiza.

## **CONDICIONES ACTUALES DE LA MAQUINARIA**

La empresa no posee tecnología de punta, muchos de los equipos que se han adquirido a lo largo de estos años han sido comprados de segunda, por lo tanto el promedio de horas de funcionamiento de la maquinaria de la planta de producción es bastante alto.

En su mayoría la maquinaria no se ha reemplazado, se han realizado mejoras o se han sustituido partes.

## **PASOS SEGUIDOS PARA EL DESARROLLO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO**

El plan de mantenimiento se genera teniendo en cuenta las necesidades y políticas de la empresa. Ha sido necesario iniciar por hacer un reconocimiento de los

equipos que componen la planta de producción, esto permitió conocer las condiciones actuales de cada una de las máquinas así como su funcionamiento y la ubicación espacial dentro de la planta de producción, este reconocimiento se realizó por medio de recorridos a la planta así como de la investigación en los manuales de operación de los equipos que lo conservan.

En los recorridos por la planta de producción se han tomado fotografías de cada uno de los equipos y se ha hecho una descripción de las partes más importantes, con el fin de que las personas involucradas en la operación de las máquinas tengan conocimiento no solo de cómo operarlas sino de la estructura mecánica que las componen, permitiendo el correcto desarrollo de las operaciones de mantenimiento propuestas en el plan.

Después de recoger la información técnica de los equipos se decidieron las actividades de mantenimiento que se deben realizar sobre cada uno de ellos, estas actividades contienen operaciones de inspección, lubricación, entre otras. La información recogida en este punto ha sido tomada de manuales de operación, personas que han interactuado directamente con los equipos, jefe de producción y mantenimiento y visitas realizadas a diferentes empresas donde poseen algunos equipos con características similares. Estas fuentes de información han permitido conocer diferentes puntos de vista en el mantenimiento de los equipos y aplicar las operaciones de mantenimiento teniendo en cuenta las características y condiciones específicas de operación en la empresa.

Por último se organiza el plan en el cronograma de actividades.

## **HOJA DE VIDA DE LOS EQUIPOS**

La información técnica ha sido recopilada y organizada en formatos llamados hojas de vida. En la mayoría de equipos no es posible obtener al menos los datos básicos de funcionamiento, debido a que, como se dijo







Una de las principales causa de fallas graves o bajo rendimiento de los equipos se debe a su envejecimiento y las pocas tareas de mantenimiento preventivo a las que han sido sometido durante su operación.

El desarrollo del plan de mantenimiento permite controlar los fallos ocultos por medio de inspecciones y de esta manera evitar fallos operacionales que afecten la producción, calidad del producto, costos de operación y costos de reparación. Estos fallos cuestan más dinero de lo que se requiere para prevenirlos.

El formato de novedades será de fácil alcance para los operarios y de fácil inspección por parte del jefe de mantenimiento, esto permite atacar con más prontitud cualquier falla reportada.

La empresa podrá implementar el uso de indicadores para medir la gestión de mantenimiento, la capacidad y rendimiento de sus equipos y la calidad de sus productos, esto permite dar soluciones puntuales sobre los indicadores más bajos.

El mantenimiento organizado mejora no solo los equipos como sistemas independientes, sino los procesos de producción permitiendo disminuir los tiempos de fabricación y por lo tanto los costos de producción, beneficios que se verán reflejados en los costos de venta.

La priorización de máquinas busca en primera medida recuperar los equipos críticos para la empresa, con esto lograr un mejor manejo de los recursos y mejorar los resultados del plan de mantenimiento.

El plan de mantenimiento permite detectar el punto en el proceso de la falla donde se está produciendo la avería esto permite disminuir aun mas los fallos operacionales.

## **BIBLIOGRAFÍA**

ALLUP KOMPRESSOREN. Manual del usuario combi Screw compressors. Alemania. Año 2002.

ALADON. RCM2 Curso de formación de tres días en Reliability centred maintenance (Versión 2). Año 1998. p. 2 –7.

BLACK & DECKER. Manual de instrucciones BT3600, esmeril de banco de 6". China. Año 2006.

CEA COSTRUZIONI. Elettromeccaniche anettoni S.P.A. Manual de funcionamiento elettromeccaplasma plus 55. Italia.

DEWALT. Manual de instrucciones Esmeriladora de banco para trabajo pesado. USA. Año 2007. p. 19 – 26.

DOUNCE VILLANUEVA. Enrique. Mantenimiento industrial. Ed. continental, México. Año 2006. p. 15 – 26. p. 49 – 60. p. 105. p. 122. p. 224 – 237. ISBN: 970-24-0914-4.

ESAB. Manual de instrucciones swashweld 250E. Año 2000.

\_\_\_\_\_Manual de instrucciones CADDY 150. Año 2002.

GEKA MAQUINARIA. Manual del usuario cizalla, punzonadora GEKA. España. Año 2002.

KNEZEVIC. Jezdimir. Mantenimiento. Ed. Isdefe, España. Año 1996. p. 172. p. 205. ISBN: 84-89338-09-4.

MILLER. Manual del operador MILLERMATIC 210. USA. Año 2003.

\_\_\_\_\_Manual del usuario SYNCROWAVE 250. USA. Año 1997.

MONTOYA VIVAS. Andrés Felipe. Propuesta para el mejoramiento de la programación y control de producción en algunas referencias de la línea de aluminio en una empresa metalmecánica utilizando teoría de restricciones (toc). Proyecto de grado. Universidad nacional de Colombia. Medellín. Año 2004. p. 6-7. p 19-29.

PRANDO. Raúl R. Manual gestión de mantenimiento a la medida. Ed. Piedra santa S.A, Guatemala. Año 1996. p. 19 – 29. ISBN: 84–8377–399–6.

SUZUKI. Tokutaro. TPM in process industries. Ed. Productivity, Estados Unidos de América. Año 1994. p. 131 – 132. ISBN: 1–56327–036–6.

TORRES. Leandro Daniel. Mantenimiento su implementación y gestión. Ed. Universitas, Argentina. Año 2005. p. 21 – 24. p. 123. p. 181. p. 224. ISBN: 987–9406–81–8.

ACOPI. Ley Mipyme. 2004. [Citado el 14 de enero del 2008].

[http://www.acopi.org.co/index.php?option=com\\_content&task=view&id=19&Itemid=20](http://www.acopi.org.co/index.php?option=com_content&task=view&id=19&Itemid=20)

ALPIZAR. Emilio Alpizar Villegas. Tratamiento de agua para consumo humano, plantas de filtración rápida, manual IV: operación, mantenimiento y control de calidad. 2005. [Citado el 4 de enero del 2008]. <http://www.cepis.ops-oms.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manual4/cap5.pdf>

ARQUIMUEBLES. arquitectura del mueble S.A. [Citado el 29 de enero del 2008].

<http://www.arquimuebles.com/index.php>

AUDISIO. adolfo Audisio. Síntesis del mantenimiento industrial. [Citado el 5 de enero del 2008]. <http://www.adolfoaudisio.com.ar/sintesis/page4.html>

CALISAYA. Walter René Calisaya Marón. Ingeniería de mantenimiento hospitalario. Mayo del 2005. [Citado el 30 de septiembre de 2007]. <http://www.mailxmail.com/curso/vida/mantenimientohospitalario/capitulo2.htm>

FUCCI. Tomas A. R. Fucci. La logística de producción. Julio del 2000. [Citado el 5 de enero del 2008]. <http://www.unlu.edu.ar/~ope20156/pdf/mantenimiento.pdf>

GRUPO TPMONLINE. Grupo TPMonline. El mantenimiento a través de la historia. Diciembre del 2007. [Citado el 5 de enero del 2008]. [http://www.tpmonline.com/articles\\_on\\_total\\_productive\\_maintenance/tpm/tpmprocess/maintenanceinhistorySpanish.htm](http://www.tpmonline.com/articles_on_total_productive_maintenance/tpm/tpmprocess/maintenanceinhistorySpanish.htm)

MONAGAS. Maturín Eduardo Monagas. Ingeniería de mantenimiento mecánico. Febrero del 2003. [Citado el 11 de enero del 2008]. <http://pdf.rincondelvago.com/files/8/3/4/00035834.pdf>

MORALES. Julio S. Tecnicatura superior en mantenimiento industrial, Mantenimiento industrial I. 2004. [Citado el 7 de enero del 2008]. [http://www.frbb.utn.edu.ar/carreras/materias/mantenimientoindustrial1/mantenimientoIndustrial1\\_temas1a4\\_2006.pdf](http://www.frbb.utn.edu.ar/carreras/materias/mantenimientoindustrial1/mantenimientoIndustrial1_temas1a4_2006.pdf).

MOUBRAY John. Paradigmas del mantenimiento. Agosto del 2004. [Citado el 7 de enero del 2008]. <http://www.soporteycia.com.co/documentos/Med-Paradigmas-agosto-2004.pdf>

OLARTE Rigoberto Hernando. Nociones de mantenimiento industrial. [Citado el 14 de enero del 2008]. [http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria\\_industrial/mantenimientoindustrialnociones/](http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria_industrial/mantenimientoindustrialnociones/)

PÉREZ, Carlos Mario. Confiabilidad y evolución del mantenimiento. [Citado el 7 de enero del 2008]. <http://www.rcm2-soporte.com/documentos/SOP-20Confiabilidad%20Articulo.pdf>

RODRÍGUEZ, Tiburcio. MRP II aplicado al mantenimiento productivo total. Agosto del 2004 [Citado el 10 de enero del 2008]. [http://sisbib.unmsm.edu.pe/BibVirtualData/Tesis/Ingenie/Tiburcio\\_R\\_V/cap1.pdf](http://sisbib.unmsm.edu.pe/BibVirtualData/Tesis/Ingenie/Tiburcio_R_V/cap1.pdf)

SAPPIENS. Aproximación al mantenimiento industrial. [Citado el 10 de enero del 2008]. [www.sappiens.com/imagenes/comunidades/PRODUCCIÓN/parte\\_1.doc](http://www.sappiens.com/imagenes/comunidades/PRODUCCIÓN/parte_1.doc)

SOTUYO, Santiago. Optimización integral de mantenimiento. 2001. [Citado el 10 de enero del 2008]. [http://www.confabilidad.net/art\\_05/RCM/rcm\\_12.pdf](http://www.confabilidad.net/art_05/RCM/rcm_12.pdf)

TARAZONA, Orlando. Mantenimiento y montajes. Julio del 2005. [Citado el 4 de enero del 2008]. [http://www.itc.edu.co/carreras\\_itc/mantenimiento/index.htm](http://www.itc.edu.co/carreras_itc/mantenimiento/index.htm)

# **SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE UN COMPONENTE ELASTOMÉRICO DE UN SISTEMA TÉCNICO, USANDO EL MÉTODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS**

EDGAR DAVID RAMÍREZ GALLO  
eramir11@eafit.edu.co  
Departamento de Ingeniería mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS  
DISEÑO DE SISTEMAS TÉCNICOS

ASESOR PRINCIPAL  
CARLOS EDUARDO LÓPEZ ZAPATA

SECTOR BENEFICIARIO  
UNIVERSIDAD EAFIT



## **RESUMEN**

En el presente artículo se expone el análisis realizado al buje blando del mecanismo de suspensión de un sistema férreo (Metro de Medellín) utilizando el método de los elementos finitos. Dado que dicho buje tiene partes fabricadas en un material elastomérico, se realiza un análisis no lineal para simular su comportamiento. Se estudiaron los principales modelos desarrollados para realización de análisis no lineales de elastómeros (Mooney-Rivlin, Yeoh, Neo-Hookean, Arruda Boyce, Ogden y Gent) con la finalidad de luego seleccionar y utilizar el más adecuado. El análisis realizado se enfocó principalmente en determinar las rigideces cónica, radial, axial y torsional del buje blando ya que dichas variables tienen influencia directa en el comportamiento del sistema de suspensión.

## **PALABRAS CLAVE**

Elementos finitos, elastómeros, cauchos, buje de caucho, sistema de suspensión vehículo férreo, rigidez.

## **ABSTRACT**

The analysis done to the suspension mechanism' soft bushing of a rail system (Metro of Medellin) is presented. Since this bushing is composed of elastomeric pieces, a non-linear analysis is done in order to simulate its performance. The main models available for elastomers non-linear analysis are studied and the most suited is used. The analysis was mainly focused on conic, radial, axial and torsional rigidity because of the direct influence of those variables on the suspension system performance.

## **KEY WORDS**

Finite elements, elastomers, rubbers, circular rubber bearings, railway suspension system, spring rate.

## INTRODUCCIÓN

El uso frecuente de elastómeros y cauchos en aplicaciones de ingeniería tales como el amortiguamiento de vibraciones y cargas ha hecho crecer el interés por desarrollar métodos que permitan predecir y conocer el comportamiento de este tipo de materiales bajo diferentes condiciones de trabajo. En la actualidad, se han desarrollado diversos modelos que se han incorporado a los programas de elementos finitos. Estos consideran las propiedades no lineales de los materiales elastoméricos, permitiendo a los diseñadores e ingenieros realizar diseños más eficientes y extender la aplicación de estos materiales a otras áreas de la ingeniería. En el presente trabajo se estudian los principales modelos desarrollados para el análisis de elastómeros y se seleccionan los más adecuados para analizar un componente de caucho de un sistema técnico a través del método de los elementos finitos.

## COMPORTAMIENTO DE MATERIALES HIPERELÁSTICOS

El tratamiento general de la relación esfuerzo deformación de los cauchos como sólidos fue desarrollada por Rivlin, asumiendo que en estado natural el material es isotrópico e incompresible en su comportamiento elástico. Este tratamiento se basa en la función de densidad de energía de deformación (Cantidad de energía almacenada elásticamente, en una unidad de volumen bajo un estado de deformación dado) escrita en términos de las invariantes de deformación, tal como se puede apreciar en la ecuación (1):

$$W = W(I_1, I_2, I_3) \quad (1)$$

Para conocer el valor de las tres invariantes y poder calcular la función de densidad de energía de deformación, se recurre a la mecánica del medio continuo, y se definen las invariantes de deformación acorde a la ecuación (2) (GENT, A. N., pág. 50, 1995).

$$\begin{aligned} I_1 &= \lambda_1^2 + \lambda_2^2 + \lambda_3^2 \\ I_2 &= \lambda_1^2 \lambda_2^2 + \lambda_2^2 \lambda_3^2 + \lambda_3^2 \lambda_1^2 \\ I_3 &= \lambda_1^2 \lambda_2^2 \lambda_3^2 \end{aligned} \quad (2)$$

## MODELOS CONSTITUTIVOS

A lo largo de la historia de los materiales elastoméricos, se han propuesto distintos modelos basados en la función de densidad de energía de deformación con el fin de caracterizar el comportamiento mecánico y conocer cómo se relacionan los esfuerzos y deformaciones. Estos modelos son conocidos como formas particulares de la ecuación (1). A continuación se presentan los modelos constitutivos más comunes:

Forma polinomial

$$W = \sum_{i+j=1}^N c_{ij} (I_1 - 3)^i (I_2 - 3)^j + \sum_{k=1}^N \frac{1}{d_k} (J - 1)^{2k}$$

Donde:

$c_{ij}$  = Coeficiente de Rivlin

$d_k$  = Coeficiente que define la compresibilidad del material

$$J = \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3$$

Modelo de Mooney-Rivlin

$$W = \sum_{i+j=1}^n c_{ij} (\bar{I}_1 - 3)^i (\bar{I}_2 - 3)^j + \frac{1}{d\lambda} (J - 1)^2$$

Modelo de Yeoh

$$W = \sum_{i=1}^N c_{i0} (I_1 - 3)^i + \sum_{i=1}^N \frac{1}{d_i} (J - 1)^{2i}$$

Modelo Neo-Hookean

$$W = \frac{\mu}{2} (\bar{I}_1 - 3) + \frac{1}{d} (J - 1)^2$$

Modelo de Arruda-Boyce

$$W = \mu \sum_{i=1}^5 \frac{C_i}{\lambda_i^{2i-2}} (\bar{I}_1 - 3)^i + \frac{1}{d} \left( \frac{J^2 - 1}{2} - \ln J \right)$$

Donde:

$$C_1 = \frac{1}{2} \quad C_2 = \frac{1}{20} \quad C_3 = \frac{11}{1050} \quad C_4 = \frac{19}{7050} \quad C_5 = \frac{519}{673750}$$

$$\mu = nk\theta$$

n : Densidad de cadenas  
 k : Constante de Boltzmann's ( $1.38065 \times 10^{-23}$  J/K)  
 $\Theta$  : Temperatura [K]

$$\lambda_L = \sqrt{N}$$

Donde N es el número de enlaces rígidos por cada cadena.

Modelo de Gent

$$W = \frac{\mu I_m}{6} \ln \left( 1 - \frac{\bar{I}_1 - 3}{I_m} \right) + \frac{1}{d} \left( \frac{J^2 - 1}{2} - \ln J \right)$$

Donde:

$$\mu = \frac{E}{3}$$

$I_m$  es el valor límite de  $(\bar{I}_1 - 3)$

Modelo de Ogden

$$W = \sum_{i=1}^N \frac{\mu_i}{\alpha_i} (\bar{\lambda}_1^{\alpha_i} + \bar{\lambda}_2^{\alpha_i} + \bar{\lambda}_3^{\alpha_i} - 3) + \sum_{i=1}^N \frac{1}{d_i} (J - 1)^{2i}$$

Donde:

$\alpha_i$  : es una constante del material

$\lambda_i^\alpha$  : Alargamientos principales

## AJUSTE DE CURVAS Y CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL

Para poder cuantificar los distintos valores de la función de densidad de energía de deformación a partir de los distintos modelos presentados anteriormente, es necesario conocer distintas constantes y parámetros que no se encuentran compilados en la literatura, debido a que estos varían según el tipo de material y otros factores como los componentes y procesos utilizados para la fabricación del elastómero o caucho.

Para solucionar este inconveniente, y poder caracterizar el comportamiento mecánico del material en distintas direcciones de carga, se recurre a las curvas experimentales provenientes de las pruebas de tensión uniaxial, compresión uniaxial, tensión biaxial, cortante planas, cortantes simple y prueba volumétrica. El objetivo de estas pruebas de caracterización, es conocer los estados puros

de deformación tales que las curvas esfuerzo deformación representen solo el comportamiento del material en el estado en que se quiere caracterizar.

## SISTEMA DE SUSPENSIÓN PRIMARIA VEHÍCULO FÉRREO

El sistema de suspensión primaria es el que permite conectar el conjunto eje rueda al chasis del bogie. En el caso del Metro de Medellín, el sistema lo forman principalmente los componentes que se muestran en la figura 1. A continuación se describe brevemente la función de cada uno de los elementos mostrados.

FIGURA 1

Sistema de suspensión primaria



Cortesía Metro de Medellín

**Amortiguador vertical:** Este elemento tiene la función de minimizar las vibraciones ocasionadas por el movimiento de las ruedas sobre el riel (TAYLOR & FRANCIS GROUP, pág. 49, 2006).

**Resortes helicoidales:** Estos, igualan las cargas verticales entre las ruedas con la finalidad de evitar que cualquiera de ellas presente una reducción de carga y por tanto una reducción o pérdida de las fuerzas de guiado. (TAYLOR & FRANCIS GROUP, pág. 47-48, 2006).

**Caja de grasa:** Esta provee el alojamiento para los rodamientos. Además, sirve de soporte para los elementos de la suspensión primaria que unen las ruedas al chasis del bogie y por tanto, ésta transmite las fuerzas longitudinales, laterales y verticales desde las ruedas, a los elementos de la suspensión primaria (TAYLOR & FRANCIS GROUP, pág. 44, 2006).

Hoja guía y bujes blandos: Estos elementos trabajan en conjunto para mantener las ruedas en dirección de marcha

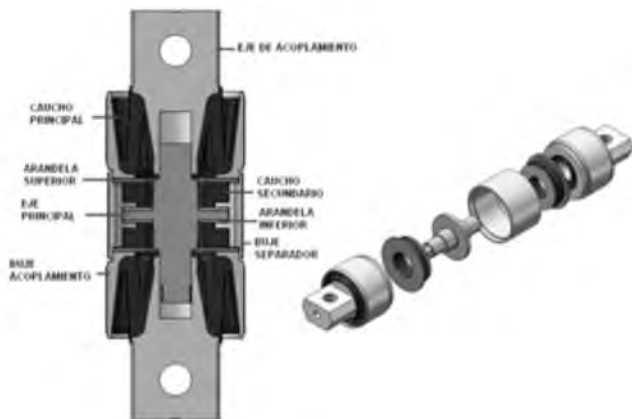
## BUJES BLANDOS

Los bujes blandos son una parte esencial en el sistema de suspensión primaria, ya que estos determinan en gran medida su rigidez longitudinal, lateral y vertical. Dichos elementos están fabricados principalmente por un material elastomérico el cual separa un buje exterior y un eje fabricado en acero (Ver figura 7).

Junto con la cortante de los resortes helicoidales de la suspensión primaria, la rigidez radial de los bujes determina la rigidez longitudinal de la suspensión primaria.

La rigidez axial de los bujes junto con la cortante de los resortes helicoidales determina la rigidez lateral de la suspensión. Los desplazamientos de torsión del Buje, así como la flexión de la hoja guía, contribuyen a la rigidez vertical de la suspensión (KLAUSE, Peter E., pág. 3, 2006).

FIGURA 2  
Geometría del buje blando



Cortesía GEMI Universidad EAFIT

Lo anterior quiere decir, que el control de los grados de libertad del conjunto eje-ruedas (figura 10) es realizado por los bujes blandos y los resortes helicoidales, por lo que la rigidez de ambos elementos determina qué tanto puede desplazarse angular y lateralmente el conjunto de ruedas tanto en tramos rectos como curvos. La rigidez de ambos elementos debe ser la adecuada para prevenir la inestabilidad ocasionada por el efecto combinado de ambos grados de libertad (Movimientos de Hunting).

## ANÁLISIS POR ELEMENTOS FINITOS

Para dicha simulación se utiliza el programa Ansys Workbench y el análisis se enfoca a determinar la rigidez y conocer el funcionamiento del buje blando bajo carga cónicas, torsionales, axiales y radiales.

### Malla y condiciones de frontera

Para la construcción de la malla se utilizan elementos con propiedades para análisis de materiales hiperelásticos (Ver figura 3).

De otro lado, para determinar las distintas rigideces, se imponen las condiciones de frontera que se pueden apreciar en la figura 4.



FIGURA 3  
Malla generada



FIGURA 4  
Condiciones de frontera



**Modelo para el material hiperelástico**

Para poder establecer un modelo de análisis mediante elementos finitos que permita modelar el comportamiento del buje blando y poder calcular sus rigideces, es necesario primero seleccionar un modelo o función de energía de deformación adecuada que permita asegurar el mayor grado de precisión en la simulación del comportamiento del elastómero o caucho.

FIGURA 5. Ajuste modelo Mooney 5

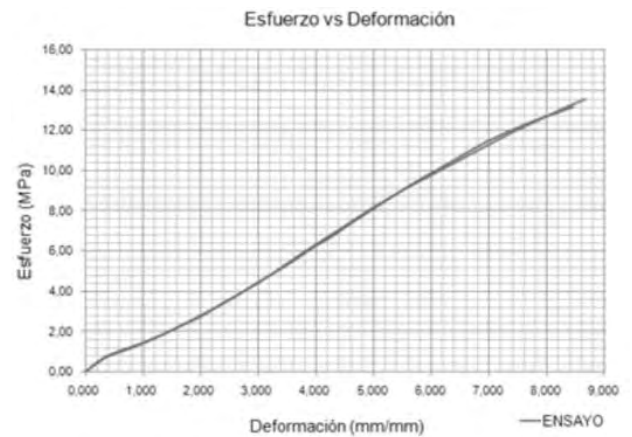
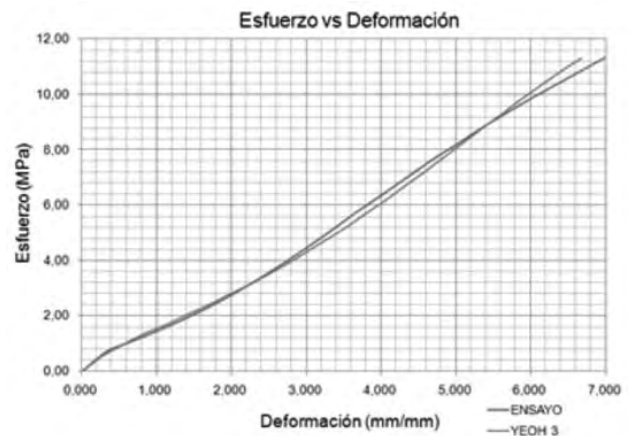


FIGURA 6. Ajuste modelo Yeoh 3



Para tal fin, es necesario conocer en primera instancia el comportamiento mecánico del material. Para caracterizar dicho comportamiento se recurre solamente al ensayo de tensión uniaxial (Realizado por el GEMI de la Universidad EAFIT), debido a que localmente solo existe la posibilidad de caracterizar el material bajo este estado de deformación. A partir de este ensayo se realiza el ajuste de la curva esfuerzo deformación, siendo los modelos de Mooney 5 y Yeoh 3 los que arrojan mejores resultados (Ver figuras 5 y 6).

De otro lado, para los componentes de acero se utiliza un módulo de elasticidad de 200 GPa y una razón de Poisson de 0.3.

## RESULTADOS

Para las cuatro simulaciones que buscaban conocer las rigideces cónica, axial, radial y torsional del buje, se obtuvieron los resultados mostrados en las figuras 7 a 10. En estas se muestra la distribución de desplazamientos para los distintos tipos de carga y se calcula las rigideces tomando la pendiente de la graficas fuerza versus desplazamientos.

Además, en la tabla 1, se puede apreciar un resumen de resultados y las rigidez teóricas del buje, la cuales fueron determinadas por el GEMI de la Universidad EAFIT a partir de ensayos experimentales.

FIGURA 7  
Resultados carga cónica

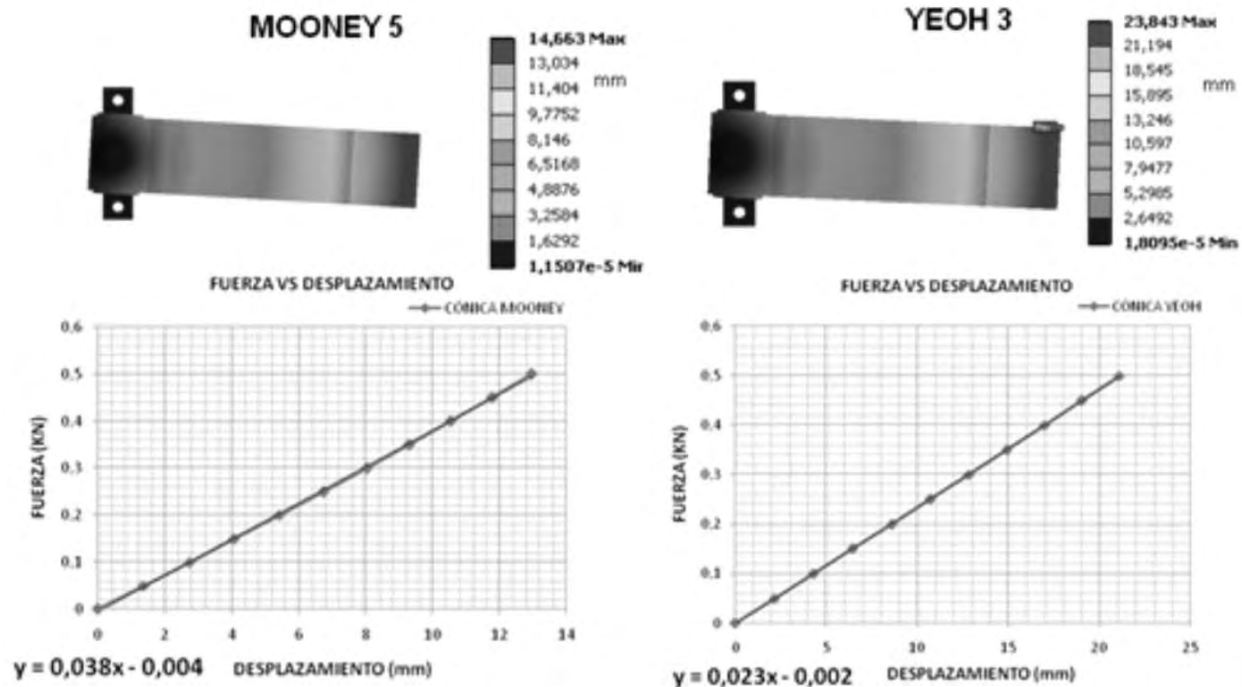


FIGURA 8  
Resultados carga axial

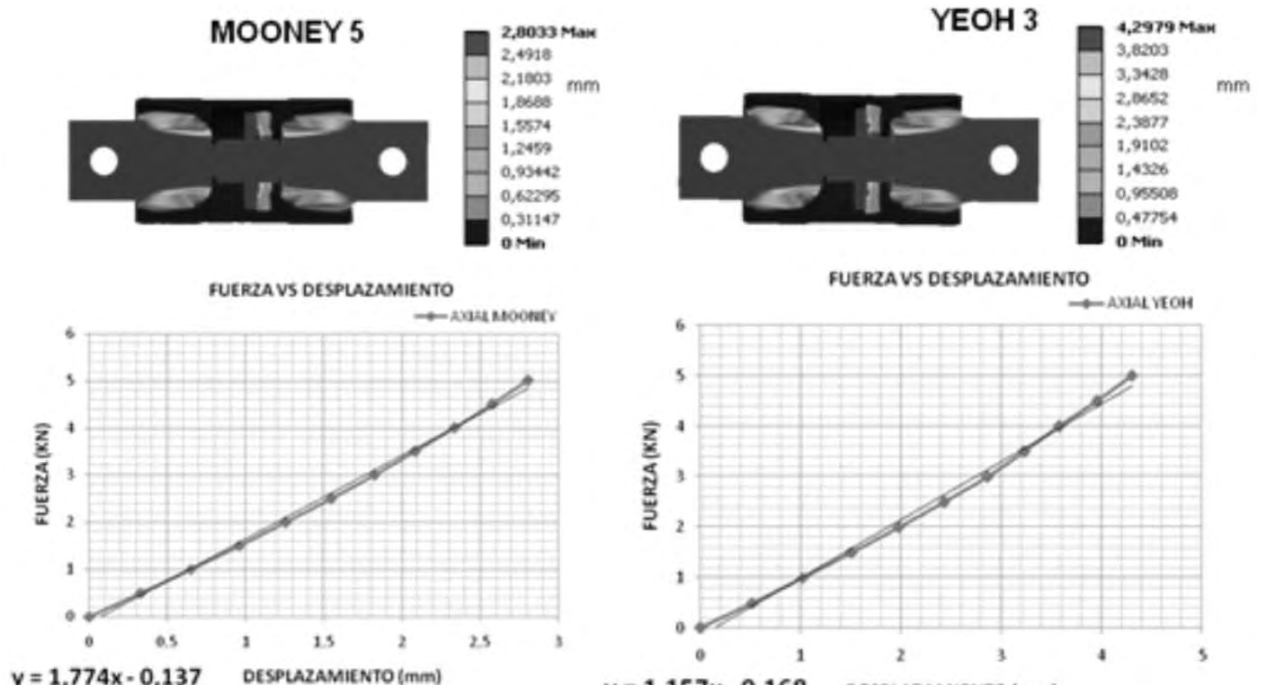


FIGURA 9  
Resultados carga radial

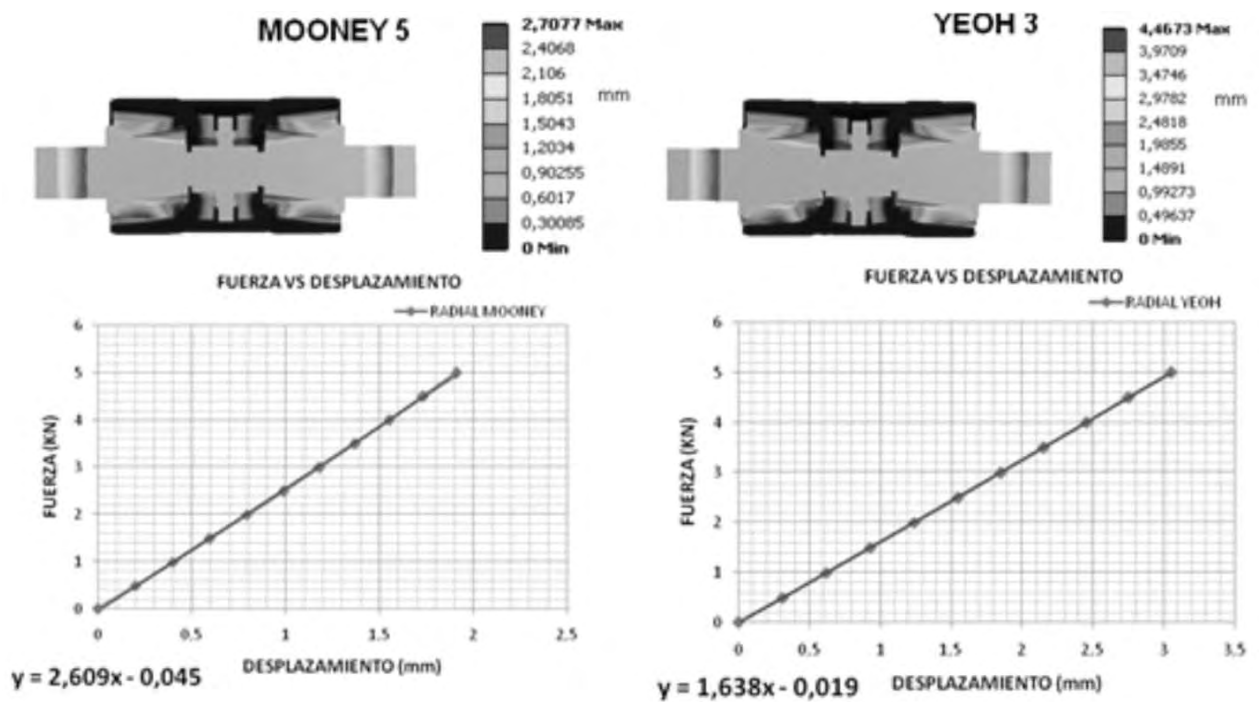


FIGURA 10  
Resultados carga torsional

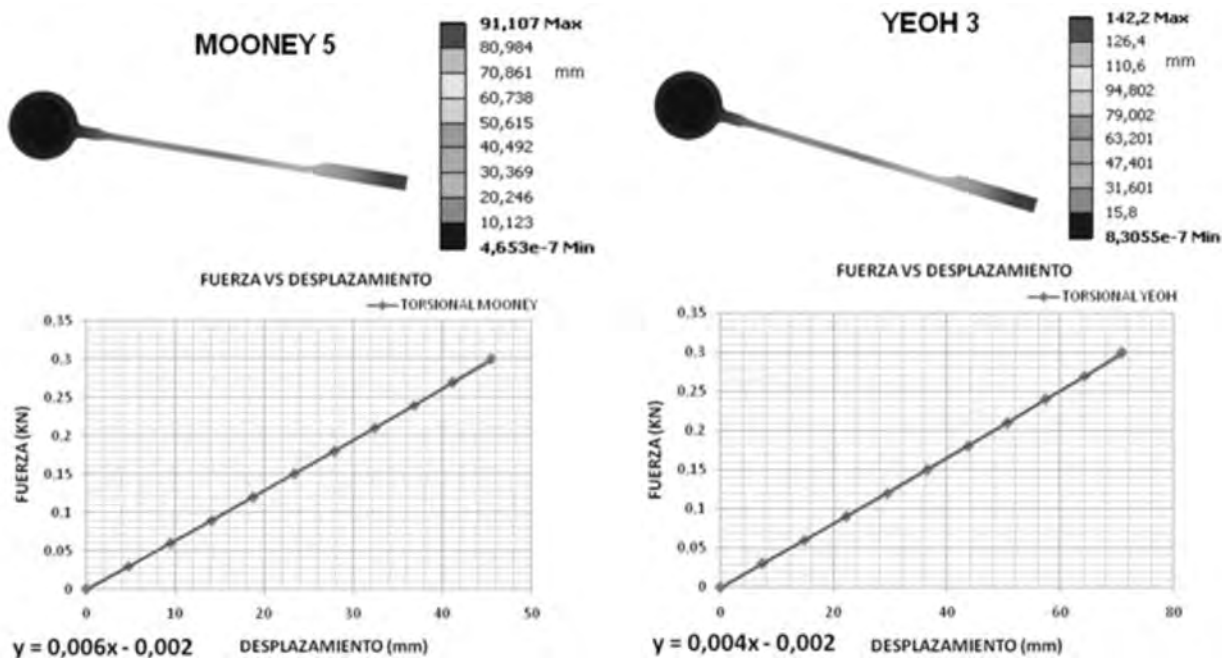


TABLA 1  
Resumen de resultados

	RIGIDEZ SIMULACIÓN FEM (KN/mm)	VARIACIÓN RESPECTO A RIGIDEZ RADIAL	MODELO UTILIZADO	RIGIDEZ ENSAYOS (KN/mm)	VARIACIÓN RESPECTO A RIGIDEZ RADIAL
CARGA RADIAL	1,638	----	YEOH	1,8	----
CARGA CÓNICA	0,023	98,60%	MOONEY	0,0276	98,47%
CARGA AXIAL	1,774	8,30%	YEOH	2,3924	32,91%
CARGA TORSIONAL	0,006	99,63%	MOONEY	0,0098	99,46%

## CONCLUSIONES

Se consultaron los modelos más comunes desarrollados para el análisis del comportamiento de los elastómeros. Se pudo observar, que todos estos modelos se basan en la función de densidad de energía de deformación, la cual es una función que determina la cantidad de energía almacenada elásticamente en una unidad de volumen bajo un estado de deformación dado.

Para los modelos consultados se pudo observar que existen dos enfoques. El primero es el enfoque fenomenológico que consiste en considerar el material como un continuo para

describir su comportamiento bajo condiciones homogéneas de deformación y el segundo enfoque es el micromecánico el cual recurre a propiedades microscópicas del material para determinar su comportamiento en general.

Una buena aproximación al comportamiento real de un caucho depende en gran medida de la elección adecuada del modelo o función de densidad de energía de deformación. Esto se debe a que la exactitud dada por cada modelo depende de factores como el tipo de material analizado, las condiciones de carga y la caracterización hecha al material.

La deducción de la función de densidad de energía de deformación en base a la caracterización del ensayo a tensión uniaxial hace que los resultados de la modelación presenten cierta variación, debido a que solo se está caracterizando un estado de deformación del material.

Se seleccionó el buje blando del mecanismo de suspensión de un sistema férreo (Metro de Medellín), para implementar un análisis por elementos finitos. Se analizó y se estudio el comportamiento del componente bajo la acción de cargas radial, axial, torsional y cónica, debido a que el componente trabaja bajo la acción de estas cargas y por lo tanto debe aportar rigidez al sistema de suspensión cuando recibe este tipo de cargas.

Se seleccionó el modelo de Mooney de cinco constantes y el modelo de Yeoh de tres constantes para la simulación del componente.

Para la simulación a carga cónica se obtuvo una rigidez de 0.0385 KN/mm con el modelo de Mooney y una rigidez de 0.0209 KN/mm con el modelo de Yeoh.

Para la simulación a carga axial se obtiene con el modelo de Mooney una rigidez de 1.7836 KN/mm mientras que con el modelo de Yeoh se obtiene una rigidez de 1.1633 KN/mm.

Para la simulación a carga radial se obtuvo una rigidez de 2.6171 KN/mm con el modelo de Mooney y una rigidez de 1.6387 KN/mm con el modelo de Yeoh.

En carga torsional se obtiene con el modelo de Mooney una rigidez de 0.006 KN/mm mientras que con el modelo de Yeoh se obtiene 0.004 KN/mm.

Según lo observado en las distintas simulaciones, se puede concluir que la función del caucho principal es aportar rigidez ante cargas que viajan en sentido radial y en menor medida aportar rigidez a cargas que viajan en sentido axial. Para las cargas en sentido axial, la rigidez la brinda principalmente el caucho secundario, debido a que los cauchos principales presentan poca rigidez a cargas cortantes. Esta poca rigidez también se puede ver en el caso de la cargas a torsión, en la cual se presentan desplazamientos mayores en relación con otros tipos de carga.

Con base en los resultados obtenidos y la realización de otras simulaciones las cuales no se consignan en el presente documento, se puede observar que variando la forma y/o el número de agujeros en el caucho principal, se puede obtener considerables reducciones en las distintas rigideces del buje blando.

## **BIBLIOGRAFÍA**

ANSYS INC. Training Manual: Experimental Elastomer Analysis. Primera Edición. Canonsburg: SAS IP, 2004. 192 p.

Diseño de componentes elastoméricos por el método de los elementos finitos. Robotiker Tecnalia 2008. Última modificación: 13/03/2008. Disponible en: Internet: <http://www.robotiker.com/revista>.

GENT, A. N. Engineering with Rubber: How to Design Rubber Components. Segunda edición. Hanser Publishers. New York. 1992. p. 35-97. ISBN 1-56990-299-2.

HECHT, Markus y MAHR, Alexander. Mediciones experimentales de esfuerzos dinámicos en marcha. Berlin; Universidad técnica de Berlin; 1997.

KLAUSE, PETERE. Plan de la prueba para la caracterización del buje de la Suspensión Primaria. Lockport: 2006.

TAYLOR & FRANCIS GROUP. Handbook of Railway Vehicle Dynamics. Primera edición. Informa Taylor & Francis Group. New York. 2006. p. 39-84.

UNIVERSIDAD EAFIT. Estimación de flujo de cargas en los bujes blandos. Informe Grupo de Estudios en Mantenimiento Industrial GEMI. Medellín: GEMI; 2008. PV: 01.

UNIVERSIDAD EAFIT. Resultados de las pruebas para la caracterización de los bujes de suspensión primaria del Metro de Medellín. Informe Grupo de Estudios en Mantenimiento Industrial GEMI. Medellín: GEMI; 2008

WARD, I.M. y SWEENEY, J. The mechanical properties of solid polymers. Segunda edición. Editorial Wiley. Inglaterra. 2004. p. 19-51.

# ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE UN MATERIAL TERMOPLÁSTICO DURANTE EL PROCESO DE ESTIRAMIENTO

JOSÉ HERNÁN RESTREPO MONTOYA

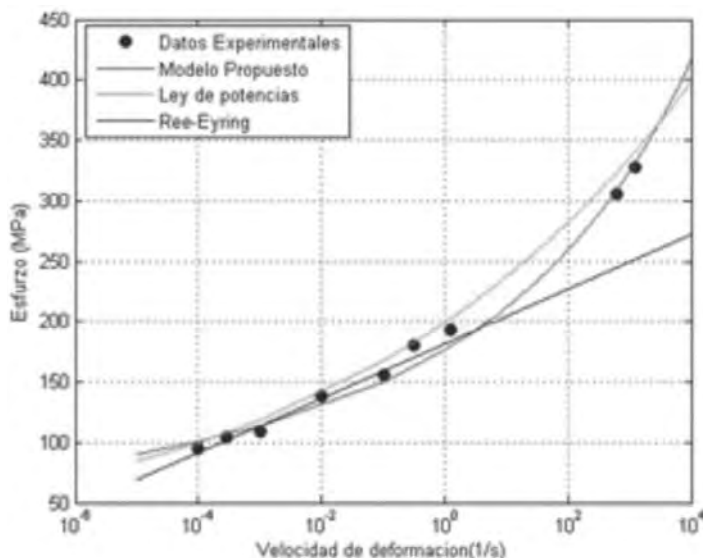
jrestr70@eafit.edu.co

Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS  
GESTIÓN PROYECTOS

ASESOR  
EDGAR ALEXANDER OSSA

SECTOR BENEFICIADO  
UNIVERSIDAD EAFIT



## RESUMEN

La predicción del comportamiento mecánico de un material es un factor fundamental para garantizar la calidad de un producto y la funcionalidad del mismo, por ejemplo, predecir cuál es el esfuerzo mínimo que debe ser aplicado a una fibra para ser estirada a una determinada velocidad de deformación a una temperatura dada, es un factor clave para el diseño de estiradores de fibras.

En este trabajo, se presenta un modelo para la predicción de la curva, esfuerzo Vs velocidad de deformación, cuyos parámetros de cálculo pueden ser fácilmente encontrados, mediante ajustes gráficos de la ecuación del modelo.

Los datos experimentales con los cuales se desarrollo el modelo predictivo se extrajeron de las pruebas de compresión a bajas y altas velocidades de deformación realizadas por Mulliken y Boyce en su paper "Mechanics of the rate-dependent elastic-plastic deformation of glassy polymers from low to high strain rates".

## ABSTRACT

The prediction of the mechanical behavior of materials it's a important issue to guarantee the quality and functionality of a product. For example, to predict the minimum stress to be applied to a fiber to be stretched at an specified strain rate at a specified temperature it's a key factor for the design of machines for stretch fibers.

This article shows a model to predict a Strees Vs Strain Rate curve, with easy to find parameters with graphical adjust methods, of the model's equation.

The experimental data from which the model was calculated was extracted from Mulliken and Boyce article "Mechanics of the rate-dependent elastic-plastic deformation of glassy polymers from low to high strain rates".

## **PALABRAS CLAVES**

Velocidad de deformación, esfuerzo polimeros, fibras, Poli Carbonato, Poli Metil Metacrilato, PC, PMMA. Ajuste por temperatura, Estirado de fibras, WLF.

## **KEY WORDS**

Strain rate, stress, polymers, fibers, Policarbonate, Poli Metil Metacrilate; PC, PMMA temperature correction, fiber stretch, WLF.

## **INTRODUCCIÓN**

Los polímeros amorfos han sido utilizados en aplicaciones que van desde la fabricación de botellas para envasar alimentos y bebidas, pasando por fibras sintéticas, hasta su utilización como materiales de ingeniería, donde las aplicaciones estructurales y de resistencias al impacto son necesarias. La utilización de estos materiales poliméricos ha sido impulsada debido a su relativa baja densidad, un ejemplo de ellos es su utilización en la fabricación de chalecos antibalas, también por ser amorfos permiten observar por ejemplo el contenido del líquido en una botella de bebida gaseosa

Los métodos utilizados en la actualidad para predecir el comportamiento mecánico de un polímero con relación a la velocidad de estiramiento a la cual se someta son variados, sin embargo, estos métodos modelan este comportamiento para bajas velocidades de deformación, o para altas velocidades de deformación, aquellos que lo hacen para una amplia gama de velocidades utilizan

una gran cantidad de complejos parámetros de ajuste que dificultan la obtención de los resultados deseados para ser aplicados en los procesos industriales para los cuales estas simulaciones son requeridas.

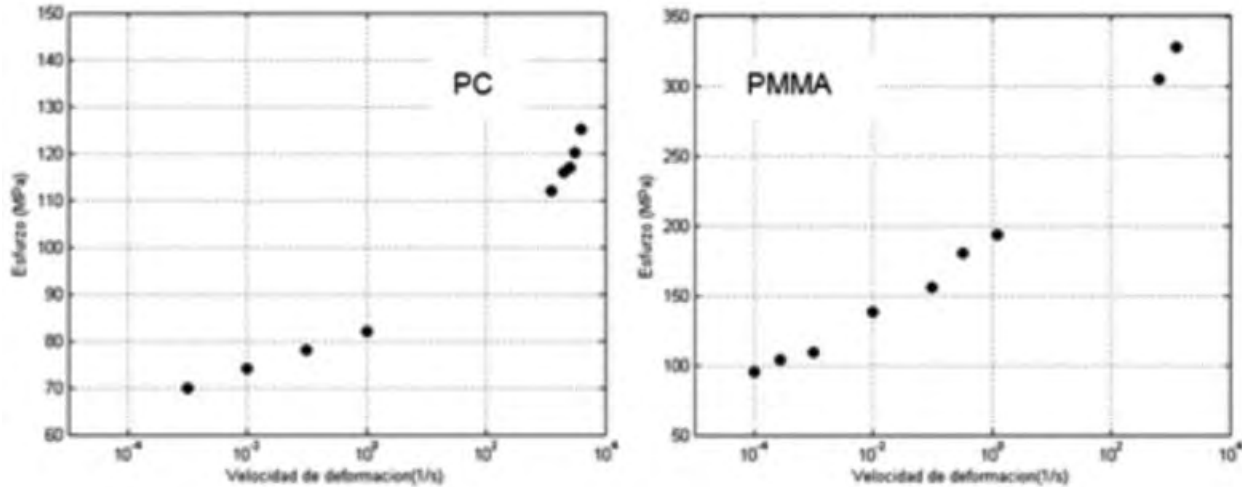
En este trabajo de grado se propondrá un modelo basado en datos experimentales obtenidos por otros autores, con el cual se pueda predecir el esfuerzo de cedencia de un material polimérico amorfo, tanto para velocidades de deformación bajas como altas, y al mismo tiempo entender los efectos de la temperatura en el comportamiento que poseen estos materiales a diferentes velocidades de deformación, sin la necesidad de la utilización de modelos numéricos complejos de ajuste.

## **METODOLOGÍA**

### **Materiales utilizados y datos de trabajo**

Los datos de las pruebas de los materiales se extrajeron de artículo de Mulliken y Boyce. Los polímeros que se utilizaron en los experimentos de estos autores son el Lexan: Policarbonato (PC) y el Plexiglas G: Polimetil metacrilato (PMMA); ambos polímeros poseen una estructura amorfa. Las probetas que se utilizaron en estos experimentos fueron mecanizadas y almacenadas en una cabina de secado por un periodo de 3 a 5 días para eliminar cualquier variación que las pruebas pudieran presentar por algún cambio en los niveles de humedad.

FIGURA 1  
 Graficas del esfuerzo Vs la velocidad de deformación para el PC y el PMMA, extraídas de los experimentos de Mulliken y Boyce



### MODELO PARA LA PREDICCIÓN DE LA CURVA ESFUERZO VS VELOCIDAD DE DEFORMACIÓN

Partiendo de las gráficas de la Figura 11, se plantean tres hipótesis que serán las bases del modelo propuesto.

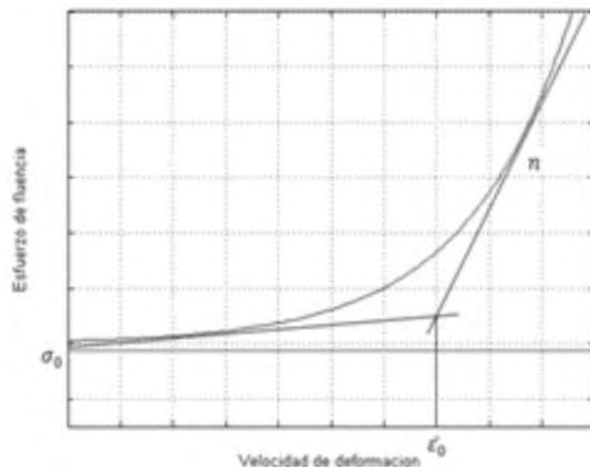
- **Primera:** Debe existir para una velocidad de deformación tendiente a cero, un esfuerzo mínimo apreciable  $\sigma_0$  en las curvas de esfuerzo de cedencia Vs velocidad de deformación.
- **Segunda:** Debe existir una velocidad de deformación crítica  $\dot{\epsilon}_0$ , a partir de la cual, cualquier incremento en esta velocidad de deformación ocasiona un incremento significativo en el esfuerzo de cedencia del material.
- **Tercera:** Debe existir un coeficiente  $n$  que permita incrementar significativamente los esfuerzos de cedencia, a partir de la velocidad de deformación crítica.

En vista que las gráficas tienen similitud con la ecuación exponencial se plantea el modelo propuesto con base en las tres hipótesis mencionadas.

$$\sigma_y = \sigma_0 e^{\left(\frac{\dot{\epsilon}}{\dot{\epsilon}_0}\right)^n}$$

donde  $\sigma_y$ , es el esfuerzo de fluencia que se quiere hallar,  $\sigma_0$ , es el esfuerzo de referencia que se puede interpretar como el mínimo esfuerzo apreciable cuando la velocidad de deformación tiende a cero,  $\dot{\epsilon}$  es la velocidad de deformación, y es el término variable en esta ecuación,  $\dot{\epsilon}_0$  es la velocidad de deformación límite para la cual cualquier incremento en la velocidad de deformación implicará un cambio considerable en el esfuerzo de fluencia del material y  $n$  es una constante que define el grado de inclinación de la curva a partir de la velocidad  $\dot{\epsilon}_0$  de referencia.

FIGURA 2. Representación grafica de los coeficientes que se desean hallar en escala semi logarítmica en las abscisas





## AJUSTE POR TEMPERATURA

Para ajustar las curvas del esfuerzo de cedencia Vs velocidad de deformación, obtenidas mediante el modelo propuesto para el PC y el PMMA, se utiliza el método de ajuste WLF.

$$\log(R_0) = -\frac{C_1(T - T_{ref})}{C_2 + (T - T_{ref})}$$

donde,  $T$  es la temperatura a la cual se quiere hallar el esfuerzo escalado,  $T_{ref}$  es la temperatura a la cual se encontró la curva de referencia que para este caso son 25°C.

Para el policarbonato las constantes encontradas  $C_1$  y  $C_2$ , son 0.4 y 100 respectivamente. (Osswald, y otros, 1995)

Para cada temperatura a la cual se quiere determinar el comportamiento del material, se debe hallar un factor de escalamiento independiente, este factor debe ser multiplicado por la ecuación del modelo propuesto, para encontrar la curva deseada.

$$\sigma_y = \sigma_0 e^{\left(\frac{\dot{\epsilon}}{\dot{\epsilon}_0}\right)^{\frac{1}{n}}} \cdot R_0$$

## RESULTADOS

Al aplicar el modelo a los puntos extraídos de las graficas de las pruebas mecánicas realizadas por Mulliken y Voyce se obtienen los siguientes ajustes comparados con algunos de los modelos de ajuste existentes para polímeros.

FIGURA 3

Comparación de tres modelos para el ajuste de los datos de la curva Esfuerzo de Fluencia Vs Velocidad de Deformación para el PC

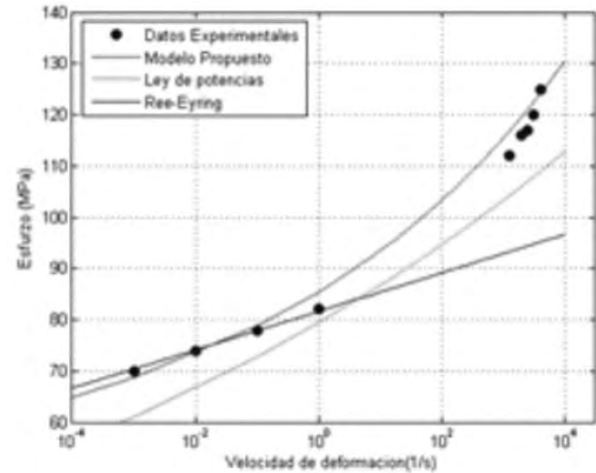
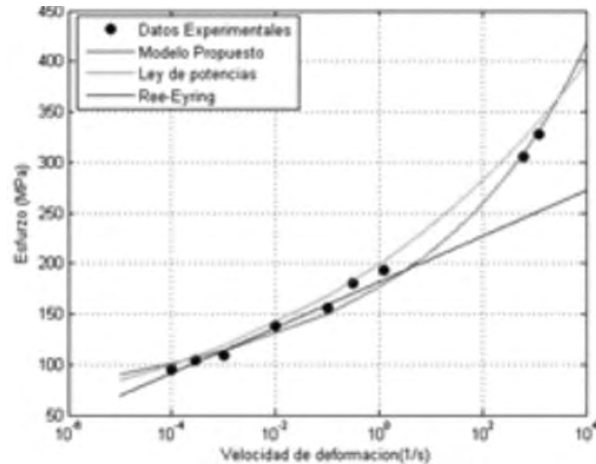


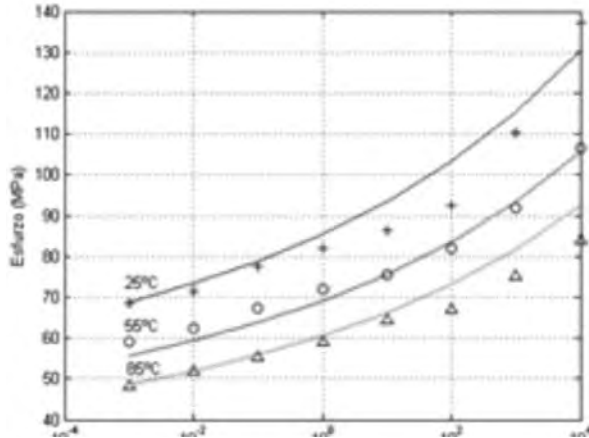
FIGURA 4

Comparación de tres modelos para el ajuste de los datos de la curva Esfuerzo de Fluencia Vs Velocidad de Deformación para el PMMA



Al ajustar por temperatura se obtiene la siguiente grafica.

**FIGURA 5**  
**Comparación de ajuste de temperaturas del modelo propuesto ajustado con WLF y los datos ajustados por Mulliken y Boyce para el PC**



## CONCLUSIONES

Para los polímeros amorfos, existe una transición a partir de la cual cualquier un incremento en la velocidad de deformación genera un aumento significativo de los esfuerzos de cedencia del material. Si se desean utilizar polímeros amorfos a nivel industrial para cualquier aplicación de procesamiento relacionado con la compresión o el estiramiento del polímero, es necesario tener en cuenta a qué velocidad de deformación se desea trabajar para hacer una selección adecuada de la potencia necesaria requerida por el polímero para poder vencer el esfuerzo de cedencia del mismo. No es lo mismo procesar un PC que un PMMA, ya que si se desea procesar un PMMA, la velocidad de deformación crítica a la cual los esfuerzos cambian significativamente con cualquier cambio en esta velocidad de deformación se encuentra en rangos bajos y cambiar la velocidad de procesamiento implica un incremento en la potencia necesaria para deformar el mismo, mientras que la transición del PC se da a velocidades de deformación más alta por lo el rango de trabajo para variar la velocidad de deformación sin que se aumente mucho la potencia requerida para deformarlo es mayor.

En este trabajo de grado se propuso un modelo simple que requiere de tres parámetros para ajustar una curva

de esfuerzo de cedencia Vs velocidad de deformación i) que representa el mínimo esfuerzo de cedencia del material para una velocidad de deformación cero. ii) que es la velocidad de deformación crítica donde se presenta la transición y iii) , que es un índice que permite incrementar o reducir la pendiente de la curva exponencial para altas velocidades de deformación.

El modelo propuesto, permite ajustar una curva de esfuerzo Vs velocidad de deformación, de una manera simple que otros modelos difícilmente logran, ya que sus constantes son fáciles de hallar teniendo previamente los datos de las pruebas mecánicas.

Para determinar el comportamiento mecánico de los materiales a diferentes temperaturas, se puede aplicar el método WLF unido con el modelo propuesto, solo basta multiplicar, la ecuación propuesta por el factor de escalamiento que se calcula con el método.

El modelo propuesto ajusta razonablemente bien para los polímeros amorfos mencionados en este trabajo de grado, la reproducibilidad de este modelo para otros polímeros de la misma clase, queda pendiente de estudio y podría ser tema de estudio más adelante.

Con los modelos y los datos planteados en este trabajo de grado queda como reto para trabajos futuros, encontrar un modelo que sirva para predecir la curva Esfuerzo Vs Deformación para polímeros amorfos.

## BIBLIOGRAFÍA

- Askeland, Donald R. 1998. Ciencia e ingeniería de los materiales. Tercera Edición. s.l. : Thomson, 1998.
- Brostow y Corneliussen. 1986. Failure of plastics. s.l.: Hanser, 1986.
- Continuous Drawing Of Liquids To Form Fibers. Denn, Morton M. 1980. 12, Delaware : s.n., 1980, Annual Review of fluid Mechanics, Vol. 1.
- Continuous-fiber extrusion make strong thermoplastics. Korane, Kenneth. 2003. 10, 2003, Vol. 75.

- Degradation Behavior of poly(ethylene Terephthalate) in an extrusion system. Chizuka, Kenji y Kikutani, Takeshi. 2004. 11, Noviembre de 2004, Textile Research Journal, Vol. 74.
- Hibbler, R.C. 1997. Mecanica de materiales. Mexico : Pearson, 1997.
- Hill, Rowland. 1958. Tecnologia de las Fibras Artificiales. Madrid : Aguilar, 1958. pág. 641.
- McCrum, N. G., Buckley, C. P. y Bucknall, C. B. 1997. Principles of polymer engineering. s.l. : Oxford University Press, 1997.
- Michaeli, Walter. 2002. Plastic Procesing. Munich, Alemania : Hanser, 2002.
- Mulliken, A.D. y Boyce, M.C. 2006. Mechanics of the rate-dependent elastic-plastic deformation of glassy polymers from low to high strain rates. 2006. págs. 1331-1356.
- New Estrusion process recycles food-grade PET. Anonymous. 2006. 9, Septiembre de 2006, Plastics Technology, Vol. 52.
- Osswald, T.A. y G., Menges. 1995. Polymer Material Science. s.l.: Hanser, 1995.
- Polymer Processing. Vlachopoulos, J. and Strutt, D. 2003. 9, Septiembre 2003, Materials Scince And Technology, Vol. 19.
- Progelhof, Richard C. 1993. Polymer Engineering principles. s.l.: Hanser , 1993.
- Ramos, Luis Francisco. 1993. Extrusión de plásticos. Mexco: Limusa, 1993. pág. 187.
- Rauwendaal, Chris. 1994. Polymer Extrusion. s.l.: Hanser, 1994. pág. 568.
- Schwarz, Otto. 2002. Ciencia de los plasticos. Primera Edición. s.l. : Costa Nogal, 2002.

# **IMPLEMENTACIÓN DE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE PILA R06 EN LA PLANTA DE MANUFACTURA DE TRONEX BATTERY COMPANY S.A.**

FELIPE JARAMILLO

fjarami2@eafit.edu.co

Departamento de Ingeniería Mecánica

CARLOS ALBERTO MADRID

cmadridn@eafit.edu.co

Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS

MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

ASESOR PRINCIPAL

JUAN IGNACIO GUTIÉRREZ

SECTOR BENEFICIADO

TRONEX BATTERY COMPANY



## **RESUMEN**

Las empresas con una competencia creciente deben desarrollar estrategias para ser más competitivas y rentables, en producción pueden existir muchos indicadores pero a veces estos no transmiten la información suficiente para ser analizada y poder realizar los correctivos.

El sistema de medición CMD brindara herramientas para determinar el tipo de mantenimiento más apropiado destinando los recursos a las variables que afectan directamente la producción, buscando aumentar la vida útil de las máquinas formadoras, adicionalmente se podrán encontrar oportunidades de mejoras en los equipos con el fin de disminuir los paros no programados y los tiempos de reparación.

Los índices de gestión de Mantenimiento buscan desarrollar la Excelencia Gerencial y Empresarial como práctica gerencial sistemática e integral que pretende el mejoramiento constante de los resultados, utilizando todos los recursos disponibles al menor costo, teniendo presente que cada empresa y sus sistemas se encuentran en un nivel diferente de desarrollo y que poseen características propias que la diferencian de las demás (Cavero@, 2000).

El aumento o disminución de los rendimientos físicos o financieros originados a través de la variación de cualquiera de los factores que intervienen en la producción: trabajo, capital, técnica, etc., que trae consigo beneficios económicos y sociales dentro y fuera de la compañía, que repercuten directamente en el desarrollo del país y en el estándar de vida de la sociedad se entienden como productividad en una compañía. (RAE@2006).

## ABSTRACT

Companies with increasing competition must develop strategies to be more competitive and profitable production can exist in many indicators but sometimes they do not convey enough information for analysis and be able to perform corrective.

The measuring system CMD provide tools to determine the type of maintenance more appropriate to allocate resources to the variables that directly affect production, looking to increase the lifespan of the machines forming, you can find additional opportunities for improvements in equipment with the goal to reduce unscheduled downtime and repair times.

## PALABRAS CLAVES

Confiabilidad, mantenibilidad, disponibilidad, CMD, análisis de consecuencias de falla, análisis de criticidad, mantenimiento correctivo y preventivo.

## INTRODUCCIÓN

Se pretende con este proyecto Implementar un programa de mantenimiento preventivo en la línea de Producción de la pila R6 de la planta de producción de Tronex Battery Company S.A., y así determinar estrategias y acciones para el estado actual y futuro de las máquinas, e incrementar la confiabilidad y disponibilidad de las de productivas.

Las ventajas observadas del estudio científico y matemático del CMD, resalta que pretenden buscar una metodología adecuada para medirlas y evaluarlas eficazmente, con el fin de brindar una herramienta fácil de usar para controlar la gestión y operación integral del mantenimiento.

En resumen, la confiabilidad se asocia a fallas, la mantenibilidad a reparaciones y la disponibilidad a la posibilidad de generar servicios o productos.

El modelo universal para el manejo del CMD (Confiabilidad – Mantenibilidad – Disponibilidad) aporta una

metodología única y sintética que permite estimar los diferentes parámetros de una forma única y lógica, de tal manera que los sistemas de medición CMD que se implementen en las diferentes empresas, permitan una comparación similar en el tiempo, ya sea con la propia industria o con otras a nivel internacional, el manejo de la obtención del CMD debe cumplir unos parámetros estadísticos y matemáticos a lo largo del cálculo .

Tronex debe trabajar en la medida de lo posible con la disponibilidad alcanzada, ya que en el sistema de información empleado, se registran los tiempos de reparaciones correctivas, como los tiempos invertidos en mantenimientos planeados (preventivos y/o planeados).

Consecuencias y Modos de Falla. Los modos de fallas son aquellos que causan el estado de falla en el equipo o inciden indirectamente para que este evento ocurra, los modos de fallas pueden ser físicos, de desgaste, humano, etc. La nomenclatura de estos se hacen con números enteros.

Los modos de falla se clasifican en:

- Falla Completa – Se pierde totalmente la función del sistema o equipo.
- Falla Parcial – El sistema opera adecuadamente, pero con posibles restricciones.
- Falla Intermitente - La falla se presenta en forma discontinua en el tiempo, lo ideal es que falle permanentemente para evaluar sus posibles causas raíces.
- Falla con el Tiempo – Sucede en elementos con el uso, el abuso, el desgaste.
- Sobredesempeño de la función – El equipo se utiliza inadecuadamente por encima (o por debajo de sus capacidades) (Mora, 2006,218).

Las consecuencias permiten analizar qué ocurre si se da el modo de falla. Se miden mediante la evaluación del impacto de ellas sobre la organización, sus componentes, las máquinas, el medio ambiente, la seguridad física, la operación. Las consecuencias se enmarcan en cuatro categorías:

Fallas ocultas: son aquellas que no pueden ser detectadas por lo operarios en condiciones normales de operación, si se producen por si solas. La consecuencia que tendría este tipo de falla es que aumenta la probabilidad de un fallo múltiple, incluyendo los costos de reparación de la falla múltiple.

TABLA 1  
Disponibilidad factible de calcular o deseada de utilizar

Genérica o de Steady-state	Inherente o Intrínseca	Alcanzada	Operacional	Operacional Generalizada
<p>Es útil cuando no se tienen desglosados los tiempos de reparaciones o de mantenimientos planeados; o cuando no se mide con exactitud ni los tiempos logísticos, ni administrativos ni los tiempos de demoras por repuestos o recursos humanos que afecten el DT.</p> <p>No asume que los UT sean altos y los DT bajos. Es útil al iniciar procesos CMD, engloba todas las causas.</p> <p>Debe usarse entre 2 y n eventos.</p>	<p>Considera que la no funcionalidad del equipo es inherente no más al tiempo activo de reparación.</p> <p>No incluye los tiempos logísticos, ni los tiempos administrativos ni los tiempos de demora en suministros. Asume idealmente que todo está listo al momento de realizar la reparación.</p> <p>Se debe cumplir que los UT sean muy superiores en tiempo a los MTTR (al menos unas 8 o más veces) y que DT tienda a cero en el tiempo.</p>	<p>Tiene en cuenta tanto las reparaciones correctivas, como los tiempos invertidos en mantenimientos planeados (preventivo y/o predictivos); no incluye los tiempos logísticos, ni los tiempos administrativos ni otros tiempos de demora.</p> <p>Los mantenimientos planeados en exceso pueden disminuir la disponibilidad alcanzada, aún cuando pueden incrementar el MTBM.</p>	<p>Comprende, a efectos de la no funcionalidad, el tener en cuenta: tiempos activos de reparación correctiva, tiempos de mantenimientos planeados (preventivos o predictivos), tiempos logísticos (preparación, suministros de repuestos o recursos humanos), tiempos administrativos, demoras, etc.</p> <p>Es útil cuando existen equipo en espera para mantenimiento.</p>	<p>Se sugiere cuando los equipos no operan en forma continua, o en los eventos en que el equipo está disponible pero no produce.</p> <p>Es necesaria cuando se requiere explicar los tiempos no operativos.</p> <p>Asume los mismos parámetros de cálculo de la alcanzada, adicionando el <i>Ready Time</i> tanto en el numerador como en el denominador.</p> <p>Se usa cuando las máquinas están listas (<i>Ready Time</i>) u operan en vacío.</p>

## DIAGRAMA DE PARETO

Es una metodología que permite ver el grado de influencia de unos pocos elementos en el total de los resultados obtenidos, es notoria su bondad en cuanto a que puede registrar la influencia de unos cuantos elementos en un gran porcentaje del fenómeno final. Permite descartar la influencia de muchos elementos triviales en la consecuencia de una actividad o falla.

A partir del análisis de criticidad se pueden identificar las máquinas con los tiempos improductivos más elevados, y con las actividades correctivas hechas en estas máquinas, se puede determinar qué grado de riesgo representan y además sirven de punto de partida para saber qué tipo de acciones se deben implementar para la reducción del riesgo y la detección de causas raíces que puedan generar futuras fallas.

## MANTENIMIENTOS PREVENTIVOS

El mantenimiento preventivo es la ejecución de un sistema de inspecciones periódicas programadas racionalmente sobre los equipos, con el fin de detectar condiciones o estados inadecuados de esos elementos, que pueden ocasionar circunstancialmente paros en la producción o deterioro grave de máquinas, y realizar en forma permanente el cuidado de mantenimiento adecuado de la planta para evitar tales condiciones mediante la ejecución de ajustes o reparaciones, mientras las fallas potenciales están aun en estado inicial de desarrollo (Patton, 1995, 17-37).

## CONCLUSIONES

La descomposición de cada una de las máquinas que conforman la línea de producción R06 es de gran utilidad para conocer de una forma detallada la operación de cada uno de los sistemas y componentes que hacen parte de las diferentes máquinas, al comprender su funcionamiento se puede dar una idea de donde podrían ocurrir fallas.

La recopilación de datos provenientes del historial de mantenimientos para las máquinas de la línea R06 permite identificar actividades de mantenimiento correctivas, preventivas que fueron ejecutadas durante el periodo de estudio lo que es de gran ayuda para la conformación de tareas preventivas y sirve como punto de partida para la elaboración del diagrama de pareto, para conocer las actividades más frecuentes en cada una de las máquinas lo que representa un punto de partida para la identificación de los modos y causas de falla dentro del análisis de consecuencia de falla.

El análisis de pareto sirve para identificar las máquinas que generan cerca del 80% de los tiempos improductivos por mantenimiento correctivos dentro de la línea de producción R06, en donde la mayor parte del porcentaje de estos tiempos se ven representados en las máquinas en donde se inicia el ensamble de la pila lo que afecta la línea desde su principio.

Las Máquinas PLM concentran el mayor porcentaje en los tiempos improductivos ya que son las Máquinas que se encuentran bajo mayor exigencia y contacto con la corrosión que produce la mezcla en todos los elementos de las Máquina, lo que acelera considerablemente el desgaste normal.

Para el análisis de falla es de gran utilidad contar con el criterio del personal encargado del área de mantenimiento de la empresa, estos criterios son de gran ayuda para la calificación de las consecuencias de falla y para medir de una forma el impacto real que las fallas podrían tener para la empresa.

Las causas de falla dentro del análisis de falla permiten plantear actividades programadas para evitar algunas de estas fallas, al igual que sirven para reconocer que repuestos se deben tener dentro del almacén, por su importancia o frecuencia de cambio.

El análisis de la matriz de riesgo permite identificar que fallas tienen un riesgo alto, medio o bajo, siendo las dos primeras en las cuales se deben enfocar las posibles actividades para corregir dichas fallas, estas actividades deben estar dirigidas a realizar acciones de tipo modificativo en primer lugar, si esto no es posible; acciones correctivas, preventivas o predictivas.

La mayor parte del tiempo de los mantenimientos programados se encuentra concentrado en tareas de calibración de los troqueles y limpieza de las Máquinas debido a que la mezcla en el ambiente es un factor inherente al proceso de conformación de la pila, razón por la cual se dificulta aumentar el tiempo entre los mantenimientos programados, y por lo tanto se deben buscar factores que recorten estos tiempos para obtener resultados que se reflejen en los indicadores CMD.

## RECOMENDACIONES

La continuidad en el seguimiento de las Máquinas es indispensable para medir el desempeño y eficacia del departamento de mantenimiento y de las tareas definidas.

Llevar a cabo estrictamente las tareas que surgieron con base en este estudio con el fin de mejorar el desempeño de las líneas de producción R06.

Con base en el historial de mantenimiento, se observa que muchos de los mantenimientos programados se ejecutaron en horas extras lo que representa un mayor costo para la empresa. Se recomienda llevar a cabo un análisis sobre las tareas en las cuales se pueden hacer recortes de los tiempos para que así se pueda cubrir un número mayor de mantenimientos y evitar en lo posible este tipo de rubros.

Continuar con la comunicación entre las áreas de mantenimiento y producción para mantener la confiabilidad de los datos y su disposición oportuna para los análisis pertinentes en el cálculo de CMD y el análisis de fallas.

Buscar la forma de proteger los mecanismos de las máquinas PLM y CRIM del contacto directo con la mezcla por medio de un mantenimiento modificativo o un análisis de corrosión.

## BIBLIOGRAFÍA

CAVERO, José M<sup>a</sup>. Situación De La Normativa De confiabilidad. [En línea]. Febrero de 2000. [citado en 28 enero de 2002]. Disponible en Internet.  
<[http://www.alcatel.es/eventos/ponencias/normativa\\_confiabilidad-2.htm](http://www.alcatel.es/eventos/ponencias/normativa_confiabilidad-2.htm)>

MORA, Luís Alberto. Mantenimiento estratégico para empresas industriales o de servicios, Enfoque sistemático Kantiano, Medellín, Colombia: Editorial AMG. 2006. 306p. ISBN 958-338218-3.

Patton, Joseph D.Jr – Preventive maintenance – The International Society for Measurement and Control Instrument Society of America – Second Edition – USA -1995 –ISBN: 1-55617-533-7.

RAE@, 2006. Tomado de la página web de la real academia de la lengua española, web: <http://www.rae.es/> consultada el 10 de Febrero de 2006.



# **DISEÑO DE CIZALLA POR CORTE CIRCULAR PARA OBTENER ROLLOS DE 10MM DE ANCHO A PARTIR DE ROLLOS DE 150MM**

SEBASTIÁN PALACIOS ARANGO

spalaci3@eafit.edu.co

Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS

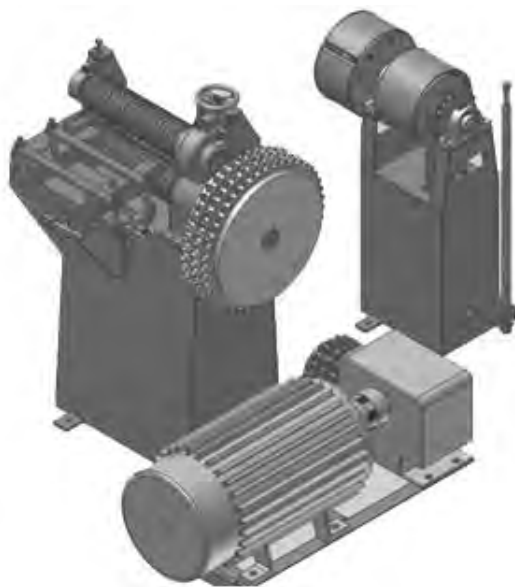
MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

ASESOR PRINCIPAL

CARLOS HERNÁN TABÓN MEJIA

SECTOR BENEFICIADO

METALMECÁNICA



## **RESUMEN**

El objetivo de este proyecto es realizar los planos de taller de una cizalla por corte circular para su posterior fabricación en un futuro. El desarrollo del proyecto empieza desde la parte básica de los procesos de diseño, definiendo su función principal y luego explicando cada una de sus sub-funciones.

Luego de tener desarrollado el proceso de diseño, se dispone a realizar los cálculos más relevantes a nivel macro para tener una idea global de las dimensiones generales de los elementos claves de la maquina. Luego de obtener los resultados de los cálculos relevantes, se realizan los planos de taller al detalle, para con estos en un futuro poder construir la maquina. El alcance del proyecto llega entonces hasta los planos de taller después de tener la información técnica de algunos elementos claves que fueron seleccionados.

## **PALABRAS CLAVE**

Cizalla, Slitter, Diseño, Planos de taller.

## **ABSTRACT**

The object of this project is make drawings of a circular shear in order to build it in the future. The development of the project start since the basic part of design process, defining its main function and then explaining each one of the sub functions.

With the design process done, it's preparing to make the most important calculations for create a global idea of the main parts dimensions of the machine. Then get the results of the main calculations, its make the detail drawings in order to build the machine in the future. The goal of the project is make the detail drawings after have the technical information about the main parts that were selected.

## **KEY WORDS**

Shear, Slitter, Design. Detail drawings

## INTRODUCCIÓN

Debido al crecimiento de la industria metalmecánica de las últimas décadas en Colombia, se ve la necesidad de utilizar todo tipo de medidas en rollo de lámina sobretodo flejes de dimensiones muy pequeñas para piezas de precisión.

Existe una oferta muy baja de empresas que realicen el corte a rollos de lámina con espesores de menos de media pulgada por ello algunas empresas del sector metalmecánico tienen la obligación de importar estos rollos ya cortados. Es por esto que surge la necesidad de diseñar una cizalla de corte circular que realice cortes de fleje de dimensiones muy pequeñas para en un mañana poder satisfacer la demanda del mercado Colombiano.

Los objetivos de este proyecto son los siguientes:

- Identificar los conceptos básicos del corte por cizalla y sus aplicaciones
- Describir el proceso de diseño de una cizalla de corte circular-

- Aplicar los conceptos de diseño de maquinas y de resistencia de materiales para la realización de los cálculos correspondientes para el diseño de la cizalla de corte circular
- Dibujar los planos de taller de la cizalla de corte circular con la ayuda de un software CAD
- Concluir los aspectos más relevantes

## MATERIALES Y MÉTODOS

A continuación se enuncian los pasos a seguir para el desarrollo del proyecto.

### Proceso de Diseño

Lo primero que se debe identificar es la función principal que debe cumplir el elemento a diseñar. Para este caso la función principal para una cizalla por corte circular es precisamente cortar. Y se ilustra de con la siguiente caja negra.

FIGURA 1  
Caja negra función principal



Luego de la función principal se desarrolla en diagrama funcional y la estructura funcional.

FIGURA 2  
Diagrama funcional

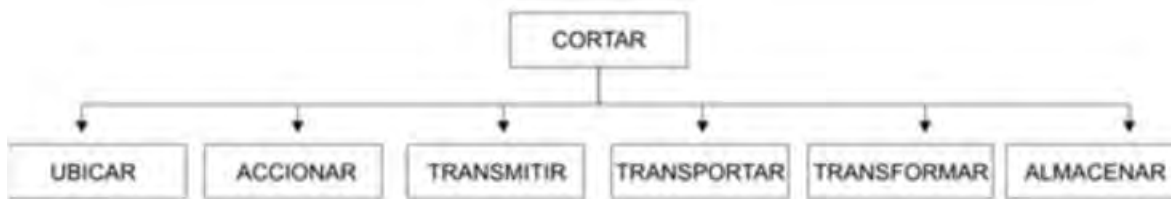
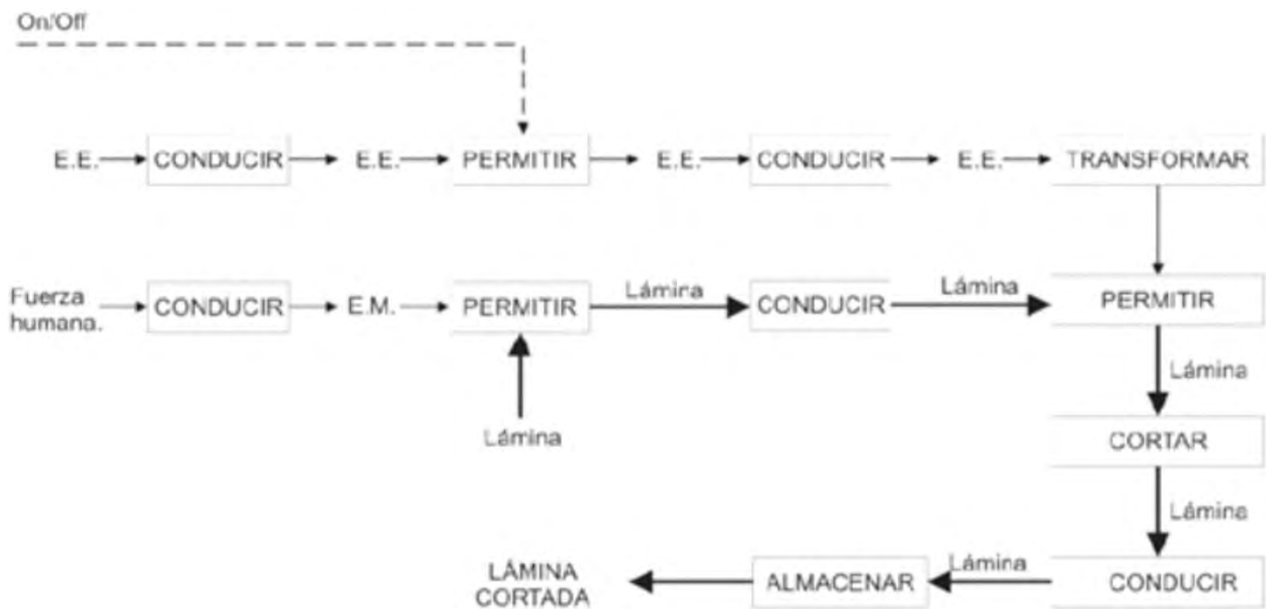


FIGURA 3  
Estructura funcional



## Cálculos

Este proyecto se enfoca en ilustrar los procesos de cálculos generales en cuanto a cizallas se refieren a un nivel macro, sin cálculos al detalle sino las selecciones generales para tener una idea de cómo se dimensiona la maquina, estos son:

- **Potencia:** Se halla la potencia necesaria para el corte de la lámina y también la potencia que necesita el tambor de almacenamiento que hala la lámina para que esta sea cortada, de aquí se selecciona el motor apropiado que cumpla con las necesidades.
- **Engranajes:** Se selecciona el material de los engranajes que se encargan de transmitir la potencia del eje inferior de las cuchillas al eje superior para que estos realicen los cortes por medio de discos.
- **Reductor:** Se selecciona el reductor adecuado que se encarga de reducir las RPM de salida del motor y entrega unas RPM más cercanas a las necesarias para el corte.

- **Cadenas:** Se selecciona el sistema de sprocket-Cadena para la transmisión de la potencia del reductor al eje inferior de las cuchillas de corte y también transmite la potencia al eje del tambor.
- **Ejes:** Se realizan los cálculos respectivos para hallar los mínimos diámetros permitidos de los ejes de las cuchillas, los bulones y el tambor para que resistan las cargas a las cuales están sometidos.

## Planos de taller

Se realizan los planos de taller al detalle de cada uno de los componentes de la maquina con sus respectivos ensambles y sub-ensambles con la ayuda del software CAD Inventor 9.

## RESULTADOS

Los resultados que arroja el proyecto son a nivel de cálculos y posteriormente el modelo de la maquina los planos en detalle.

## Resultados de los cálculos

- **Potencia:** Para todo el sistema los cálculos arrojaron un valor de 36.26 HP, con un factor de seguridad de 1.1, por tal razón se selecciona el motor marca SIEMENS 1LA4 207-6YA80 que posee una potencia de 36 HP.
- **Engranajes:** Luego de realizar los cálculos correspondientes del libro de Faies para selección de material para engranajes se llega propone el material AISI/SAE 8620 cementado SOQT 450 y se corrobora la elección del material ya que cumple para la carga existente debido a que:

$$F_s \geq F_d. 3701.14 [Kg (\dot{A})] \geq 856.05 [Kg (\dot{A})]$$

- **Reductor:** La selección del reductor se realizó con base a la potencia de salida del reductor y la potencia necesaria para el sistema afectada por un factor de servicio, de la cual se tuvo la siguiente desigualdad:

$$50.43HP \geq 36 HP \times 1.25$$

$$50.43 HP \geq 45 HP$$

Entonces del catálogo de BROWING serie 7000 se selecciona el Reductor BC-7912-SM-B3-8.1-AP-200L.

- **Cadenas:** Según el catálogo de RENOLD para selección de cadenas da como resultado según la potencia a transmitir y las RPM necesarias un sistema de 3 hileras con un Sprocket de 19 dientes en el reductor y otro de 45 para el eje inferior de las cuchillas que es en donde se transmite la potencia para el corte.
- **Ejes:** Luego de tener claras todas las cargas que actúan sobre el eje utilizando el método de la superposición, se sigue el código ASME para la selección del diámetro mínimo permitido para las cargas que soporta. Para los ejes de las cuchillas el mínimo diámetro permitido es 70.03mm, para el bulón es de 23.05mm y para el tambor es de 45.43mm.

FIGURA 4  
Ensamble 3D general

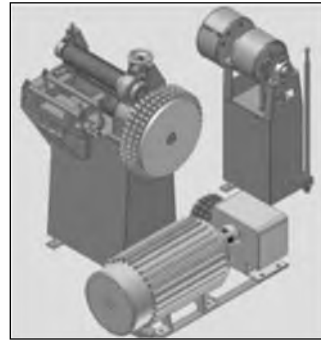


FIGURA 5  
Sistema de guías

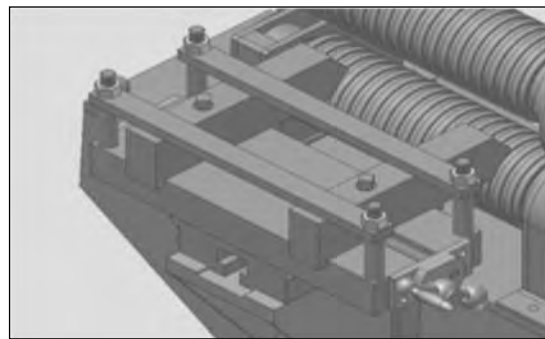
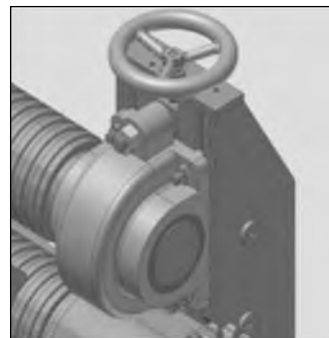


FIGURA 6  
Cabezal Fijo



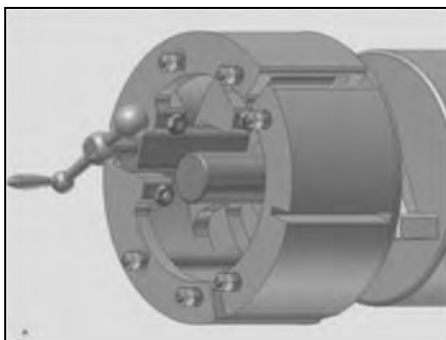
**FIGURA 7**  
Cabezal móvil



**FIGURA 8**  
Accionamiento de embrague



**FIGURA 9**  
Diseño tambor



## CONCLUSIONES

Se pudo apreciar el proceso de corte de lamina por medio de una cizalla por corte circular e identificar los principios básicos de todos los subsistemas, los cuales van ligados a elementos mecánicos del uso común en la ingeniería.

Se logró identificar el proceso de diseño de una cizalla por corte circular, definiendo su función principal y posteriormente estructurando los cálculos de ingeniería para llegar al dibujo de la maquina.

Se lograron aplicar conceptos claves de la ingeniería en la mayoría de los procesos de cálculo, con la ayuda de los libros, catálogos de selección y conocimientos adquiridos durante toda la carrera.

Debido a la potencia hallada para el motor que influye en el sistema de corte y en el tambor de almacenamiento, la cual es muy alta, se llega a la conclusión que es necesario realizar ensayos con dispositivos para estar seguros de la selección del motor.

El sproket seleccionado para la transmisión de la potencia a la zona de corte es muy grande debido a la gran potencia a bajas revoluciones que se tiene que transmitir para poder realizar el corte deseado, igualmente que para el motor, es necesario hacer ensayos para rectificar que ese es el sproket indicado.

Se demostró la importancia de las herramientas CAD para el desarrollo del proceso de diseño, las cuales facilitan las operaciones de dibujo y modelación.

Se logró el objetivo general que fue el diseño de todos los componentes de una cizalla por corte circular dejando en claro la aplicación concreta de conceptos vistos durante toda la carrera.

## AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer muy especialmente al ingeniero Carlos Hernán Tobón quien asesoró y acompañó este proyecto de principio a fin y que sin su ayuda no hubiese sido posible realizar el mismo

## **BIBLIOGRAFÍA**

ASM HANDBOOK. Heat treating. New York: ASM International, 1991. 1012p. ISBN 0871703793.

CASILLAS LOPEZ, Aicardo. Maquinas cálculos de taller. Madrid: 643 p. ISBN 9788440072160

FAIRES, Virgil Moring. Diseño de Elementos de Maquinas. Mexico DF: Limusa, 1997. 802p. ISBN 9681842073.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS. Normas colombianas para la presentación de trabajos de investigación. Sexta actualización. Bogotá, DC: ICONTEC, 2008. 36 p. NTC 1486.

SHIGLEY, Joseph Edward y MISCHKE, Charles R. Diseño n Ingeniería Mecánica. 5 ed. Mexico DF: Mcgraw-Hill, 1990. 883p. ISBN 9684227787.

SIDELPA S.A. Catálogo de Aceros Especiales. Colombia: Igratal LTDA, 1998 106p.

TSELIKOV, A.I y SMIRNOF, V.V. Trenes de Laminación. Urmo. Piel Editorial. 1970.466p

AXXECOL [online]. Información de materiales de herramientas. [Citado 22 de febrero, 2008]. Disponible desde Internet: <http://www.axxecol.com/uploads/catalogo.pdf>

BALEROMEX [online]. Catálogo de Reductores Browning. [Citado 15 de julio, 2008] Disponible desde Internet: <http://www.baleromex.com/downloads/C-S7000.pdf>

INTEREMPRESAS [online]. Evolución de los procesos de corte y deformación de chapa. [citado enero 27, 2008]. Disponible desde Internet: <http://www.interempresas.net/metalmecanica/Articulos/Articulo.asp?A=8647>

RENOLD [online]. Transmission Chains. Catálogo para selección de cadenas. [Citado agosto 2, 2008] Disponible desde Internet: [www.renold.com/nmsruntime/saveasdialog.asp?IID=1183&SID=169](http://www.renold.com/nmsruntime/saveasdialog.asp?IID=1183&SID=169)

TELESAT [online]. Catálogo de Motores Siemens [citado 15 febrero, 2008] Disponible desde Internet: [http://www.telesat.com.co/bin/siemens/cat\\_motores.pdf?PHPSESSID=968f5e6146d5c5f2c2017ab30aab01a3](http://www.telesat.com.co/bin/siemens/cat_motores.pdf?PHPSESSID=968f5e6146d5c5f2c2017ab30aab01a3)

# **DESARROLLO Y ANÁLISIS DE UN MATERIAL COMPUESTO DE CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE FIQUE**

**ANDRÉS ARANGO VELÁZQUEZ**

aarang10@eafit.edu.co

Departamento de Ingeniería Mecánica

**MAURICIO ACOSTA VALENCIA**

macostav@eafit.edu.co

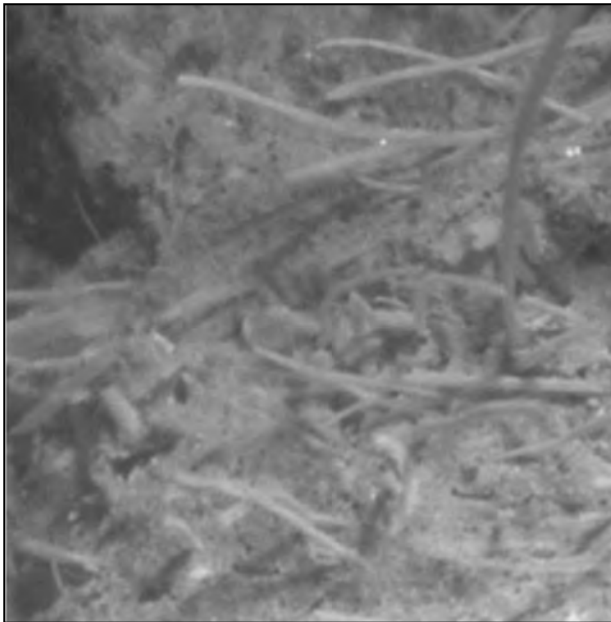
Departamento de Ingeniería Mecánica

**ÁREA DE ÉNFASIS**

MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

**ASESOR PRINCIPAL**

EDGAR ALEXANDER OSSA H.



## **RESUMEN**

En este artículo se muestran los métodos utilizados para determinar las propiedades y características de las fibras de fique y el concreto reforzado con estas, se analiza la posibilidad de tratar las fibras con hidróxido de calcio, además se presentan los resultados obtenidos y las conclusiones de esta investigación.

## **ABSTRACT**

This article shows the methods used to get the properties and characteristics of both the fique fibers and the reinforced concrete with these fibers, it is analyzed the possibility to treat the fibers with calcium hydroxide, it is also showed the obtained results and the conclusions of this investigation.

## **PALABRAS CLAVES**

Concreto reforzado con fibras de fique, fibras de fique, concreto, densidad, resistencia a la compresión del concreto, resistencia a la flexión del concreto, resistencia a la tensión de las fibras de fique.

## **KEYWORDS**

Concrete reinforced with fique fibers, fique fibers, concrete, density, compressive strength of concrete, flexural strength of concrete, Tensile Strength of fique fibers.

## INTRODUCCIÓN

La industria del fique durante la transformación de las fibras en productos como sacos, cordeles, telas, entre otros, utiliza diversos procesos; los cuales son necesarios para la obtención de las características de la materia prima para cada producto derivado del fique, en este ciclo se encuentran diferentes puntos de generación de residuos, los cuales poseen diferentes características que dependen del tipo de proceso al que son sometidas en este punto. Este residuo es una combinación entre fibras cortas, largas y ripo de fique. El ripo es generado desde la obtención de las fibras en el campo al no ser eliminado por completo en el proceso de lavado, las fibras residuales son generadas debido a defectos o deficiencias de las maquinas utilizadas en los procesos.

El residuo generado es usado en la mayoría de los casos como combustible para la generación de vapor, ya que económicamente su disposición final de esta manera no genera ningún costo y se recupera una mínima parte de su valor inicial representado en energía.

Desde otro punto de vista este residuo no es un desecho, pues se han realizado diferentes estudios alrededor de las fibras de fique, encontrando diversas aplicaciones como lo son los materiales compuestos, que pueden ser una opción para crear o reemplazar algún material o producto.

El concreto reforzado con fibras de fique le da la posibilidad de hacer uso de este desecho industrial para analizar y diseñar un material compuesto para la construcción, no se busca el reemplazo de los materiales ya existentes si no dar una alternativa para las aplicaciones en que este material puede ser utilizado de una manera más eficiente de acuerdo a las resistencias y propiedades necesarias de la aplicación.

## ENSAYOS

Se realizaron una serie de ensayos tanto a las fibras como al concreto reforzado con estas, los ensayos son ilustrados a continuación.

### Determinación de la densidad de las fibras de fique

Para determinar la densidad del fique es necesario medir el volumen que las fibras ocupan, En este caso se utilizaron probetas con etanol de densidad 0.79 g/cm<sup>3</sup> hasta cierto volumen, luego se introdujo una cantidad de fibras de fique previamente secadas en un horno a 100 °C durante 45 minutos, tiempo en el cual la fibra de fique perdía su humedad y posteriormente fueron pesadas.

Una vez obtenido el volumen desplazado al introducir las fibras y conociendo su masa se pudo determinar el valor de su densidad, haciendo uso de la siguiente ecuación:

$$\rho = \frac{m}{v}$$

### Determinación del esfuerzo a la tensión de las fibras de fique

Para determinar la resistencia a la tensión se tomo como referencia la norma ASTM C1557-03.

Se le determinó la resistencia a la tensión a 50 fibras de fique escogidas aleatoriamente, 32 fueron de fique sin ningún tratamiento y 18 tratadas con hidróxido de calcio según el estudio realizado en la universidad del valle, esto con el fin de inmunizar la fibra (Delvasto, 1995).

Los ensayos se realizaron en la maquina universal de ensayos marca Instron 3366, serie Q5582, con una resolución de 0.0001 N. Los ensayos se realizaron con una celda de carga de 500 N.

### Elaboración de muestras de concreto reforzado con fibras de fique

Durante este estudio se realizó una mezcla de concreto convencional basada en la información encontrada en el documento "como hacer bloques con fibra de fique" del grupo de investigación del fique del departamento de ingeniería de la universidad del Valle, de donde se tomo como información, la proporción de los materiales a utilizar para la fabricación del concreto y a partir de esta se realizaron mezclas con diferentes porcentajes de fibra



de fique manteniendo la misma cantidad de los materiales utilizados para el concreto convencional con el fin de encontrar una mezcla adecuada. Mezclas de concreto realizadas:

- Mezcla 1 base: 1 unidad de cemento + 1 unidad de arena + 2.5 unidades de grava + ½ unidad de agua. + 0 % en peso de fique.
- Mezcla 2: mezcla 1 base + 0.07 % en peso de fique.
- Mezcla 3: mezcla 1 base + 0.18 % en peso de fique.
- Mezcla 4: mezcla 1 base + 0.25 % en peso de fique.
- Mezcla 5: mezcla 1 base + 0.36 % en peso de fique.
- Mezcla 6: mezcla 1 base + 0.82 % en peso de fique.
- Mezcla 7: mezcla 1 base + 0.18 % en peso de fique tratado con hidróxido de calcio.

Nota: el porcentaje en peso de fique corresponde a la proporción utilizada de este material con respecto al peso total de las mezclas.

### **Ensayo de compresión para cilindros de concreto reforzado con fibras de fique**

La prueba de compresión del concreto está normalizada en ASTM C39 y como ICONTEC 673. Cumplidos los 28 días de curado de los cilindros, estos fueron retirados y fallados uno a uno inmediatamente para mantenerlos húmedos, solo se limpio en seco las superficies de contacto entre la maquina y los cilindros, para cada ensayo, se centró y se alineó el cilindro con el centro de la platina superior de la maquina, se estableció una rata de incremento de carga de 5.3 kN/s y así se consiguió un tiempo de fallo de no más de 2 minutos por muestra, una vez fallados los cilindros se registro la carga máxima, para luego determinar la resistencia y se determino el tipo falla según la norma.

### **Ensayo de flexión para vigas de concreto reforzado con fibras de fique**

Este método consiste en determinar la Resistencia a la flexión de vigas de concreto convencional. Consiste en la aplicación de una fuerza normal a la superficie de la viga de concreto con (150X150mm) de sección transversal a una rata de incremento de carga constante entre (0.9 MPa y 1.2 MPa), y con luz mínima de tres veces el espesor, la

resistencia a la flexión se expresa en (MPa) y está regida por la norma ASTM C293.

A continuación se presentan los resultados obtenidos al ensayar las fibras de fique y el concreto reforzado, además se hace un análisis de estos.

## **RESULTADOS DE LOS ENSAYOS**

La presente sección muestra los resultados de caracterización de las fibras de fique y el concreto reforzado con fibras.

### **Densidad de las fibras de fique**

TABLA 1  
Densidad de las fibras de fique

Densidad	Fibras sin tratamiento (g/cm <sup>3</sup> )	Fibras tratadas con hidróxido de calcio (g/cm <sup>3</sup> )
Promedio	1.1487	1.2040
Mínimo	1.0819	1.1352
Máximo	1.2245	1.2876
Desviación Estándar	0.0393	0.0773

Se puede apreciar un cambio en la densidad de las fibras tratadas, el hidróxido de calcio posee una densidad de 2.211 g/cm<sup>3</sup>, la cual es mayor a la del fique, por lo tanto este incremento de densidad se debe a que la fibra queda impregnada de hidróxido de calcio.

A continuación se presentan algunos valores promedios de las densidades de algunas fibras naturales objeto de estudios anteriores realizados por investigadores de la universidad nacional de Manizales (Moreno, 2007).

La densidad obtenida experimentalmente del fique esta alrededor de 1.14 g/cm<sup>3</sup>, que a comparación de los resultados presentados en la Tabla 2 existe una diferencia, esto puede ser debido al método utilizado ya que existen métodos con mayor precisión como lo es el picnómetro de helio mediante el cual se mide la densidad a materiales porosos, polvos y fibras, también es debido a que las fibras

entre si llevan pequeñas burbujas de aire las cuales pueden aumentar el volumen desplazado haciendo que la relación masa/volumen disminuya.

**TABLA 2**  
Densidad aparente promedio de diferentes fibras naturales

Fibras naturales	Densidad aparente promedio (g/cm <sup>3</sup> )
Fique	1.29
Yute	1.37
Lino	1.5
Kenaf	1.42
Cáñamo	1.48
Ramio	1.51
Sisal	1.43
G. Angustifolia	1.4

(Moreno, 2007)

## Resistencia mecánica de las fibras de fique

Los resultados obtenidos de la resistencia a la tensión de las fibras de fique oscilan entre 108.32 MPa y 384.69 MPa para fibras sin tratamiento y entre 212.77 MPa y 338.40 MPa para fibras con tratamiento como se muestra en las siguientes tablas:

**TABLA 3**  
Resistencia a la tensión de fibras de fique sin tratar

Propiedad	Promedio	Mínimo	Máximo	Desviación estándar
Resistencia a la tensión (MPa)	266.46	108.32	384.69	121.36
Modulo de Elasticidad (GPa)	4.99	2.66	7.61	1.58

**TABLA 4**  
Resistencia a la tensión de fibras de fique tratadas con hidróxido de calcio

Propiedad	Promedio	Mínimo	Máximo	Desviación estándar
Resistencia a la tensión (MPa)	212.77	61.58	338.40	107.99
Modulo de Elasticidad (GPa)	4.13	1.39	7.28	2.11

Se presenta una disminución en la resistencia a la tracción cuando se someten las fibras de fique a un tratamiento con hidróxido de calcio. Se presenta una disminución del 20% de la resistencia mecánica promedio.

Para este estudio se ha decidido utilizar las fibras de fique sin tratar, ya que lo que se busca es favorecer la resistencia mecánica del concreto convencional. Por lo tanto se eligen

las fibras sin tratar como refuerzo, esperando así un aumento en la resistencia a la flexión del concreto.

A continuación se presenta una tabla de la resistencia mecánica de las fibras de fique obtenidas en un estudio realizado por el departamento de ingeniería mecánica de la Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia.

**TABLA 5**  
Propiedades mecánicas de la fibra de fique

Propiedad	Promedio	Mínimo	Máximo
Resistencia a la tensión (MPa)	305,15	200,00	625,20
Módulo de elasticidad (GPa)	7,52	5,50	25,50
Porcentaje de elongación a la fractura (%)	4,96	3,20	5,70

(Contreras, 2008)

Se puede apreciar una diferencia significativa entre los valores de las resistencias hallados en la anterior tabla y los del presente estudio. Se presenta una diferencia de 39 MPa por debajo de las fibras utilizadas en este estudio equivalente al 12 % en la resistencia a la tensión, esta variación se puede presentar debido a diferentes factores entre ellos: Condiciones de temperatura y humedad relativa del ambiente y procedencia y modo de extracción de las fibras.

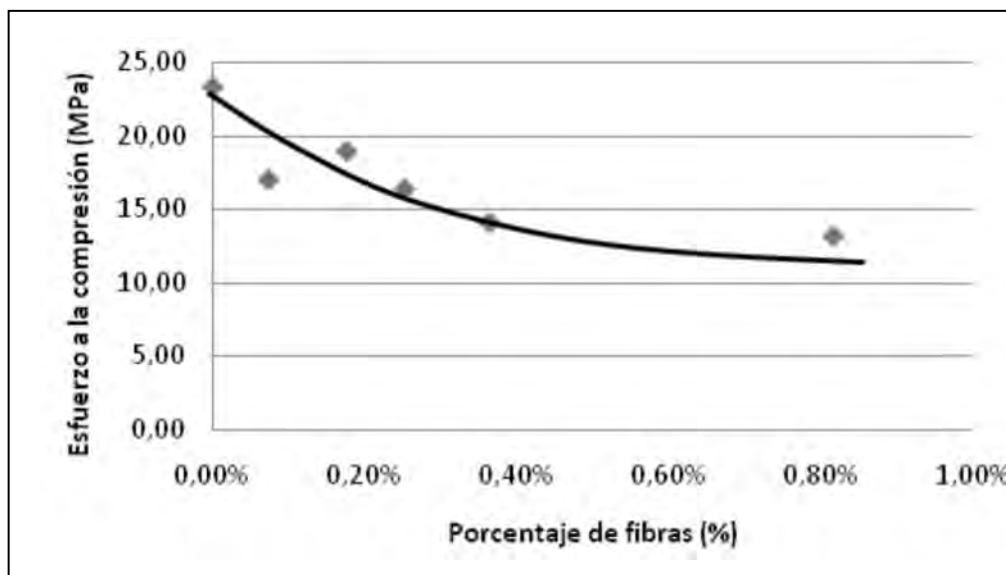
### **Prueba de compresión para cilindros de concreto**

La resistencia específica es la relación entre el esfuerzo máximo promedio de cada mezcla y la densidad promedio de la misma. La disminución en la resistencia se expresa con un valor porcentual, el cual equivale a la variación de esta en comparación a la del concreto convencional debido a la adición de las fibras.

**TABLA 6**  
Resultados del ensayo a compresión del concreto reforzado con fibras de fique

Mezcla	Porcentaje de fique en peso	Compresión			Densidad (g/cm <sup>3</sup> )
		Resistencia específica	Disminución en la resistencia	Resistencia a la compresión (MPa)	
Mezcla 1 base	0.00 %	9.8855	0 %	23.3509	2.3621
Mezcla 2	0.07 %	7.2925	26 %	17.0104	2.3326
Mezcla 3	0.18 %	8.1537	18 %	18.9494	2.3240
Mezcla 4	0.25 %	7.0969	28 %	16.3704	2.3067
Mezcla 5	0.36 %	6.1279	38 %	14.0607	2.2945
Mezcla 6	0.82 %	5.8986	40 %	13.1349	2.2268

**FIGURA 1**  
Esfuerzo a la compresión Vs Porcentaje de fibras



En la Figura 1 se puede observar una tendencia decreciente en la resistencia a la compresión. Las mezclas 2 y 3 están por fuera de la línea de tendencia, esto puede ser debido a que de estas mezclas solo se realizó un espécimen de cada una, ya que de los materiales principales no había la suficiente cantidad para fabricar más especímenes; y la utilización de materiales de otro lote diferente afectaría las propiedades físicas y mecánicas de las muestras, generando desviaciones en los resultados. Por lo tanto cabe la posibilidad que la mezcla 2 haya fallado a una menor aplicación de carga debido a otros factores como puede ser la concentración de fibras en un mismo punto debilitando esa área del espécimen o una mala homogenización de la mezcla debido al mezclado manual.

Los resultados obtenidos muestran una disminución en la resistencia a la compresión de las mezclas realizadas, el cual presenta un comportamiento decreciente negativo al aumentar el porcentaje de fibras agregadas a la mezcla,

esta resistencia varía desde el 18 % hasta el 40 % por debajo, en comparación a la del concreto fabricado sin refuerzo. Por lo tanto se puede decir que al agregar fibras de fique al concreto obtenidas del residuo industrial y sin ningún tratamiento adicional se afectan las propiedades mecánicas de este. En contraposición a la pérdida de resistencia mecánica del concreto reforzado, la densidad de este disminuye en comparación a la del convencional hasta un 6 %, lo cual indica que las losas fabricadas con un material de estas características serán más livianas que con concreto convencional, además durante el fallo de los cilindros se pudo apreciar que el concreto convencional presenta falla explosiva y sus fragmentos son expulsados durante la aplicación de una fuerza de compresión aspecto que en el concreto reforzado con fibras de fique no sucede como se puede apreciar en la Figura 2 y Figura 3, por lo tanto se concluye que al reforzar el concreto con fibras de este tipo se genera una mayor protección en caso de derrumbamiento de construcciones por causas inesperadas.

**FIGURA 2**  
Falla del concreto reforzado con fibras



Las cualidades adquiridas por el concreto reforzado con fibras de fique, principalmente su capacidad de permanecer adherido después de ser fallado y su disminución en la densidad hacen de este un material objeto de estudio de gran interés.

**FIGURA 3**  
Falla del concreto convencional



### **PRUEBAS DE FLEXIÓN PARA VIGAS DE CONCRETO**

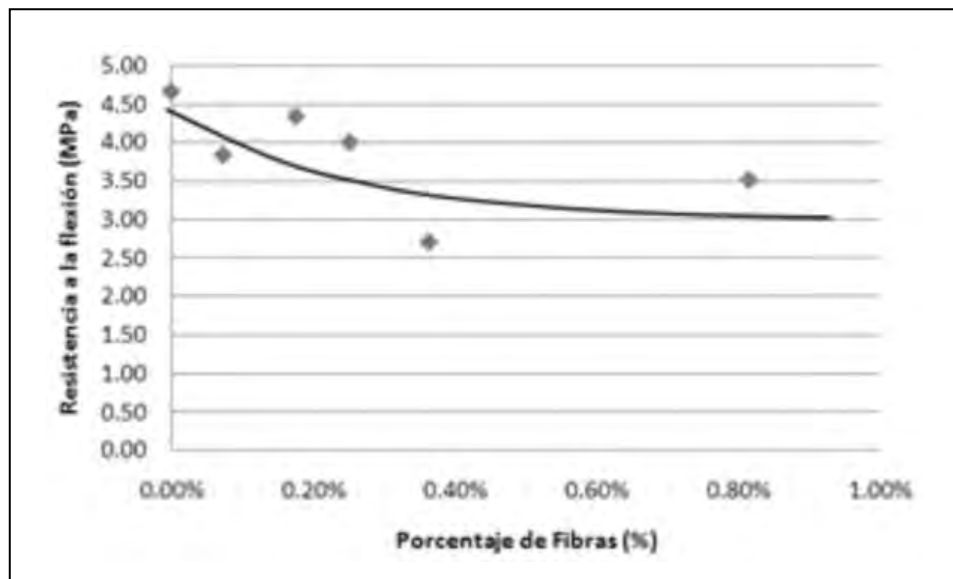
La resistencia específica es la relación entre el esfuerzo máximo promedio de cada mezcla y la densidad promedio de la misma. La disminución en la resistencia se expresa con un valor porcentual, el cual equivale a la variación de esta en comparación a la del concreto convencional debido a la adición de las fibras.

**TABLA 7**  
Resultados del ensayo a flexión del concreto reforzado con fibras de fique

Mezcla	Porcentaje de fique en peso	Flexión			Densidad (g/cm <sup>3</sup> )
		Resistencia específica	Disminución en la resistencia	Resistencia a la flexión (MPa)	
Mezcla 1 base	0.00 %	1.9743	0 %	4.6635	2.3621
Mezcla 2	0.07 %	1.6481	17 %	3.8400	2.3326
Mezcla 3	0.18 %	1.8683	5 %	4.3400	2.3240
Mezcla 4	0.25 %	1.7356	12 %	4.0035	2.3067
Mezcla 5	0.36 %	1.1797	40 %	2.7100	2.2945
Mezcla 6	0.82 %	1.5783	20 %	3.5146	2.2268

En la Figura 4 se puede observar una tendencia decreciente en la resistencia a la flexión al igual que en la resistencia a compresión. Las mezclas 2 y 5 están un poco por debajo de la línea de tendencia esto puede ser debido a que de estas mezclas solo se realizó un espécimen de cada una por razones ya mencionadas en el numeral anterior. Al igual que a compresión los resultados a flexión corroboran que el espécimen de la mezcla 2 pudo haber fallado a una menor aplicación de carga debido a otros factores como puede ser la concentración de fibras o mala homogenización de la mezcla, por lo cual se propone determinar y realizar estudios futuros para analizar estos factores.

FIGURA 4  
Esfuerzo a la flexión Vs Porcentaje de fibras



Los resultados obtenidos muestran una disminución en la resistencia a la flexión de las mezclas realizadas, el cual es inversamente proporcional al porcentaje de fibras agregadas a la mezcla, esta resistencia varía desde el 5 % hasta el 40 % por debajo, en comparación a la del concreto fabricado sin refuerzo. Se puede observar que la variación de la resistencia a la flexión no se ve tan afectada como la resistencia a la compresión del concreto reforzado debido a que las fibras de fique principalmente le aportan resistencia al material durante la falla a flexión ya que estas cumplen con el propósito de impedir los esfuerzos longitudinales en cambio en la prueba de compresión las fibras no cumplen en su totalidad con el propósito y el concreto es el que recibe toda la carga. La adición de fibras naturales a la mezcla ayuda a conservar las propiedades mecánicas a flexión al obtener una disminución en la densidad del material con el fin de aliviar las construcciones de losas, vigas y otras partes que se encuentren sometidos a esfuerzos de flexión.

### **Concreto reforzado con fibras con tratamiento de hidróxido de calcio**

La mezcla 7 está reforzada con el 0.18 % de su masa en fibras de fique, para este caso se le hizo el tratamiento de hidróxido de calcio (Delvasto, 1997).

Para analizar estos resultados se hace la comparación con la mezcla 3 la cual posee el mismo porcentaje de fibras pero sin tratamiento. La Tabla 8 muestra los resultados de los ensayos realizados a las mezclas 3 y 7.

La tabla 8 muestra cómo la resistencia a la compresión como a la flexión del concreto reforzado con fibras tratadas con hidróxido de calcio disminuye significativamente con respecto a la mezcla con la misma proporción de fibras de fique pero sin tratamiento.

TABLA 8

Comparación de concreto reforzado con fibras tratadas con hidróxido de calcio y sin tratamiento

Mezcla	Resistencia a la Compresión (MPa)	Resistencia a la flexión (MPa)	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )
Mezcla 7 con 0.18% en peso de fique tratado con hidróxido de calcio	17.02	4.05	2.3519
Mezcla 3 con 0.18% en peso de fique sin tratamientos	18.95	4.34	2.3240

De lo anterior se concluye que las fibras con tratamiento de hidróxido de calcio no son una ventaja en cuanto a incremento de resistencia se habla, también se nota un cambio mínimo en la densidad donde la mezcla 7 posee la mayor de éstas.

### Análisis de compatibilidad de las fibras en el concreto

FIGURA 5

Detalle de una fibra de fique en el concreto

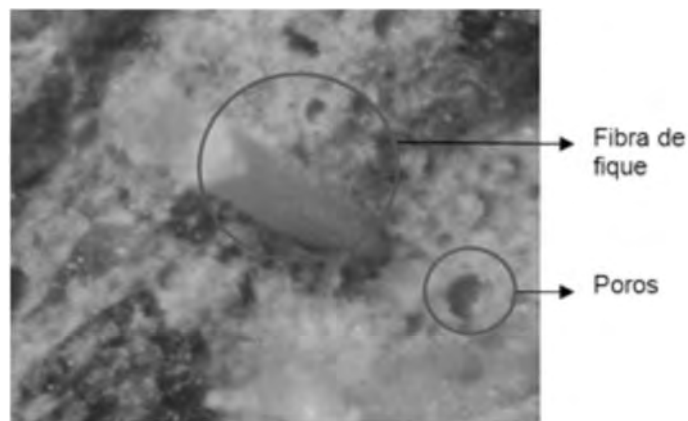
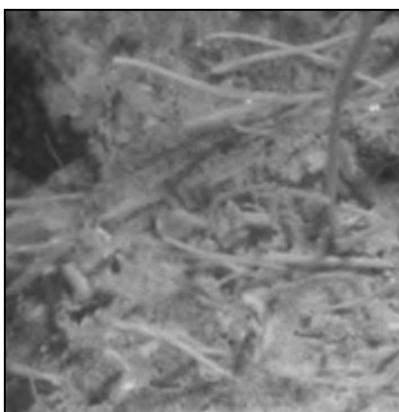


FIGURA 6

Distribución de las fibras en la matriz de concreto



Se puede apreciar una buena compatibilidad entre las fibras de fique y el concreto, se identifican zonas donde las fibras mostraban una buena adhesión con la matriz de cemento, en las muestras analizadas se pueden observar poros en el punto de fractura que son generados por burbujas de aire que no alcanzan a escapar en el momento del fraguado del concreto que son normalmente hallados en este tipo de proceso. También hay pequeños espacios vacíos en las cercanías de las fibras, lo cual trae como consecuencia el debilitamiento del material compuesto, esto se puede presentar debido al alto nivel de absorción de agua por parte de las fibras, que cuando es mezclado con el concreto aumenta su área transversal y que luego del fraguado esta agua absorbida es liberada creando espacios vacíos.

## CONCLUSIONES

El uso de fibras de fique provenientes del desperdicio de un proceso industrial es una alternativa atractiva como refuerzo del concreto convencional, el cual al ser reforzado con estas fibras, adquiere propiedades significativas como el incremento de la tenacidad que en comparación con el concreto convencional tiene un comportamiento favorable al ser fallado a compresión, una buena aplicación de este concreto reforzado sería en la construcción de muros, losas y vigas evitando el derrumbamiento de estos por causa de sismos u otros factores externos.

Al comparar las características entre las fibras tratadas con hidróxido de calcio y las fibras que no son tratadas, se encuentra como resultado que las propiedades de las primeras son superiores a las de las fibras que no fueron tratadas; como lo es una menor densidad y una mayor resistencia mecánica. Con lo anterior se concluye que para hacer un concreto reforzado con fique no es necesario realizar este tipo de tratamiento para garantizar la resistencia del material según pruebas realizadas a los 28 días.

El cambio en la densidad del concreto reforzado con fibras de fique es una propiedad que diferencia los concretos según los porcentajes de fibras adicionado, se presenta un comportamiento decreciente en el valor de la densidad a medida que se adiciona las fibras de fique al concreto, siendo esto una ventaja de este, ya que se puede obtener concretos ligeramente más livianos, que significa ahorro en costos de manipulación y en energía para ser mezclado y colocado.

## BIBLIOGRAFÍA

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS ASTM. Standard Test Method for Tensile Strength and Young's Modulus of Fibers. West Conshohocken. ASTM 2008. ASTM C1557-03.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS ASTM. Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam With Center-Point Loading). West Conshohocken. ASTM 2008. ASTM C293.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS ASTM. Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens. West Conshohocken. ASTM 2005. ASTM C39.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS ASTM. Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete. West Conshohocken. ASTM 2005. ASTM C143/C143M-05a.

NORMAS TÉCNICAS COLOMBIANAS. Ensayo de resistencia a la compresión de cilindros normales de concreto. Bogotá. NTC 2000. NTC 673.

NORMAS TÉCNICAS COLOMBIANAS. Método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto. Bogotá. NTC 2003. NTC 396.

NORMAS TÉCNICAS COLOMBIANAS. Elaboración y curado de especímenes de concreto para ensayos de laboratorio. Bogotá. NTC 1994. NTC 1377.

MORENO, L. E.; TRUJILLO, E. E. y OSORIO, L.R. Estudio de las características físicas de haces de fibra de guadua angustifolia. En: Scientia Et Technica. Vol 13. Número 034. Pereira. UTP. 2007. p. 613 – 617.

CAMBRONERO, L.E.G. y MORAÑO, A.J. Obtención de morteros de cemento reforzados con fibra natural mediante la aplicación de la norma UNE-EN 196-1. Madrid. 1999.

MOJICA, A. y PAREDES, J. El cultivo del fique en el departamento del Santander. Bucaramanga. 2004.

DELVASTO, S. Investigación de los mecanismos de adherencia en la interfase del material compuesto hormigón-fibra natural del fique y de la optimización de su comportamiento de la tenacidad en servicio. Madrid. 1999.

ALATORRE, J. Agregados para concreto: cada cual su nombre. INSTITUTO MEXICANO DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO. [en línea]. Disponible en Internet: <<http://www.imcyc.com/revista/1998/junio/adregados.htm>>. [citado en 18 de junio de 2008].



CONSTRUIR. Refuerzos. [en línea]. Disponible en Internet: <<http://www.construir.com/ECONSULT/Construir/Nro63/document/refuerzo.htm>>. [citado en 18 de junio de 2008].

FYFE LATINAMERICA. Fibras de refuerzo. [en línea]. Disponible en Internet: <[http://fyfe-la.com/CMS/index.php?option=com\\_frontpage&Itemid=1](http://fyfe-la.com/CMS/index.php?option=com_frontpage&Itemid=1)>. [citado en 8 de julio de 2008].

MÁS CONSTRUCCIÓN. Hormigón reforzado con fibra. [en línea]. Disponible en Internet: <<http://masconstruccion.com/hormigon-reforzado-fibra.html>>. [citado en 8 de julio de 2008].

MERCEDEZ, R. E. Fraguado del concreto. ARQHYS, ARCHITECTS SITE. [en línea]. Disponible en Internet: <<http://www.arqhys.com/construccion/concreto-fraguado.html>>. [citado en 20 de mayo de 2008].

NMRCA. Testing compressive strength of concrete. [en línea]. Disponible en Internet: <[http://www.nrmca.org/converted\\_pdfs/original%20cips/35.pdf](http://www.nrmca.org/converted_pdfs/original%20cips/35.pdf)>. [citado en 18 de junio de 2008].

NRMCA. Resistencia a flexión del concreto. [en línea]. Disponible en Internet: <<http://www.nrmca.org/aboutconcrete/cips/CIP16es.pdf>>. [citado en 18 de marzo de 2008].

PLASTIREF. Refuerzos para hormigones y morteros. [en línea]. Disponible en Internet: <<http://www.plastiref.cl/productos/hormigones.htm>>. [citado en 20 de julio de 2008].

WIKIPEDIA. Concreto. [en línea]. Disponible en Internet: <<http://es.wikipedia.org/wiki/Concreto>>. [citado en 18 de marzo de 2008].

WIKIPEDIA. Módulo de elasticidad. [en línea]. Disponible en Internet: <[http://es.wikipedia.org/wiki/M%C3%B3dulo\\_de\\_elasticidad](http://es.wikipedia.org/wiki/M%C3%B3dulo_de_elasticidad)>. [citado en 2 de agosto de 2008].

YAGO, M. V. Ensayos del concreto. ARQHYS, ARCHITECTS SITE. [en línea]. Disponible en Internet: <<http://www.arqhys.com/construccion/concreto-ensayos.html>>. [citado en 19 de junio de 2008].

# MODELO DE ESTRUCTURACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE LA ASIGNATURA DE TRANSFERENCIA DE CALOR EN INGENIERÍA MECÁNICA EAFIT

SEBASTIÁN HOYOS GONZÁLEZ

shoyosgo@eafit.edu.co

Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS

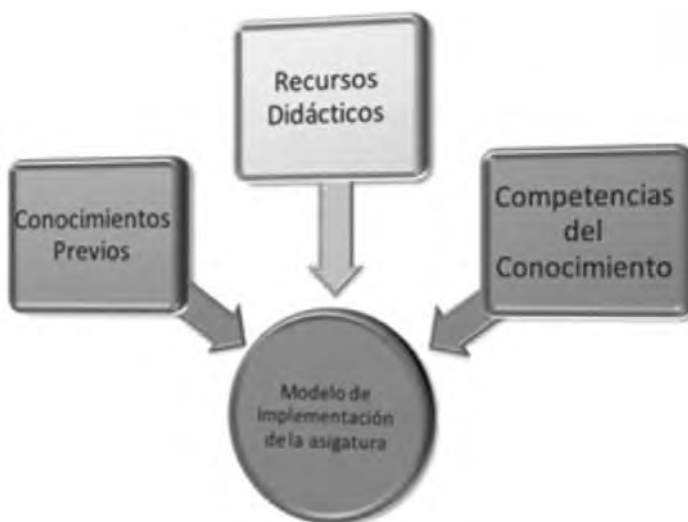
DISEÑO DE SISTEMAS TÉCNICOS

ASESOR PRINCIPAL

LUIS SANTIAGO PARÍS LONDOÑO

SECTOR BENEFICIARIO

UNIVERSIDAD EAFIT



## RESUMEN

Durante los últimos años la educación en Colombia ha sufrido cambios significativos, ya que el país se ha visto directamente influenciado por la globalización, por la tanto se pretende que a nivel de la educación superior los pregrados se realicen en un periodo de tiempo más corto de duración, de 41/2 a 5 años.

Como consecuencia de la reestructuración de la educación superior, debida a los decretos expedidos por el Ministerio de Educación Nacional, específicamente el decreto 2566 de Septiembre de 2003, en el capítulo dos, artículos 17 a 21 (MEN@2004). El Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad EAFIT se ha puesto en la tarea de actualizar los programas en sus asignaturas, que le permitan al estudiante adquirir los conocimientos básicos de manera significativa y desarrollar competencias que le faciliten un desempeño exitoso como ingeniero y a su vez cumplir con las obligaciones que se tienen con el Ministerio de Educación Nacional.

## ABSTRACT

During recent years education in Colombia has undergone significant changes since the country has been directly influenced by globalization, it is intended that both the level of higher education are held within a shorter period of time length, 41 / 2 to 5 years.

As a result of the restructuring of higher education, due to the decrees issued by the Ministry of National Education, specifically the 2566 decree of September 2003 in Chapter Two, Articles 17 to 21 (MEN @ 2004). The Department of Mechanical Engineering at the University EAFIT has approached the task of updating programs in their subjects, to enable the students acquire basic knowledge in a meaningful way and develop skills that will

facilitate a successful performance as an engineer and in turn meet with the obligations they have with the Ministry of National Education.

## **PALABRAS CLAVES**

Transferencia de Calor, Conocimiento Previo, Recursos Didácticos, Práctica Experimental, Tecnologías de la Información y la Comunicación, Saber Saber, Saber Hacer, Competencias, Proyecto de curso, Programa de Transferencia de Calor.

## **KEYWORDS**

Heat Transfer, Prior Knowledge, Teaching Resources, Experimental Practice, Information Technology and Communication, Knowing Knowing, Knowing Making, Competencies, Draft Course, Heat Transfer Programme.

## **INTRODUCCIÓN**

Este artículo surge de la necesidad de una reestructuración del programa de la asignatura de Transferencia de Calor, con base en los decretos expedidos a la fecha por el Ministerio de Educación Nacional.

Además del deseo de aprovechar las tecnologías de información y comunicación que posee la universidad, y de esta manera buscar un aprendizaje más orientado a la investigación, acción y participación por parte del estudiante (UNSAAC@2005)

## **CONOCIMIENTOS PREVIOS PARA EL ESTUDIO DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR**

La Transferencia de calor se concibe como una asignatura integradora de conocimientos que le permite al estudiante afianzar y aplicarlos de manera práctica.

La asignatura al depender y desarrollarse a partir de los conocimientos previos adquiridos por el estudiante, exige de manera intrínseca que estos se manejen de una manera correcta. Se puede entender por manera correcta que el concepto esté claro y que se esté en capacidad de aplicarlo,

no se espera para el nivel de pregrado que el estudiante tenga un dominio total sobre los conocimientos previos, lo que se pretende es dar las bases del conocimiento que le permitan impartir juicios, formular modelos que le sirvan de base para enfrentar situaciones que se presentan durante su formación académica o en la vida profesional (Palomino y otros, 1996).

## **¿Cómo valorar el conocimiento previo?**

Los profesores de educación superior se interesan en promover destrezas y habilidades en sus estudiantes. Para que ésta meta se alcance con éxito, el profesor necesita llevar a cabo un proceso constante de evaluación, el cual le permite conocer mejor sus avances y logros.

Si bien se sabe que la acumulación de conocimientos no es suficiente en educación superior. Los profesores y los estudiantes usualmente invierten mucho tiempo y esfuerzo en el aprendizaje declarativo, el que constituye un requisito indispensable para aprender muchas otras habilidades y destrezas.

Utilizando estos dos instrumentos presentados a continuación e invirtiendo solamente unos pocos minutos de la clase, los profesores pueden obtener un mejor conocimiento sobre cómo los contenidos son aprendidos y acerca de la información que trae el alumno antes de empezar la clase, lo cual es una ayuda más para programar sus actividades y para mejorar la eficiencia de su trabajo dentro del aula.

- Prueba de conocimiento previo.
- Revisión de errores preconcebidos.
- Materias Base para la transferencia de calor.

Las ciencias que se toman como base son varias y son de conocimiento previo del estudiante. Cada una de ellas aporta aspectos y definiciones propias que permiten el estudio de la transferencia de calor, entre estas se encuentran:

- En Matemática se puede acotar cálculo diferencial e integral, métodos numéricos para la solución de sistemas de ecuaciones, ecuaciones diferenciales,

operadores nabla y vectoriales.

- En la Física, Química y Ciencia de los Materiales: conceptos básicos de energía, homogeneidad dimensional, leyes básicas del movimiento, la electricidad y las ondas, constitución de los materiales y sus propiedades.
- En la Mecánica de fluidos conservación de la masa, conservación de la energía, viscosidad, tipos de flujo, volúmenes de control, teoría de capa límite, ecuaciones de transporte (de masa, momento, energía), formas específicas como la ecuación de Navier-Stokes, números adimensionales. Estos conceptos se utilizan para determinar los coeficientes de transferencia de calor.

Termodinámica se encuentran ley cero, primera ley, segunda ley, postulado de estado (Çengel, 2003), propiedades de un sistema, sistemas cerrados y abiertos, concepto de calor y de trabajo. Hay que anotar que para aplicar la transferencia de calor se tiene que cumplir la segunda ley.

### Conceptos de otras asignaturas aplicados en Transferencia de Calor

El estudiante y el ingeniero cuando aborda los problemas de la ingeniería térmica se encuentra comúnmente con los siguientes problemas:

- Rapidez de transferencia de calor.
- Evitar la transferencia de calor.
- Tamaños de equipos.
- Flujos de calor. Casos de aislamiento térmico o limitación del flujo de calor y casos de mejorar o favorecer el flujo de calor.
- Los mecanismos para la transferencia de calor.
- Las cuestiones espaciales: Áreas, distancias, orientaciones formas geométricas, etc.
- Distribuciones de temperatura,  $T = T(x, y, z, t)$ .

Adicionalmente se presentan asuntos relacionados con Cuestiones temporales, por ejemplo la evolución de la temperatura en los sistemas como es el calentamiento y

enfriamiento.

Una Ecuación (1) simple que involucra los principales tópicos de los problemas que la transferencia de calor es:

$$\dot{Q} = U_{TC} A_{TC} \Delta T_m \quad (1)$$

Incropera y otro, 1999

En la cual:

- $\dot{Q}$  Rata de transferencia de calor o flujo de calor [W]
- $U_{TC}$  Coeficiente global de Transferencia de calor [W/m<sup>2</sup>K]
- $A_{TC}$  Área dispuesta para la transferencia de calor [m<sup>2</sup>]
- $\Delta T_m$  Diferencia de temperatura adecuada según el caso que considera la geometría y la distribución de temperatura [K]

### Recursos didácticos una herramienta en el aula

Los recursos didácticos, su concepto y uso, han evolucionado sobretodo como consecuencia de la aparición de las nuevas tecnologías.

Hoy en día el docente tiene muchos recursos a su alcance para lograr una formación de calidad de sus estudiantes, estos recursos y/o materiales se dividen en: recursos impresos, audiovisuales e informáticos.

### PRÁCTICA EXPERIMENTAL

No se puede concebir el estar en una época caracterizada por importantes avances científicos y tecnológicos, sin contar con individuos que posean una educación que incluya en sus planes y programas, aspectos básicos de las ciencias, pues ésta educación es concebida en muchos países en vías de desarrollo como la que permite atender con mayor eficacia los problemas científicos y tecnológicos presentes y futuros (Ayma, 1996).

La importancia de valorar en sus justos términos el aspecto experimental, se evidencia esta afirmación en las siguientes

frases (Llorens y otro, 1993, 89-90):

- De acuerdo con la Psicología del aprendizaje, el trabajo experimental ayuda, de manera nodal, en la formación de conceptos y en la comprensión de las leyes físicas.
- Está comprobado que el trabajo experimental actúa como un factor altamente motivante, que despierta y mantiene el interés por la ciencia.
- Se le considera como un medio fundamental para la adquisición de habilidades y destrezas que se consideran necesarias para formar una actitud investigadora.

### **Inclusión de las TIC**

Su utilización se percibe beneficiosa tanto para el alumno como para la institución universitaria, en la medida en que proporciona la flexibilidad de acceso de los alumnos a la enseñanza y a la vez permite a la institución una disminución en el coste de las infraestructuras y del profesorado, aunque en un principio puede que su implantación suponga una fuerte inversión en equipamiento y formación específica de docentes y tutores (Restrepo, 2005,16).

### **Competencias del conocimiento**

Los métodos de enseñanza pasados promulgan una noción simplista y errónea de que "aprender es memorizar", hasta que el estudiante pueda repetir "ipsis verbis" los textos o las palabras del profesor; por lo tanto es importante cuestionarse como los estudiantes resuelven sus problemas o aciertan en las decisiones en su desempeño profesional, algo bastante relacionado a lo que menciona Séneca "que aprendemos no para la escuela sino para la vida" (COLARDYN@1996).

Los modelos educativos basados en competencias aparecen como respuesta a las demandas que la sociedad hace a la educación para que forme ciudadanos capaces de integrarse con éxito en la sociedad actual y responder a sus necesidades empresariales y económicas. La educación se vuelve, así, aún más dependiente de las demandas de

un tipo de sistema social y económico determinado.

Competencia tiene que ver con tres acepciones: Capacidad, Competitividad e Incumbencia (Chiavenato, 1984):

- Capacidad o aptitud del individuo para hacer algo. Una persona es competente cuando es capaz de entender y resolver un problema o situación que se le plantea. Tiene que ver con características del propio individuo y con sus experiencias previas e historia personal.
- Competitividad entendida como capacidad de la persona no sólo para enfrentarse con éxito a nuevos aprendizajes, situaciones o problemas sino de hacerlo con más eficacia que otras. Esto implica la capacidad de la persona por hacer valer sus formas de pensar y actuar en la comunidad y de demostrar que están más preparadas que el resto.
- Incumbencia referida a la relación que la persona establece con la realidad y su entorno. Es decir, el grado de interés, participación y sentimiento que le genera la realidad en la que se desenvuelve. Desde esta perspectiva la persona puede juzgar que un hecho presente o futuro, le compete o no, suscita o no su interés, puede afectarle o no.

### **Saber Saber**

Este tipo de aprendizaje tiende a la adquisición de conocimientos y al dominio de los instrumentos del saber, puede considerarse a la vez medio y finalidad del proceso educativo. En cuanto a medio, consiste para cada persona en aprender a comprender el mundo que la rodea, y desarrollar sus capacidades profesionales. Como fin, su justificación es el placer de comprender, conocer, de descubrir.

Para que una actividad formativa resulte efectiva y rentable exige que esta sea planificada, desarrollada y evaluada por un personal competente y especialmente capacitada para afrontar con éxito, responsabilidad y profesionalidad su trabajo. En este sentido, y siguiendo la misma lógica, parece evidente que toda persona que va a dedicarse a una labor tan comprometida y complicada como es la formación de personas haya adquirido una serie de conocimientos pedagógicos y ante todo, unas capacidades didácticas que le permitan diseñar y generar aprendizajes

motivadores, dinámicos, eficaces y funcionales.

Durante mucho tiempo, y en la actualidad para gran número de formadores, se ha tenido la enseñanza como una actividad protagonista que ha relegado a los estudiantes a un segundo término asignándoles un papel de espectadores y receptores pasivos víctimas de generadores de tensiones, miedo y abandonos. Hoy en día se trata de superar esta forma de entender la formación y podemos encontrar escritos y experiencias que evidencian la apuesta social en pro de nuevos modelos formativos que pretenden mejorar la calidad y hacer de la educación una actividad participativa (Herranz y otro, 1999, 58-66).

### **Saber hacer**

Aprender a conocer y aprender a hacer son, en gran medida, indisolubles. Pero lo segundo está más estrechamente relacionado a la cuestión de la forma profesional: ¿cómo enseñar al alumno a poner en práctica sus conocimientos y, al mismo tiempo, como adaptar la enseñanza al futuro mercado del trabajo, cuya evolución no es totalmente previsible?

El conjunto de conocimientos, habilidades y actitudes que aplicadas o demostradas en situaciones del ámbito productivo, tanto en su empleo como en una unidad para la generación de ingreso por cuenta propia, se traducen en resultados efectivos que contribuyen al logro de los objetivos de la organización.

Desarrollar competencias laborales en los estudiantes contribuye a su capacidad para conseguir trabajo, mantenerse en él y aprender elementos propios del mismo, así como para propiciar su propio empleo, asociarse con otros y generar empresas o unidades productivas de carácter asociativo y cooperativo (Fayol, 1954).

### **Guía de proyectos y Programa de la asignatura**

Se establece un programa de aprendizaje que le permite al estudiante desarrollar una ingeniería orientada al análisis y diseño térmico, mediante el estudio de situaciones reales, por medio de las sugerencias de los numerales anteriores y a través del desarrollo de un proyecto de curso el cual

también se define en uno de los capítulos del proyecto.

Se menciona la importancia de un laboratorio bien estructurado que permita desarrollar las habilidades para modelar y ensayar en forma práctica, los procesos de transferencia de calor en los sistemas técnicos y dar respuestas a problemas relacionados con las condiciones para lograr determinados flujos de calor, o distribuciones de temperaturas, o tasas de calentamiento o enfriamiento requeridas, así como pre-dimensionar y diseñar, desde el punto de vista térmico, equipos para la termo-transferencia.

El desarrollo de este programa y la propuesta para abordar los temas en la forma indicada, obedece al deseo de impartir los temas de menor complejidad primero y que el estudiante adquiera una destreza y detalle para aplicar los conceptos a la aplicación de Intercambiadores de calor y luego durante el desarrollo de la asignatura se discutan los temas de mayor complejidad. Se dice que estos son más complejos ya que obedecen a fenómenos que involucran el uso de diversas ciencias y demuestran el hecho de por qué en los capítulos anteriores se habla de la Transferencia de Calor como una asignatura integradora de conocimientos. Modelos parecidos para impartir la temática del curso es actualmente utilizado por la Universidad Autónoma de Bucaramanga, Universidad de Navarra España.

### **CONCLUSIONES**

Las competencias profesionales definen el ejercicio eficaz de las capacidades que permiten el desempeño de una ocupación, respecto a los niveles requeridos en el empleo. Es algo más que el conocimiento técnico que hace referencia al saber saber y al saber-hacer.

El concepto de competencia engloba no sólo las capacidades requeridas para el ejercicio de una actividad profesional, sino también un conjunto de comportamientos, capacidad de análisis, toma de decisiones, transmisión de información, etc., considerados necesarios para el pleno desempeño del futuro ingeniero.

La importancia para el estudiante de los conocimientos previos, no es conocerlos si no poder aplicarlos, estar en

capacidad de saber hacer operaciones que involucren el uso de estos y que le permitan al estudiante conformar modelos por medio de ellos.

El uso de recursos didácticos no es una obligación exclusiva del docente, estos pueden ser utilizados por el estudiante buscando nuevos recursos a través de internet o en programas educativos, es decir que el estudiante se le invita formalmente a que participe en su proceso educativo y que sea un medio transmisor de estos nuevos recursos para que se puedan compartir y discutir con el resto de la clase.

Por medio del uso de las TIC se puede implementar un sistema de recursos informáticos que permitan a los estudiantes utilizar sus horas libres ver diagramas e información que aclare los temas de clases o que permita profundizar y dar nuevas ideas en relación al saber hacer al estudiante.

La guía de proyectos de curso no es ningún momento una camisa de fuerza, es más bien una metódica que se le presenta al estudiante para que tenga la posibilidad de guiarse y no comenzar desde cero, dado el caso que se considere que es muy básico lo que se pide en esta se puede llegar a modificaciones en acuerdo con el profesor.

El desarrollo de nuevas guías de laboratorio que sean no estructuradas es pertinente, se pueden adecuar equipos que funcionen a manera de estructuras que se ensamblen y que le permitan al estudiante y al docente crear nuevas experiencias que eviten la monotonía y la copia por parte de los estudiantes.

Si se tiene presente la actitud favorable hacia el hecho de que el laboratorio permite desarrollar el sentido crítico para lograr la integración teoría práctica de los contenidos (saber saber + saber hacer), participando activamente del laboratorio, es importante que las nuevas estrategias que se diseñan en pos del aprendizaje, permiten al estudiante trabajar en pequeños grupos donde su participación crítica se vea acentuada.

Los estudiantes necesitan sentir cómo se integran los

nuevos conceptos en el conjunto de sus conocimientos, esta integración se logra a través de experiencias de tipo experimental o por medio de recursos que den idea ya bien sea videos y/o fotografías que permitan de una manera práctica lograr dicha integración, esto implica por ejemplo que estén más motivados en aprender si ven un beneficio inmediato para sus temas cotidianos, más aún si se tratan de aspectos concretos y prácticos para ellos.

## **BIBLIOGRAFÍA**

Ayma Giraldo, Víctor. Aulas de Laboratorio Usando Material Experimental Conceptual. Disertación de maestría inédita. Instituto de Física y facultad de Educación. Universidad de Sao Paulo. 1996

Çengel, Yunus A., Boles, Michael A. Termodinámica Ed. Mc Graw Hill cuarta edición, págs. 1-65 México. 2003 ISBN 970-10-3966-1

Chiavenato, Idalberto. Introducción a la teoría general de la administración, Ed. Mc Graw Hill, México. 1986 ISBN 978-9701027868

Fayol, Henry. Administración industrial y general, Ed. Atlas, Sao Paulo. 1954 ISBN 950-02-3540-4

Herranz, A., de la Vega, R. "Las competencias: pasado y presente", En revista Capital Humano, No.123, Año XII, 1999, pp.58-66. Madrid. Ed. Capital Humano. 1999

Incropera, Frank P., De Witt, David P. Fundamentos de Transferencia de Calor, 4ª. Ed. Pearson – Prentice Hall. México .1999 ISBN 970-17-0170-4

Llorens Molina, Juan A., Moreno J. Artículo: El desarrollo de nuevos recursos experimentales como actividad de formación del profesorado: Una propuesta para la educación. Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas, ISSN 0212-4521, Vol. 11, N° 1, 1993

Palomino-Delgado-Valcarcel. Enseñanza Termodinámica: Un Enfoque Constructivista II Encuentro de Físicos en la

Región Inka. UNSAAC. 1996

RESTREPO, Carlos M. Proyecto de grado "Curso básico interactivo de Robótica industrial y sistemas de manufactura flexible bajo la plataforma Eafit interactiva, EAFIT". 2005

COLARDYN, 1996 [En línea] [Le gestion des compétences. Perspectives internationales. París: Presses Universitaires de France. <Competencias laborales> <Gestión de la formación profesional>] [Citado en Abril 6 de 2008]. Disponible en Internet en:  
[www.cinterfor.org.uy/public/spanish/region/ampro/cinterfor/base/ret/camb\\_tec/ix](http://www.cinterfor.org.uy/public/spanish/region/ampro/cinterfor/base/ret/camb_tec/ix)

MEN, 2004 [En línea] [Ministerio de Educación Nacional decreto 2566 de 2003]

[Citado en Octubre 13 de 2007]. Disponible en Internet en:  
<http://www.minedu.gov.co/decretos/2566.html>

UNSAAC, 2005 [En línea] [Enseñanza Termodinámica un Enfoque Constructivista II Encuentro de Físicos en la región Inka 2005] [Citado en Agosto 6 de 2007] Disponible en Internet en:

[http://www.google.com/unsaac#ensenaza\\_termica.html](http://www.google.com/unsaac#ensenaza_termica.html)



# **ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA EL PROYECTO DE EXPANSIÓN DE LA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE LA EMPRESA CONGELADOS HECHIZO**

**ANDRÉS MEJÍA DUQUE**

amejiadu@eafit.edu.co

Departamento de Ingeniería Mecánica

**ÁREA DE ÉNFASIS**

DISEÑO DE SISTEMAS TÉCNICOS

**ASESOR PRINCIPAL**

ALINA RESTREPO

**SECTOR BENEFICIARIO**

EMPRESA CONGELADOS HECHIZO



## **RESUMEN**

Enfrentando un panorama alentador la empresa congelados hechizo confía un su futuro y pretende hacer la expansión de su planta de producción, puesto que en las condiciones actuales tienen limitaciones de espacio y productividad.

Esto con el fin de llegar a ser una empresa líder en el sector de alimentos (Empanadas) y ser reconocida por la calidad de sus productos.

Para la ejecución del proyecto fue necesario hacer un análisis del sector donde se encuentra, proponer soluciones que mejoren su sistema actual de producción y por ultimo hacer un análisis financiero para la toma decisiones.

## **PALABRAS CLAVES**

Congelados Hechizo, empresa dedicada a la fabricación de productos a base de maíz.

## **ABSTRACT**

Facing encouraging moment the company Congelados Hechizo is confident on his future and aims to make the expansion of his production plant, since under current conditions has been limited for space and productivity. In order to become a leader in the food market (Empanadas) and be recognized for the quality of their products.

For the implementation of the project was necessary to do an analysis of the sector in which he is, to propose solutions that will improve its current system of production and ultimately make a financial analysis for decision-making.

## **KEY WORDS**

Congelados Hechizo: A company dedicated to produce food base on corn.

## **INTRODUCCIÓN**

En el año 1993 la sociedad Inversiones y Representaciones Duque Mejía Ltda. adquiere una pequeña empresa alimenticia dedicada a la producción casera de empanadas de papa, que emplea a tres mujeres cabezas de familia que solo laboran dos días a la semana para atender su demanda; más que en la empresa, su propietaria les ofrecía, más bien, una ayuda caritativa. Tras su fallecimiento la familia decide venderla a estos nuevos dueños que inician una nueva etapa ampliando la clientela e incrementado la producción de su producto; lo que conlleva a la ampliación de la jornada de trabajo y la vinculación de nuevo personal, la aparición de nuevos productos: empanadas de carne, pasteles de pollo y arepas de huevo, en tamaños y recetas diferentes. Los productos se distribuyen pre cocidos y congelados con el nombre de "Congelados Hechizo".

La evolución de las actividades de la empresa en los quince años siguientes se orienta más a la supervivencia y a la lucha día a día del negocio, condicionada a una limitada estructura administrativa y productiva, así que, se encuentra ante un estancamiento y una productividad artesanal ineficiente.

La producción actual asciende a cien mil unidades mensuales, en diez y nueve productos diferentes con un personal directo de ocho operarios. Para atender la expectativa del crecimiento de la demanda debe transformarse técnicamente para superar esta situación. Por lo tanto, se necesita romper el círculo vicioso para aumentar la producción bajo un nuevo modelo técnico. Cambios que conllevan, entre otros: ampliación locativa para dar cumplimiento a las normas y requisitos de las autoridades alimenticias y del sistema de congelación y de cocción.

La pretensión de esta tesis es ayudar a que la empresa sea más productiva y competitiva. Plantearle mejoras en sus limitadas condiciones productivas y desarrollar en el mediano plazo el escenario que permita que el esfuerzo económico requerido sea factible.

## **FUNCIONAMIENTO ACTUAL**

- Distribución de las diferentes áreas de producción:  
Personal productivo: 8 operarios.  
Producción mensual: 100.000 unidades.  
Área de trabajo. 130 mts<sup>2</sup>.
- Equipos:  
6 equipos convencionales de congelación.  
3 unidades de refrigeración.  
1 estufa industrial de 4 puestos.  
1 Máquina peladora de papas.  
1 pesa.  
2 molinos semiautomáticos.  
1 freidora con termostato.
- Procesos:  
En congelados hechizo, todos los productos elaborados manualmente y pasan por cada una de sus secciones.

## **AMPLIACIÓN DE LA PLANTA DE PRODUCCIÓN**

Visto el escenario de la situación actual de Congelados Hechizo y la necesidad de transformar las condiciones generales de todo el sistema productivo, la readecuación de las áreas, el enlace entre las secciones, la necesidad de nuevos equipos industriales que permitan rendimiento y calidad. Se pasa una propuesta que se presenta a continuación.

La planta actual produce 5.8 toneladas de materia prima alimenticia y las transforma en 100.000 unidades de producto pre cocido para consumo mensual.

Se pretende sustituir e incrementar gradualmente la producción según el estudio de crecimiento elaborado en la prefactibilidad. Para remediar las dificultades actuales como son: incrementar la producción para tener un excedente de inventario que permita agilizar las ventas actuales, el sobre costo de mano de obra por el déficit existente, y mejorar la atención al cliente. A futuro responder por las nuevas demandas que se aspira atender para enrutar la empresa en una senda despejada de producción.

La meta contemplada en el estudio es pretender incrementar la capacidad instalada de la empresa pasando de 100.000 unidades mensuales a producir 450.000 en el mismo lapso de tiempo.

Con el fin de volverla más competitiva en precios por su alta productividad, sabiendo que se debe enfrentar la gran oferta del mercado informal, cuando se dice de informal es que cualquier persona puede realizar estos productos y comercializarlos en lugar.

## **NUEVOS EQUIPOS**

- Una nueva bodega de 350 mts cuadrados, para tener la distribución que se mostro.
- Dos tanques de cocción de maíz y papa.
- Dos peladora de papa.
- Dos molinos más de maíz, sabiendo que se cuenta con dos actualmente.
- Una amasadora de masa de maíz.
- Dos mesas de producción semiautomáticas.
- Una freidora automática.
- Un enfriador y secador de los productos.
- Una cava de congelación y otra de refrigeración.

## **CONCLUSIONES**

La información recolectada, determinó que las empresas que tienen como actividad principal la venta de empanadas venden anualmente \$40.mil millones, lo cual revela el potencial del sector.

Congelados hechizo empresa que con los resultados de la investigación realizada, tiene gran potencial de crecimiento regional, puesto que solo tiene la participación del 1.27% respecto a las ventas del estudio realizado.

En empanadas CH tiene la participación del 5.6% y en pasteles del 14.29%, dando posibilidades de planear expansiones al mercado local.

La investigación permitió determinar que existe un alto grado de informalidad, especialmente en el ramo de empanadas listas para el consumo, ya que son realizados

de formas artesanales y vendidas en muchos lugares de la ciudad. (Cualquier parte).

Se pudo determinó que no existe maquinaria especializada que permita realizar el proceso automatizado.

Se establece la necesidad de desarrollar nuevas maquinas y equipos que suplan las necesidades del sector.

El costo más significativo de la empresa es la mano de obra, por ser 100% manuales, lo que a su vez implica bajos niveles de eficiencia en la productividad. Señalando la importancia de implementar controles productivos que impliquen mayor de producción por operarias.

Se obtuvo de acuerdo con el objetivo planteado: cálculos para producir 450.000 unidades mensuales equivalentes a 26.1 toneladas, incrementado el espacio en refrigeración en más de un 100%; adquirir una freidora (Ver figura 9) y los tanques de cocción que ayudaría con la optimización del consumo de aceite y gas y el aumento de la capacidad de producción.

Se evidencio para el mayor aprovechamiento del espacio utilizar un secador (ver figura 10), que agilizaría el proceso de enfriamiento y ayudaría a reciclar aceite.

Con las líneas de producción semiautomáticas se puede lograr mayor eficiencia de producción puesto que se trabajaría a un ritmo constante.

Las inversiones en maquinaria para aumentar su productividad, serían aproximadamente \$232.360.000 de pesos, para de tiempo de 4 años, con respecto a los puntos de venta la inversión sería de \$194.404.000 millones, para un total de \$426.764.000 millones que calculando el VPN permiten su recuperación.

Los resultados obtenidos señalan que el proyecto de expansión es financieramente viable, y cumple con los criterios de decisión, de VPN positivo y TIR positiva de 293.9%.

También se determinó la importancia de los costos en el momento de expandir una empresa, ya que éstos deben

crecer a una tasa similar a las ventas, porque de lo contrario el porcentaje de utilidad se vería disminuida.

Finalmente el valor de las inversiones y los análisis de costos, gastos y otros conceptos se desarrollaron con supuestos de valoración conservadores, buscando realizar una evaluación que alcance el objetivo deseado de desarrollar la expansión de la empresa

## **RECONOCIMIENTOS**

Durante la elaboración de este proyecto tuve la oportunidad de conocer personas que me ayudaron con la ejecución de este proyecto.

Gracias a la empresa Congelados Hechizo por facilitarme las herramientas necesarias para la consecución de la información, que fue de gran importancia para este proyecto y le será útil para un futuro próximo.

A la asesora Alina Restrepo, le agradezco su dedicación, apoyo y orientación constante velando siempre por un buen desarrollo del trabajo para el beneficio de la empresa.

Gracias a María Consuelo Duque (Gerente), por darme la oportunidad de realizar el proyecto enfocado al mejoramiento de su empresa.

Al Departamento de Ingeniería de Mecánica, gracias por guiarme durante todo el período universitario.

A mi familia quienes fueron guías y el mayor apoyo en todo este proceso.

Y finalmente a todas aquellas personas que me acompañaron e hicieron posible la realización del proyecto.

## **BIBLIOGRAFÍA**

AGROCADENAS @ 2006. Agro cadenas. [En línea]. Clúster de empresas agroindustriales [Citado: 2008]. Disponible en: <<http://www.agrocadenas.com>>.

ASIDUA, Electromecánicas Edaga-ing. Laminadora de masa de maíz.

CI. TALSA. Tanque de cocción de maíz.

DANE @ 2004. Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas. Maíz tecnificado.

DINERO @ 2008. Pastas y panadería.

EMPRESAS PUBLICAS DE MEDELLÍN @ 2008. Precios de los combustibles.

GRUPO VILLAMEX @ 2008. Grupo Villamex S.A de C.V.

INVIMA @ 2008 Instituto de vigilancia de medicamentos y alimentos.

JAVAR TECNOLOGÍA ALIMENTARIA. Peladora de papa.

LEMA, J.M. La industrialización de las papas. En: Revista Información Tecnológica. 1992, p. 82

UTADEO @ 2004. Universidad Jorge Tadeo Lozano. Tendencias de mercados en crecimiento alrededor del mundo.

# **DISEÑO DE UN HIDROCICLÓN PARA PROCESOS DE EXTRACCIÓN DE ACEITE DE PALMA**

**ANDRÉS FELIPE ALONSO ESCOBAR**

aalonsoe@eafit.edu.co.

Departamento de Ingeniería Mecánica

**ÁREA DE ÉNFASIS**

DISEÑO DE SISTEMAS TÉCNICOS

**ASESOR PRINCIPAL**

JAIME LEONARDO BARBOSA

**SECTOR BENEFICIARIO**

UNIVERSIDAD EAFIT



## **RESUMEN**

En la industria de recuperación de aceite de palma, es necesario proteger del desgaste exagerado los decantadores, separadores, centrifugas de boquillas y en general todos los elementos que se encuentran en esta etapa del proceso como las bombas, tubería, etc. Para ello es indispensable instalar antes de dichos equipos, un sistema eliminador de arena del tipo hidrociclón.

Este sistema puede eliminar gran parte de la arena presente en el producto a procesar, obteniendo como resultado una ostensible reducción en los costos de erosión de los decantadores y centrifugas.

## **ABSTRACT**

In the recovery industry's oil of palm, is necessary to protect from an excessive wear the separating decanters and centrifuge. For it is indispensable to install before these equipments, an eliminating system of sand of the type hidrociclón

This system can eliminate a great part of the present sand in the product to trying. Obtaining as consequence an obvious reduction in the costs of erosion of the decanters and centrifuge.

## **PALABRAS CLAVES**

Hidrociclón, Separación solido liquido, operaciones unitarias, eliminador de arena o desarenador, protección para decantadores y centrifugas, extracción de aceite de palma.

## **KEYWORDS**

Hydrocyclone, Separate solid-liquid, Unitary operations, Eliminator of sand, Protection for decanters or you centrifuge, Extraction of oil of palm.

## INTRODUCCIÓN

El proceso de extracción de aceite, se hace a partir del crudo extraído del mesocarpio por prensado que contiene cantidades variables de impureza de material vegetal, parte de las cuales se presentan como sólidos insolubles y partes disueltos en el agua que contiene el aceite, además que en el momento de recepción del fruto no se tiene el mejor manejo donde se adquiere gran cantidad de arena.

Tanto el agua como las impurezas deben removerse, lo que se logra mediante la clarificación. El método más común y el más importante es el sistema basado en la clarificación por centrifugación donde involucra la fuerza centrífuga, llegando a obtener entre 7000 y 8000 veces la gravedad de la tierra, dando como resultado la separación de todas partículas que tienen diferente peso específico del aceite.

El artículo pretende describir el diseño de un hidrociclón para procesos de extracción de aceite de palma donde involucra cada paso para llegar al diseño final.

La manera más simple de utilizar la fuerza centrífuga para la separación son los hidrociclones. En realidad no es un centrifugador ya que la separación centrífuga es producida por el movimiento del lodo, inducido por la inyección del

material de alimentación de manera tangencial. El principio de operación se basa en el concepto de velocidad terminal de sedimentación de una partícula sólida en un campo centrífugo.

## TOMA DE DATOS REALES

Los datos fueron tomados entre el 31 de Marzo y el 3 de Abril en la planta de extracción de aceite de palma "Extractora El Roble" ubicada en el corregimiento de Tucurín, Magdalena a 70Km de la ciudad de Santa Marta. Esta planta tiene 29 años trabajando en la extracción de aceite de palma, no realizan el proceso de refinación. Cuenta con una capacidad actual de procesamiento de 20 ton/hora de racimos de fruta fresca.

El montaje de la planta, se inicio en enero del año 1979, con una capacidad inicial proyectada de 1/2 ton/hora. Actualmente se encuentran en proceso de ampliación, hasta llegar a 44 ton/hora.

"Extractora El roble comercializa aceite crudo de palma africana para las distintas empresas refinadoras y para las nuevas empresas que están incursionando en el Biodiesel. Contacto: Anthony Escandón. Jefe de planta. "Extractora El Roble".

FIGURA 1. Muestra de producto



## SELECCIÓN DEL MATERIAL

En la siguiente tabla podemos encontrar, la comparación para los diferentes materiales estudiados en cuanto a los factores relevantes para la selección del material más adecuado en la construcción del hidrociclón.

**TABLA 1**  
Comparación de los materiales estudiados

Comparación de los materiales estudiados				
Materiales	Resistencia a la abrasión	Resistencia a temperatura	Resistencia a la corrosión	Presión
Poliuretano	Muy buena	Regular	Excelente	Excelente
Aceros inoxidable	Regular	Buena	Excelente	Excelente
Cerámicos	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
Carburo de silicio	Muy buena	Excelente	Excelente	Excelente
Hierros blancos	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
Hypalon	Muy buena	Excelente	Excelente	Excelente

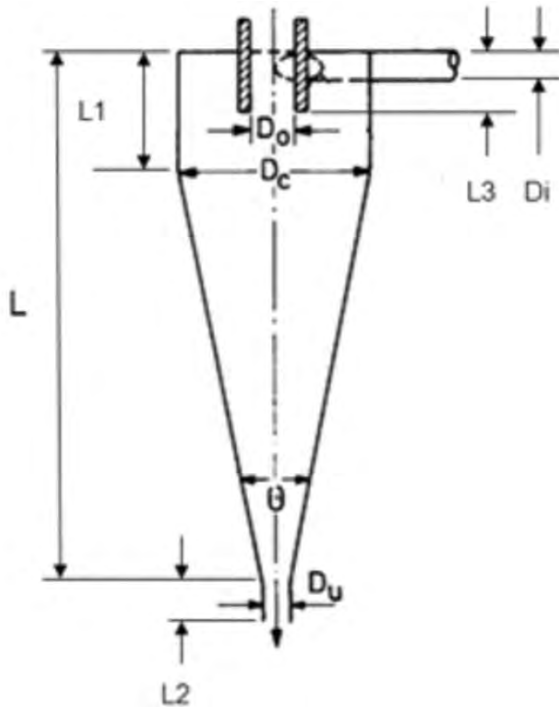
Con base en la tabla de comparación de los materiales estudios, se puede definir dos materiales que cumplen con las características o factores necesarios para la construcción, donde el factor más relevante es la excelente resistencia a la abrasión sin ninguna duda. Los demás factores cobran importancia pero el factor más importante a tener en cuenta para su selección es la resistencia a la abrasión. Esta resistencia se puede obtener con los materiales cerámicos o los hierros blancos también conocidos como Ni – Hard; en los cuales encontramos dicha característica y también los demás factores como temperatura, corrosión y resistencia a presión. Las principales características de los materiales seleccionados son las siguientes:

- Cerámicos: Mantienen de las propiedades mecánicas a altas temperaturas. Por su gran dureza se hace resistente a la abrasión y es utilizado como puntas cortantes de herramientas. Aunque son frágiles, vidriosos y de poca elasticidad, el material en esta aplicación no va a estar sometido a esfuerzos que puedan afectar dichas características.
- Hierros Blancos: La resistencia a la abrasión es una función de la dureza y del volumen de carburos en la micro estructura. Los hierros blancos tienen alto contenido de cromo, lo que lo hace resistente tanto a la corrosión como a la abrasión. Aumentando el contenido de cromo, podemos encontrar así la el material más apto que cumpla con el requerimiento de la resistencia a la abrasión.

En base a los dos materiales aptos para la construcción, se puede llevar a cabo la construcción del equipo. Los materiales serán hierro blanco y cerámica. De esta manera se establece las pruebas experimentales en plantas de extracción de aceite palma, se obtendrán resultados en cuanto a la resistencia a la abrasión para cada uno de los materiales seleccionados. Arrojando resultados como la durabilidad del material ante la abrasión para realizar futuras construcciones nacionales, realizadas por parte de Representaciones Westfalia Separator Ltda. la cual se encargará de la comercialización y distribución de estos equipos.

## DESARROLLO DE CÁLCULOS

FIGURA 2  
Diagrama de variables operativas



La base para el desarrollo de los cálculos dimensionales del hidrociclón, es el diámetro de la sección cilíndrica  $D_c$ . Para hallar este diámetro se usa la ecuación 1.

$$Disponibilidad = \frac{Confiabilidad}{Confiabilidad + Mantenibilidad} \quad (1)$$

Donde fueron necesarios efectuar cálculos de las variables del producto con anterioridad para poder reemplazar dichas variables en la fórmula.

- $Q = 15 \text{ m}^3/\text{h}$
- $d_{50} = 30 \text{ micras} = 3 \text{ E} \cdot 10^{-5} \text{ m}$ .
- $\mu = 0.0220 \text{ Pa}\cdot\text{s}$
- $\rho_L = 918.8 \text{ kg}/\text{m}^3$ .
- $\rho_s = 2650 \text{ kg}/\text{m}^3$
- $X = 3$
- $Y = 1$
- $Z = 0.5$

Reemplazando en la ecuación 1.

$$D_c = \left( \frac{0.00003^2 \times (15 \times (2650 - 918.8))}{0.0220} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$D_c \approx 100 \text{ mm}$$

A partir de diámetro  $D_c$  podemos obtener, las diferentes dimensiones para la construcción del hidrociclón.

- $L = 5 \text{ a } 8 D_c$
- $D_i = 0.15 \text{ a } 0.33 \times D_c$

$$D_i = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$

- $D_o = 0.30 \text{ a } 0.40 \times D_c$
- $D_u = 0.15 \text{ a } 0.20 \times D_c$
- $l_1 = 2 \text{ a } 2.5 D_c$
- $l_2 = 0.5 \text{ a } 0.7 D_c$
- $l_3 = \text{de } 0.5 \text{ a } 0.7 D_c$

Reemplazando  $D_c$  para cada una de las ecuaciones obtenemos las diferentes medidas para la construcción del hidrociclón.

TABLA 2  
Resultados

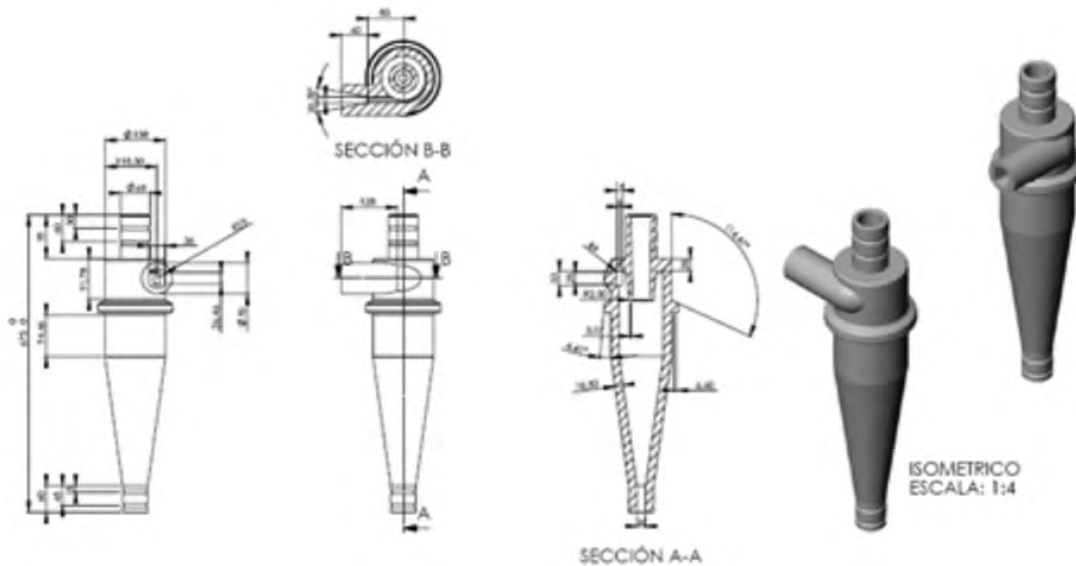
Variable	Resultado	Unidades
$D_c$	100	mm
$L$	500	mm
$D_i = A$	490	mm <sup>2</sup>
$D_o$	40	mm
$D_u$	20	mm
$L_1$	225	mm
$L_2$	60	mm
$L_3$	70	mm

## DISEÑO DE PLANOS

El diseño de planos se llevó a cabo en el software CAD SolidWorks 2007.



FIGURA 3. Hidrociclón



## CONCLUSIONES

La demanda de aceite de palma tiende a aumentar en los próximos 20 años, la expansión de las plantaciones se encuentra en desarrollo desde este momento, con el fin de suplir la fuerte demanda en un futuro cercano. La fuerte demanda del aceite de palma será principalmente en productos no comestibles como cosméticos, jabones y biodiesel como componente del ACPM y así reducir la contaminación que proporciona los combustibles fósiles y la reducción del costo del mismo.

Para el caso colombiano, el cultivo y extracción de aceite de palma constituye una gran oportunidad para impulsar el desarrollo agroindustrial de importantes regiones del país como la costa atlántica, los llanos orientales, el suroccidente y la región central a lado y lado del río Magdalena.

La utilización de hidrociclones después del proceso de decantación por medio de los tanques clarificadores, trae grandes ventajas a las plantas extractoras de aceite de palma. De esta manera no solo se está protegiendo la maquinaria centrífuga ubicada en la etapa posterior, sino todos los accesorios instalados en esta etapa del proceso como lo son tuberías, válvulas, bombas y todos los

componentes que se puedan desgastar con la presencia de la arena.

Los datos teóricos, difieren de los datos experimentales en gran exactitud, la complejidad de la operación de los hidrociclones no permite que los investigadores puedan determinar ecuaciones que expliquen o predigan su comportamiento en condiciones ideales de trabajo.

La poca bibliografía acerca de los hidrociclones lleva a desarrollar el proyecto de forma más experimental y práctica. De la misma manera el desarrollo de nuevos hidrociclones debe llevarse a cabo de dicha manera.

El material seleccionado es de gran importancia a la hora de construir un hidrociclón, ya que la práctica muestra que de él depende la vida útil de este elemento y su eficiencia a través del paso de los años.

La variación de un modelo de hidrociclón a otro, se hace presente en las diferentes marcas de fabricantes. Para cada fabricante existen secretos no revelados para cada uno de sus diseños, el producto a tratar es otro factor a tener en cuenta para las diferencias entre cada uno de los hidrociclones.

Aunque el hidrociclón es un aparato de funcionamiento simple, en él se deben tener presente varios factores importantes en su operación como lo son las variables operativas. La presión y el caudal dependerán la eficiencia del equipo, por tal motivo en sus operación se debe realizar seguimiento a estas variables para su correcto funcionamiento.

La operatividad de la etapa de hidrociclón dentro de una planta, es muy sencilla, con la automatización de la descarga del equipo realizada por medio de un PLC sencillo, solo queda de parte del operario en turno, inspeccionar y dar seguimiento a las variables operativas por medio de elementos de medición.

La experiencia de los fabricantes de maquinaria centrífuga, como lo son decantadores y centrifugas de boquillas específicamente "Westfalia Separator", muestran que para la aplicación de aceite palma, el no instalar un hidrociclón que retire la arena presente en el producto, puede afectar el interior de dicha maquinaria más específicamente las boquillas en el caso de las centrifugas y el tornillo transportador para el caso del decantador. Dichos elementos tienen gran costo de fabricación además de su importación y trámites nacionales. El tiempo aproximado de duración de cada elemento descrito, debido al desgaste por abrasión puede ser de 5 años utilizando la etapa de hidrociclón. Sin la etapa de hidrociclón no supera los 6 meses de duración.

El costo beneficio de instalar una etapa de hidrociclón en una planta extractora es grande, ya que para el caso de tener instalado un decantador, el elemento de desgaste principal como lo es el tornillo transportador puede oscilar entre 30 y 40 millones de pesos. Para el caso de las centrifugas de boquillas cada boquilla puede tener un costo alrededor de 1 millón de pesos teniendo en cuenta que para cada máquina tiene un número de 12 boquillas.

## **BIBLIOGRAFÍA**

Urrea U, Carolina, Vélez G, Paula, Ampliación de la capacidad de la planta de producción de palmeras de la costa S.A. Medellín Colombia 2001 Proyecto de grado ingeniería de producción, Universidad EAFIT.

Donald R. Askeland, Ciencia e ingeniería de los materiales. México 1998. ISBN 968-7529-36-9. 442 P

Quiroz N, Iván Ingeniería metalúrgica: Operaciones unitarias en procesamiento de materiales, Lima, Perú Universidad Nacional de Ingeniería 1986. 133 P

Universidad de Medellín, Revista ingenierías, Vol. 5 N<sup>o</sup> 9, Medellín Colombia 2006. ISSN 1692-3324

Universidad de Antioquia, Revista Facultad de ingeniería Vol 000 N 0028, Medellín Colombia 2003. ISSN 0120-6230

Arbeláez M, Ángela, Rivera Q, Marcela, Diseño conceptual de un proceso para la obtención de biodiesel a partir de algunos aceites vegetales Colombianos. Medellín Colombia 2007 Proyecto de grado ingeniería de producción, Universidad EAFIT.

GEA mechanical Separation Division. High performance Automatic De-Sanding Westfalia MultiCyclone System. Westfalia Alemania 2000.

Bouso, Juan, Artículo El hidrociclón, lo que siempre busco y nunca encontré en los libros, Lima Perú, 1996

Carlos Sánchez, Artículo Instrucciones de instalación y operación de estación de hidrociclones. Caracas Venezuela 2002.

Westfalia Separator. Artículo Hidrociclón con descarga automática. Bogotá Colombia: 1999.

Alfa-Laval. HYDROCYCLONES for the starch industry. Tumba, Sweden: 1997

Westfalia Separator. Artículo Instrucciones de funcionamiento para hidrociclones. Medellín Colombia: 2001.

WIKIPEDIA1, 2008. [En línea] [Mayo de 2008]. Disponible en Internet en: <http://es.wikipedia.org>

WIKIPEDIA2, 2008. [En línea] [Junio de 2008]. Disponible en Internet en: [http://es.wikipedia.org/wiki/Cer%C3%A1mica\\_t%C3%A9cnica](http://es.wikipedia.org/wiki/Cer%C3%A1mica_t%C3%A9cnica)

GOOGLE, IMAGENES, 2007. [En línea] [Revisión de hipervínculo 22 Abril de 2007]. Disponible en Internet en: [www.google.com](http://www.google.com)

ENCARTA, 2008. [En línea] Enciclopedia con información sobre hidrociclones. [En línea] - Visitado el 20 de Junio de 2008: Disponible en internet: <http://es.encarta.msn.com/encyclopedia>

LENNTECH, 2008. [En línea] Utilización de la fuerza centrífuga. Disponible en internet: <http://www.lennotech.com/espanol/centrifugacion.htm>

FEDEPALMA, 2008. [En línea] Procesamiento de aceite de palma. Disponible en internet: <http://www.fedepalma.org/palma.htm>

Universidad de Pereira, 2008. [En línea] Estudio de materiales. Disponible en internet: <http://www.utp.edu.co>

Prodelca, 2008. [En línea] Estudio de materiales. Disponible en internet: <http://www.prodelca.com/productos/hypal%C3%B3n.htm>

Preguntas y definiciones, 2008. [En línea] Disponible en internet: <http://mx.answers.yahoo.com/question/index?qid=20071030152456AAMd0eN>

Scientific Electronic Library, [En línea] 2008. Ventajas de aceite de palma, Disponible en internet: [http://www2.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0002-192X2003000400006&lng=es&nrm=iso](http://www2.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002-192X2003000400006&lng=es&nrm=iso)

# **ESTUDIO DE PRE FACTIBILIDAD PARA EL MONTAJE DE UNA LÍNEA DE CROMADO EN LA EMPRESA SERVIRUEDAS LTDA**

SANTIAGO ESPINAL TOBÓN

sespinal@eafit.edu.co

Departamento de Ingeniería Mecánica

JUAN GUILLERMO TOBÓN GARCÍA

jtbonga@eafit.edu.co

Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS

DISEÑO DE SISTEMAS TÉCNICOS

ASESOR PRINCIPAL

ALEJANDRO TORO BETANCUR

SECTOR BENEFICIADO

SERVIRUEDAS LTDA



## **RESUMEN**

Este artículo contiene los resultados de un estudio de pre factibilidad para el montaje de una línea de cromado en la empresa Serviruedas limitada para su propio uso y también para prestar este servicio, con el fin de disminuir costos de producción y transporte, tiempos de producción y tiempos de entrega a los clientes. Los resultados obtenidos provienen de estudios del tipo ambiental, técnico, administrativo y financiero.

## **ABSTRACT**

This article contains the results of pre feasibility study for the assembly of a line of chromed finished products in the company Serviruedas Ltd., for its own use and also to the supply of this service, with the purpose of reducing production costs and logistics, production time and delivery times to customers. The results come from studies of the environmental, technical, administrative and financial issues.

## **PALABRAS CLAVES**

Línea de cromado, eficiencia, pre factibilidad, rentabilidad, flujo de caja.

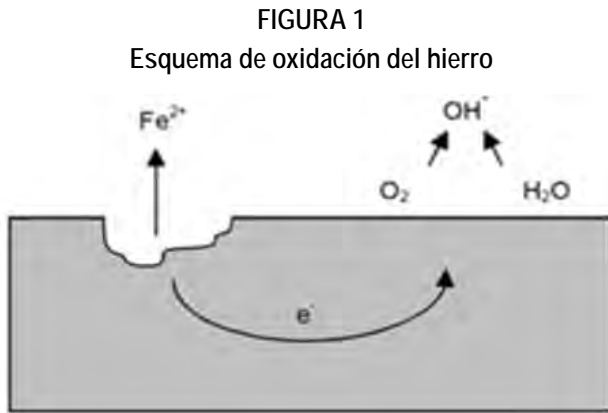
## **KEYWORDS**

Chromed finished products line, efficiency, pre feasibility, profitability, cash flow.

## **INTRODUCCIÓN**

Serviruedas Limitada es una empresa dedicada a la fabricación de carros de mercado, sus principales actividades están enfocadas en sus diferentes líneas de carros de mercado, creadas para satisfacer las necesidades de cada uno de sus clientes, cubriendo así desde los pequeños hasta los grandes supermercados y también está enfocada en prestar sus servicios a los edificios y unidades residenciales.

El hierro, material del que está fabricada la estructura los carros de mercados, está sometido a corrosión, debido a las condiciones del medio: humedad, temperatura, rozamiento, etcétera. (Figura 1).



El proceso de cromado es efectuado en los carros de mercado producidos en Serviruedas limitada con el fin de darles una protección contra la corrosión y darle un acabado durable y decorativo. Éste se hace por medio de terceros, lo cual hace que los tiempos de producción sean mucho más largos de manera considerable.

Serviruedas Limitada desea incluir a su proceso productivo una línea de cromado para su propio uso y también para prestar este servicio, con el fin de disminuir costos de producción y transporte, tiempos de producción y tiempos de entrega a los clientes. Para lo cual se elaborará un estudio de pre factibilidad para conocer si se justifica la inversión para integrar un nuevo módulo a esta empresa.

## GENERALIDADES DEL SECTOR DE GALVANOTECNIA

El sector galvanico comprende todos aquellos recubrimientos que son hechos vía electrolítica sobre diferentes superficies con fines decorativos y de protección contra la corrosión, estos recubrimientos se destacan por su alta dureza, uniformidad, estabilidad y buen aspecto.

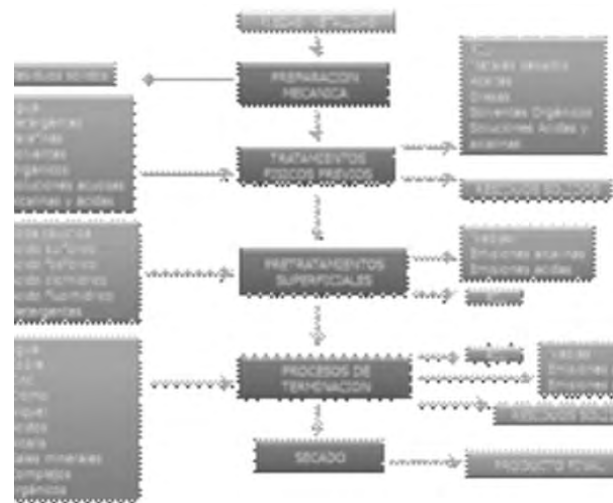
En general, los procedimientos tienen como finalidad alterar las propiedades de la superficie de los metales y

éstas pueden estar relacionadas a motivos decorativos o funcionales dentro de los cuales se encuentran:

- Aumento de resistencia a la corrosión
- Aumento de resistencia al ataque de sustancias químicas.
- Incremento de la resistencia a la fricción y al rayado.
- Mejoramiento de propiedades eléctricas o mecánicas.
- Mejoramiento de propiedades ópticas.
- Ofrecer sustrato de anclaje de pinturas.
- Ejercer lubricación.

Las operaciones típicas y sus residuos en el proceso de recubrimiento se pueden observar en la Figura 2.

**FIGURA 2**  
Operaciones y residuos galvanicos



## ESTUDIO SECTORIAL

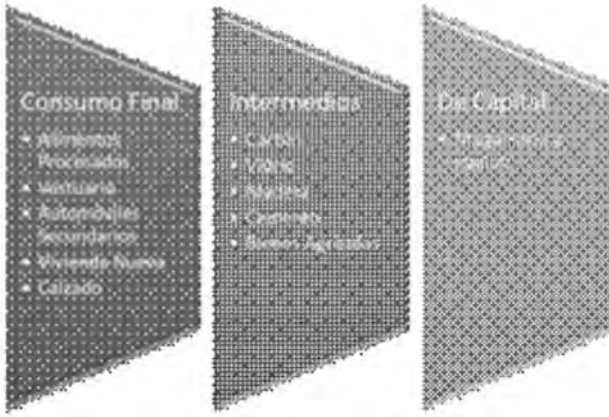
La economía clasifica la actividad económica en tres sectores:

- Primario o productor de materias primas.
- Secundario o de transformación de materias primas.
- Terciario o de producción de intangibles.

El sector secundario reúne las actividades industriales mediante las cuales los bienes son transformados; los

son adicionadas características correspondientes a distintos grados de elaboración. Se divide en industria y manufactura. (Figura 3).

**FIGURA 3**  
Actividades Sector Secundario



El sector de manufactura, específicamente metales y productos metálicos, de acuerdo a la tabla 1, se espera que para el año 2008 tuviera un crecimiento del 15%, sin embargo con respecto a los años pasados se observa que viene decreciendo, esto se debe a que el sector metálico se está consolidando, está ya en la etapa de maduración.

**TABLA 1**  
Crecimiento Sector Secundario

Crecimiento económico: oferta

Rama/división	2006	2007	2008
Manufactura	14,6%	11,5%	9,0%
Carne y pescado	8,3%	-2,0%	7,0%
Resto de alimentos	7,6%	7,5%	6,0%
Bebidas	1,3%	0,0%	2,5%
Tabaco	19,0%	12,0%	8,0%
Textiles	28,3%	25,0%	15,0%
Confecciones	8,3%	14,0%	14,0%
Cuero y Calzado	20,7%	16,0%	10,0%
Madera	16,0%	15,0%	12,0%
Papel y Cartón	17,6%	9,5%	7,0%
Imprentas y Edición	14,4%	9,5%	7,0%
Refinación de petróleo	9,5%	5,0%	3,5%
Químicos básicos y elaborados	0,3%	7,5%	5,5%
Caucho y plásticos	9,5%	8,0%	6,0%
Minerales no Metálicos	7,2%	7,0%	5,5%
Muebles	18,6%	10,0%	6,5%
Metales y prod.metálicos	9,6%	12,0%	9,0%
Maquinaria	34,4%	20,0%	15,0%
Equipo de transporte	32,2%	16,0%	13,5%

## ANÁLISIS DE LA DEMANDA

Los clientes de Serviruedas Limitada lo que compran son carros de mercado o bien la reparación de estos, existen varios tipos de carros de mercado que se diferencian principalmente por su diseño y sus dimensiones.

El mercado específico con el cual se trabajan son las tiendas de barrio, mini mercados y superetes, en la cual empleen carros de mercado y unidades residenciales.

La diferencia en precios está dada principalmente por la complejidad de la fabricación de cada uno de estos. Véase Figura 4 y Tabla 2

FIGURA 4  
Portafolio de productos



SERVIRUEDAS tendrá una demanda de aproximadamente 744 tanques al año y la disponibilidad de tanques de la línea es de 4160 tanque, lo que deja un total de 3416 tanque disponibles para ofrecer el cromado a terceros.

## MATERIAS PRIMAS Y SUMINISTROS

Las principales materias primas son: agua, metales sólidos que se comportan como ánodos o cátodos, sales inorgánicas y de metales pesados, ácidos y bases. Sustancias orgánicas como agentes acomplejantes o surfactantes, energía en forma de calor y electricidad. En la Tabla 3 se puede apreciar la manera como se cuantificaron las materias primas por año.

TABLA 2. Precios por referencia

SACA PAQUETES	YUMBO	ESTÁNDAR	MEDIANO	TOPOLINO	MINI-COMPRAS
\$ 330.000	\$ 320.000	\$ 275.000	\$ 248.000	\$ 230.000	\$ 190.000

TABLA 3. Materias Primas Anuales

ARTICULO	DESCRIPCIÓN	UND	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	VALOR
ABRILLANTADOR NÍQUEL MATE	BN 76 SEMIBRIGHT (BYC)	GL	15	\$16.790	\$251.850
...Continúa...					

## UBICACIÓN Y EMPLAZAMIENTO

De acuerdo con las necesidades que se requieren para el vertimiento de las aguas residuales provenientes de la línea de cromado, la ubicación de la empresa debe estar cerca al Río Medellín. De esta manera se pueden minimizar los impactos que se pueden generar dentro de los procesos de producción.

Debido a que Medellín cuenta con la planta de tratamiento de aguas San Fernando se puede contemplar la posibilidad de utilizar esta planta y así darle uso a esta para hacer un tratamiento de las aguas ya tratadas que salgan de la empresa disminuyendo los impactos ambientales que se puedan llegar a generar. Esto reduce la ubicación hacia el sur de la ciudad. Los municipios de envigado, Itagüí y la estrella estarían dentro de las posibilidades de localización de la empresa. Se escogerá la mejor ubicación posible para la empresa de acuerdo con las posibles bodegas que se encuentren disponibles con las necesidades requeridas para el montaje de la empresa.

La mejor opción en este caso es el municipio de Itagüí debido a la cercanía del sector industrial al río Medellín y que la mayoría de las empresas proveedoras de SERVIRUEDAS se encuentran en este municipio.

Para la nueva planta donde va a estar ubicada la empresa Serviruedas es necesario tener una bodega con una área aproximada de 700 m<sup>2</sup>, la cual debe estar localizada en el municipio de Itagüí, debido al alto costo para la compra de esta bodega, se ha determinado que es mejor el alquiler de estala cual tiene un costo de arrendamiento de 6.500.000 mensuales.

## MEDIO AMBIENTE

Los principales aspectos ambientales que se pueden encontrar dentro del proceso de cromado son el consumo de energía, agua, consumo de materias primas, vertidos de aguas residuales, residuos sólidos y líquidos, y emisiones a la atmósfera. Los principales contaminantes de los vertidos de aguas residuales son metales que se encuentran en forma de sales solubles.

Los principales impactos ambientales generados dentro de la planta de galvanotecnia se tienen en cuenta en una matriz que relaciona el aspecto y el impacto ambiental generado. Véase Tabla 8

Para cada proceso existen diferentes tipos de impactos ambientales y sus respectivas normas aplicables como se enuncian en la Tabla 5.

TABLA 4. Aspectos e Impactos Ambientales

ASPECTOS AMBIENTALES	IMPACTOS AMBIENTALES
Consumo de agua	Afectación del recursos hídrico por consumo de aguas.
Consumo de energía eléctrica	Afectación de recursos por desperdicios de energía. Afectación del recursos hídrico por consumo de aguas.
...Continúa...	

TABLA 5. Impactos Ambientales y Normas Aplicables

ACTIVIDAD ASOCIADA	ASPECTO AMBIENTAL	IMPACTO	NORMA APLICABLE	PERMISO APLICABLE
Preparación de superficies	Emisiones de CO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , OV'S, material particulado.	Contaminación al aire.	Decreto 02 de 1982, emisiones atmosféricas.	Permiso de emisión de gases
...Continúa...				



## PLAN DE MANEJO AMBIENTAL

Se refiere al conjunto detallado de actividades, producto de una evaluación ambiental, están orientadas a prevenir, mitigar, corregir o compensar los impactos y efectos ambientales que se causen por el desarrollo de un proyecto, obra o actividad. Incluye los planes de seguimiento, monitoreo, contingencia, y abandono según la naturaleza del proyecto, obra o actividad.

En la Tabla 6 se encuentra una relación entre las actividades, aspecto ambiental, aspecto técnico y medidas y acciones como plan de manejo ambiental.

En la tabla 7 se muestra el listado de los equipos y materias primas necesarias para llevar a cabo el plan de manejo ambiental.

TABLA 6. Plan de Manejo Ambiental

Actividad	Aspecto ambiental	Aspecto técnico	Medidas y acciones
Recuperación del arrastre de las soluciones del proceso.	Reducción de descargas al drenaje o a la planta de tratamiento de metales pesados y compuestos tóxicos.	Reducción en el uso de materias primas.	Filtración continua y extracción por medio de extracción mecánica (intercambiador iónico) y manual.
....Continúa...			

TABLA 7. Costos Ambientales

ARTÍCULO	UNIDAD	CANT	PRECIO UNITARIO	VALOR
TANQUES ALMACENAMIENTO AGUAS LLUVIAS DE 2000 LTS	UND	1	\$ 2.140.000	\$ 2.140.000
INTERCAMBIADOR IÓNICO	UND	3	\$ 13.720.000	\$ 41.160.000
TANQUE DE SEDIMENTACIÓN DE 1500 LTS	UND	1	\$ 1.500.000	\$ 1.500.000
TANQUE DE HOMOGENIZACIÓN DEL PH ÁCIDOS-ALCALINOS 2000 LTS	UND	1	\$ 2.380.000	\$ 2.380.000
TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE AGUAS DES IONIZADAS DE 6000 LTS	UND	1	\$ 2.979.474	\$ 2.979.474
			<b>TOTAL</b>	<b>\$50.159.474</b>

## VOLUMEN DE PRODUCCIÓN

Se tiene un volumen de producción anual promedio de 116 carros mensuales. El volumen total de piezas a cromar aproximadamente sería de 700 mensuales y en promedio cada pieza se demora dentro de la línea de cromado entre 40 ó 50 minutos. Dentro de la línea de cromado los procesos que llevan más tiempo de inmersión de las piezas son 7 los decapados, el desengrase, neutralización, níquel

mate, níquel brillante y el cromo, estos procesos se llevan a cabo de 6 a 7 minutos y los enjuagues se llevan el resto del tiempo, con esto se puede decir que cada tanque está libre cada 6 minutos esto quiere decir que cada 6 minutos una nueva pieza entra a la línea de cromado, esto nos da un total de 80 piezas cromadas diarias. Esto es dependiendo del tamaño de la pieza a cromar, suponiendo que las piezas son lo suficientemente grandes para ocupar el total del tanque y solo pueda ser cromada una por tanque.

## DISEÑO Y SELECCIÓN DE LOS TANQUES

Según las dimensiones de las piezas a las cuales se les va a efectuar el proceso de cromado los tanques deben tener unas dimensiones de 1.5mt x 0,8mt x 1mt (Véase Figura 14) con un volumen de 1200 Litros como mínimo para un óptimo funcionamiento. Teniendo tanques con estas dimensiones en cada proceso se está asegurando como mínimo 2 piezas para el recubrimiento en cada proceso y así disminuir costos en los recubrimientos, mayor eficiencia en los procesos, menores tiempos de entrega, disponibilidad de los tanques para prestar el servicio a terceros con espacio suficiente para piezas de gran tamaño.

## DISTRIBUCIÓN Y ÁREA REQUERIDA

Además del área necesaria para el montaje de la nueva línea de cromado se debe tener en cuenta el área requerida para los demás procesos que se hacen dentro de la empresa SERVIRUEDAS, y como ya se mencionó es necesario tener una área adicional de 400mt<sup>2</sup> y sumando el área requerida para la línea de cromado de 300 mt<sup>2</sup>, serían necesarios tener una bodega de unos 700 mt<sup>2</sup> para poder tener agrupar todos los procesos que se desean hacer dentro de la empresa.

## RECURSOS HUMANOS

Debido a que la línea de cromado se monta en una empresa ya existente no es necesario la creación de la organización gerencial de la empresa, solo es necesario hacer énfasis en el número de trabajadores necesarios para el funcionamiento de la línea, ya que el supervisor de la producción de Serviruedas se puede encargar de la línea de cromado.

## COSTOS DE MANO DE OBRA

La línea de cromado necesita de 6 trabajadores por turno, dos personas encargados de pulido, una persona encargada de manejar el puente grúa para el movimiento de las piezas y dos personas encargadas del montaje y desmontaje de las piezas en las bastidores que se croman. Véase Tabla 8

TABLA 8. Costos de Mano de Obra

Salario mensual	\$ 516.500
Salario anual	\$ 6.198.000
Cesantías	\$ 516.500
Intereses a cesantías	\$ 61.980
Primas	\$ 516.500
Vacaciones	\$ 230.750
Pensiones	\$ 886.080
Salud	\$ 692.250
ARP	\$ 134.905
Parafiscales	\$ 498.420
Uniformes	\$ 165.000
Costo por trabajador	\$ 9.900.385
Costo de 10 trabajadores	\$ 99.003.850

## ANÁLISIS FINANCIERO

Los ingresos dentro del flujo de caja se tratarán de dos formas, por una parte los ingresos generados por el cromado prestado a Serviruedas y otro los ingresos generados por el cromado a terceros. A los ingresos generados por Serviruedas se les dará el precio de cromado a costo, es decir a lo que cueste el tanque.

Para determinar el costo del cromado de los carros de mercado y el precio al cuál se va a vender el servicio de cromado. Fue necesario hacer dos flujos de caja, los cuales se harán por un periodo de diez años, en los cuales se espera que la inversión retorne y genere ganancias.

Para la compra de los activos necesarios para el montaje de la línea de cromado en Serviruedas Ltda. es necesario hacer un leasing, con el fin de ayudar a que la línea de cromado sea más rentable y no castigar tanto el flujo de caja con unos costos de inversión muy altos.

El Leasing se hará por el costo total de los equipos que en este caso es de \$172.919.474 y con una tasa de apalancamiento financiero del 14% por un periodo de 10 años.

Para tener un capital de trabajo y para la compra de la materia prima durante el primer año se va a

realizar un préstamo de \$200.000.000 y con una tasa de apalancamiento financiero del 18% por un periodo de 10 años.

## FLUJO DE CAJA A COSTO

El Flujo de Caja se realizó para determinar los costos de los tanques de cromado, con el fin de encontrar el costo de los carros de mercado y compararlos con los costos actuales, esto indica si vale la pena invertir en la línea de cromado.

Para calcular el flujo de caja se tienen en cuenta cada uno de los costos generados, analizados en los capítulos anteriores, y se tiene en cuenta una inflación que tiene una distribución triangular que oscila entre 3%, 4% y 6%. Así mismo se debe mencionar que la demanda se trabajó con una función de distribución generada.

## COSTOS DE LOS CARROS DE SUPERMERCADO

El costo de los carros de mercado en la nueva línea de cromado tienen una disminución relativamente baja, el único producto que aumenta el precio es el Mini-Compras aunque la diferencia es apenas del 0,23%. Véase Tabla 9

Lo anterior quiere decir que para Serviruedas Limitada efectivamente es viable desde el punto de vista de

disminución de costo de producción montar la línea de cromado para su propio uso, además de la disminución en los tiempos de entrega

## FLUJO DE CAJA DEL INVERSIONISTA

Posterior al cálculo del costo del carro de cromado e incluyendo los costos que se ven involucrado en el proceso y las inversiones, se efectúa el cálculo del flujo de caja del inversionista, con el objetivo de encontrar si el proyecto es no viable, con un valor presente neto mayor o igual a cero y con una TIR mayor o igual a la Tasa de Oportunidad.

El valor presente de la empresa proyectado a 10 años en términos corrientes es de 20'492.528 pesos. El valor presente neto es mayor que 0, por lo que inicialmente se dice que el proyecto es financieramente viable.

Los cálculos arrojaron una tasa interna de retorno con una valor de 14,24%. Debido a que el flujo de caja es convencional, es decir solo tiene un cambio de signo, pues el proyecto tiene como supuesto una gran inversión inicial y costos de mantenimiento, mas no tiene un egreso significativo en el transcurso de los 10 años que implique un flujo de caja no convencional, solo una gran inversión al inicio del proyecto, es por esto que se considera a la TIR como una variable de decisión.

**TABLA 9**  
Costos Actuales vs. Costos de la Línea de Cromado

PRODUCTO	SACA PAQUETES	YUMBO	ESTÁNDAR	MEDIANO	TOPOLINO	MINI-COMPRAS
Costos Actuales	41.038	45.300	41.038	35.000	25.750	16.100
Costos de la Línea de Cromado	40.728	43.802	38.423	34.581	25.359	16.138

## CONCLUSIONES

Al realizar el estudio financiero y determinar todos los costos de inversión y de operación que se generan durante la ejecución y puesta marcha del la línea de cromado se llega a la conclusión que el proyecto es rentable, pero con un riesgo moderado.

Los impactos sociales generados por la línea de cromado son en mayor medida negativos, debido al el alto poder contaminante de todos los procesos de la línea de cromado, tales contaminación del agua potable, y generación de residuos sólidos, los cuales pueden llegar a afectar la salud de los trabajadores de la planta y de la comunidad vecina.

Debido a los grandes impactos ambientales generados por la línea de cromado, los cuales requieren de un plan de manejo ambiental para mitigarlos, prevenirlos y corregirlos, se requiere de una gran inversión en equipos, materias primas y obras físicas, esto hace que el precio de venta del servicio de cromado a terceros se incremente en gran medida y por tanto no sea tan competitivo.

Para el diseño de la línea de cromado fue necesario tener en cuenta los impactos ambientales que se generaban durante los procesos e incluir varios procesos y equipos adicionales a este proceso para el cumplimiento de las normativas ambientales, incrementando la inversión y el espacio necesario para el montaje de la línea de cromado.

La legislación ambiental colombiana y el plan de manejo ambiental resultante restringen en gran medida la localización de la bodega donde va a estar situada la empresa Serviruedas.

El análisis financiero muestra que para que la línea de cromado sea rentable se deben trabajar dos turnos diarios y así tener la suficiente producción para que el precio de venta sea competitivo en el sector.

## BIBLIOGRAFÍA

GIDO, JACK y CLEMENTS, JAMES P. Administración exitosa de proyectos. 3 ed. Australia: CENGAGE LEARNING, 2007. 462p.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. "Documentación. Presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación". Bogotá-Colombia: ICONTEC, 2005. 37p. (NTC 1486).

BANCOLOMBIA@. Proyecciones Macroeconómicas [En línea] [Citado Octubre 2008] Disponible desde internet: <http://www.bancolombia.com.co>

COLTEBIENES@. Arrendamiento Bodegas [En línea] [Citado Octubre 2008] Disponible desde internet: <http://www.coltebien.es>

SIAME@. Guías Ambientales. [En línea] [Citado Octubre 2008] Disponible desde internet: <http://www.siame.gov.co>

RSEpyme@. Buenas practica en el puesto de trabajo en el sector galvanotecnia. [En línea] [Citado Octubre 2008]. Disponible desde internet: <http://www.rsepyme.es>

EEPPM@. Tarifas de acueductos, alcantarillado y de energía. [En línea] [Citado Octubre 2008] Disponible desde internet: <http://www.eppm.com>

Lenntech@. Proveedor de los intercambiadores iónicos [En línea] [Citado Octubre 2008] Disponible desde internet: <http://www.Lenntech.com>

MONOGRAFIAS@. Definiciones sobre corrosión [En línea] [Citado Octubre 2008] Disponible desde internet: <http://www.monografias.com>

WIKIPEDIA@ Enciclopedia Virtual – [En línea] [Citado octubre 2008]. Disponible desde Internet: <http://es.wikipedia.org>

# **DISEÑO DE UNA CABINA INSONORIZADORA PARA EL GRUPO ELECTRÓNICO YS6000 REFRIGERADO POR AIRE**

**SEBASTIÁN MUÑOZ DÁVILA**

smunozda@eafit.edu.co

Departamento de Ingeniería Mecánica

**SANTIAGO MEJÍA LÓPEZ**

smejialo@eafit.edu.co

Departamento de Ingeniería Mecánica

**ÁREA DE ÉNFASIS**

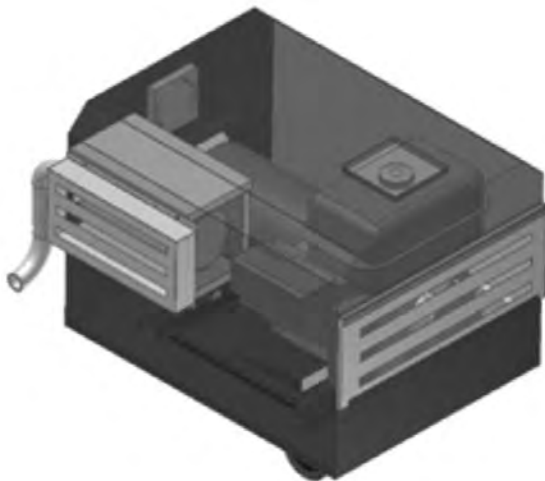
PLÁSTICO

**ASESOR PRINCIPAL**

JOHANNA IRIARTE LACERA

**EMPRESA BENEFICIADA**

EDUARDOÑO S.A.



## **RESUMEN**

El rediseño del generador YS6000 pensando en la insonorización del mismo, conlleva a adaptar el sistema a condiciones deseables o por lo menos aceptables de ruido que permitan la entrada del producto a un mercado desatendido en Colombia. Por medio de este nuevo sistema de generación de energía eléctrica insonorizado, se logrará incursionar con un producto de calidad y respaldo en un sector al que anteriormente era poco probable satisfacer.

El siguiente artículo expone el diseño realizado como también la validación de los resultados medido de acuerdo a las mediciones de potencia de ruido iniciales.

## **ABSTRACT**

The redesign of the generator YS6000 in order to get a less noisy equipment, makes to adapt the system to a desire conditions or at least acceptable level of noise which allows the product goes into a non-explored market in Colombia. Through this new system, less noisy, for getting electric power, it will break with a quality product and support in a sector that previously was unlikely to satisfy.

This article presents the design has been made, as well as, the validation of the results obtained at the end of the project compared with the initial noise power measured without cabin.

## **PALABRAS CLAVES**

Insonorización, potencia de ruido, cabina, decibel

## **KEY WORDS**

Soundproof, noise power, cabin, decibel

## INTRODUCCIÓN

El proyecto pretende dar respuesta a una necesidad puntual de reducción del ruido de los generadores EDO. Como resultado, el diseño y construcción de una cabina de insonorización responderá a las expectativas de la empresa que actualmente comercializa este tipo de grupos electrógenos y se convertirá en un producto de línea con miras a cubrir una demanda existente.

La cabina de insonorización se diseñará básicamente para las características funcionales del actual generador EDO YS6000. Se espera lograr con la misma una reducción cerca del 30% de la emisión de ruido que podrá variar de forma indiferente con miras a la conservación y buen funcionamiento del equipo.

## EVALUACIÓN DE CONDICIONES INICIALES

Para poder llevar a cabo el diseño del producto, es necesario inicialmente establecer las condiciones previas

del grupo electrógeno, como también los requisitos para el diseño de la cabina respectivamente.

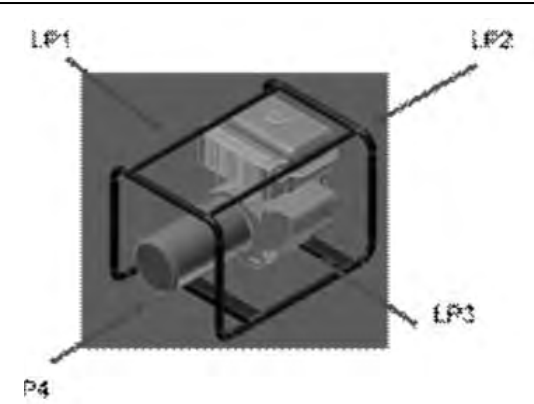
El grupo electrógeno o planta eléctrica está compuesto por:

- Motor Yamaha MZ360, refrigerado por aire. 4T Gasolina OHV. 78.2 dB(A) Nivel de ruido a 7m.
- Alternador Sawafuji 6500 W. 44 A.
- Tanque: 6.7 l.
- Marco metálico de protección y soporte.
- Exhosto tipo: Muffler tail pipe (7RK-14746-00).

Para conocer el nivel de ruido que genera la planta, se realizaron mediciones del nivel de presión sonora en escala (A) a un metro de distancia en cada una de las caras del equipo, utilizando un sonómetro digital marca "RADIOHACK". Sin embargo, es importante aclarar que el equipo entrega resultados en dB(A), pero la potencia sonora se mide en W (Watts).

FIGURA 1  
Mediciones de presión sonora a 1m de distancia en cada una de las cuatro (4) caras principales del generador

Abreviatura	Posición de Medición
LP1	Frente de la máquina
LP2	Lado izquierdo
LP3	Parte trasera
LP4	Lado derecho



El diagrama muestra un generador con un marco metálico. Se han marcado cuatro puntos de medición de ruido: LP1 en la parte frontal, LP2 en el lado izquierdo, LP3 en la parte posterior y LP4 en el lado derecho.

Los resultados obtenidos después de las mediciones fueron los siguientes:

TABLA 1. Condiciones iniciales de ruido del ambiente de planta de fabricación, nivel de ruido del generador con y sin carga

	Ruido de fondo (Ruido Ambiente) W	Sin cabina, con mofle en vacío W	Sin cabina, con mofle con carga W
LP1	1.58489E-05	2.51E-03	7.94E-03
LP2	1.58489E-05	3.16E-03	1.26E-02
LP3	3.16228E-05	3.16E-03	1.26E-02
LP4	3.16228E-05	3.98E-03	1.26E-02
LP medio	2.30675E-05	3.18E-03	1.13E-02

FIGURA 2. Ruido generado por el grupo electrógeno estudiado en vacío y en presencia de carga

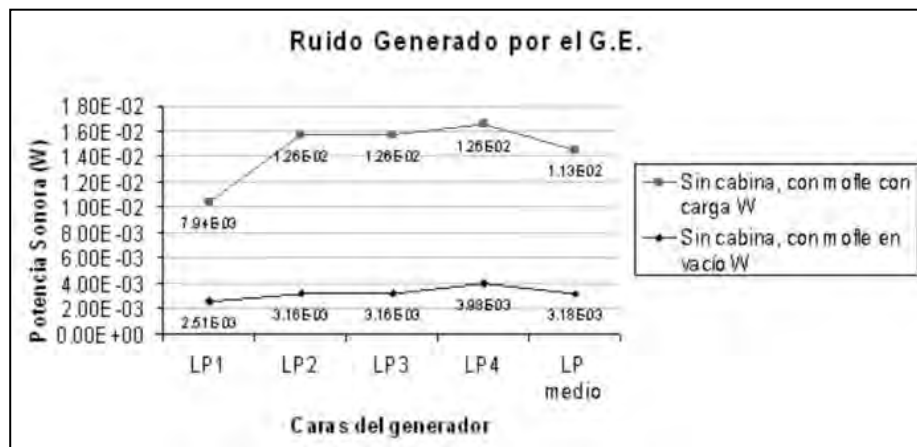


FIGURA 3. Principales fuentes de sonido

SISTEMA	TIPO DE RUIDO	POSIBLE SOLUCIÓN
Motor Yamaha MZ360	Mecánico	Cabina
Exosto	Neumático	Silenciador
Ajuste elementos de sujeción	Mecánico	Ajustar con tuercas de seguridad

La planta debió ser entendida como un sistema, para de este modo comenzar el proceso de diseño, como se muestra a continuación:

FIGURA 4. Sistema



## PROPUESTAS DE DISEÑO

Se presentaron cuatro propuestas de insonorización como se muestra a continuación:



TABLA 2. Ventajas y desventajas propuesta 1

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<p>Al hacer una cabina a la planta se aísla el ruido generado por el motor y por el exhosto.</p> <p>Se controlaría el ruido con materiales acústicos densos para poder generar un mayor aislamiento.</p>	<p>No se cumpliría con el requisito de renovación de aire para poder refrigerar el aire con el cual se controla la temperatura del motor.</p> <p>No es una alternativa clara ya que no existiría un aislamiento térmico.</p>



FIGURA 6. Propuesta 2

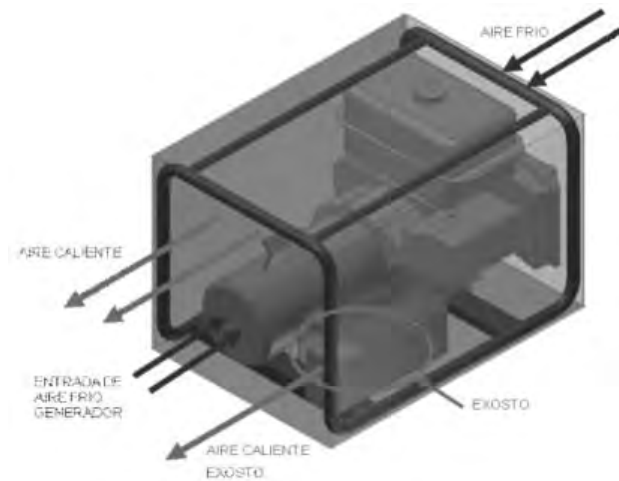


TABLA 3. Ventajas y desventajas propuesta 2

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Salida del aire caliente en la misma dirección.	Salida de aire caliente por toma de aire frío para el generador.
Menor temperatura al interior de la cabina.	Salida del ruido por los laterales.
	No hay control del ruido del exhosto.

FIGURA 7. Propuesta 3

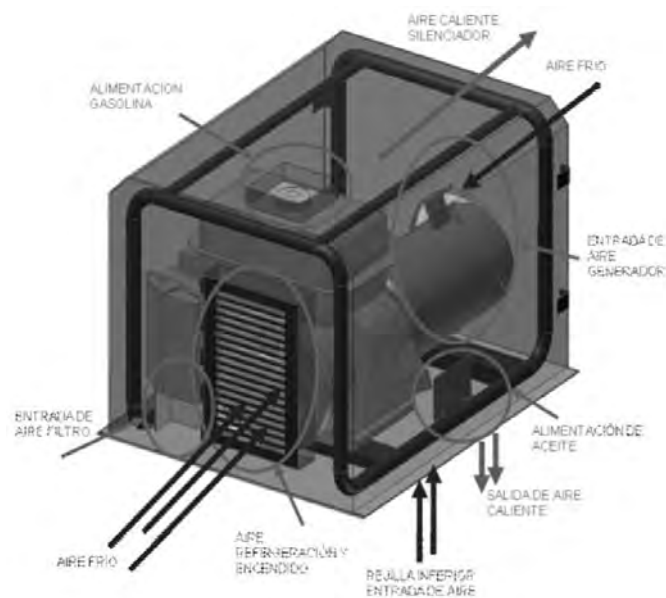


TABLA 4. Ventajas y desventajas propuesta 3

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Disminución del ruido generado por el exhosto, al cambiarlo por un silenciador.	Tiro natural del aire, puede tener restricciones de flujo y recalentarse.
Aislamiento acústico interiormente, permitiendo atrapar el ruido generado.	El carburador no tiene entrada de aire frío.
Flujo de aire al interior de la planta, permitiendo renovación del mismo.	
El filtro tiene entrada de aire constante.	

FIGURA 8. Propuesta 4

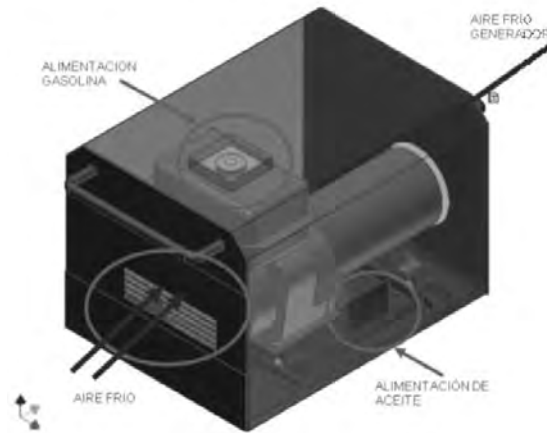


TABLA 5. Propuesta 4

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Disminución del ruido generado por el exhosto, al cambiarlo por un silenciador.	Possible inestabilidad al cambiar el chasis.
Aislamiento acústico interiormente, permitiendo atrapar el ruido generado.	Dimensionamiento del extractor de aire caliente.
Flujo de aire forzado al interior de la planta, permitiendo renovación del mismo.	
El filtro tiene entrada de aire constante.	
Disminución de materiales, por lo tanto costo.	

Para que proyecto fuera exitoso, se definieron unos criterios de éxito, de los cuales cada uno tenía una importancia según los requerimientos y deseos que se tuvieron contemplados. Por ello, se decidió escoger la matriz morfológica como método de selección a la mejor alternativa de diseño, así:

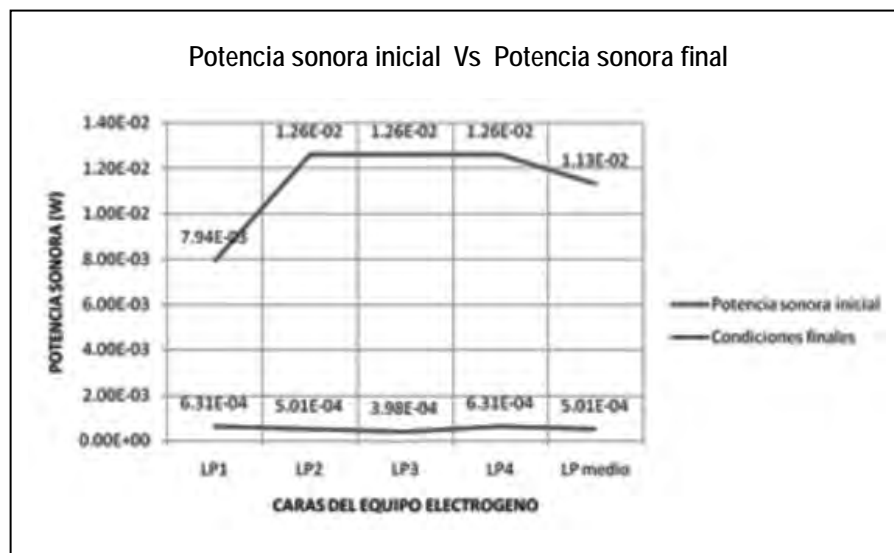
TABLA 6. Matriz morfológica de selección de alternativas

DESCRIPCIÓN	FACTOR DE PESO	ALTERNATIVA 1		ALTERNATIVA 2		ALTERNATIVA 3		ALTERNATIVA 4	
		PUNTAJE	PONDERADO	PUNTAJE	PONDERADO	PUNTAJE	PONDERADO	PUNTAJE	PONDERADO
		Fácil ensamble y desensamble	0,15	3	0,45	4	0,6	3	0,45
Cantidad de piezas para manufactura	0,2	4	0,8	3	0,6	2	0,4	5	1
Extracción de flujos de aire caliente	0,1	0	0	4	0,4	4	0,4	5	0,5
Visualmente estético	0,1	2	0,2	3	0,3	4	0,4	4	0,4
Fácil Transporte	0,1	2	0,2	3	0,3	3	0,3	3	0,3
Tratamiento de disminución de ruido (Cabina y silenciador)	0,25	3	0,75	0	0	5	1,25	5	1,25
Entrada de aire para refrigeración	0,1	0	0	4	0,4	5	0,5	5	0,5
SUMA	1		2,4		2,6		3,7		4,55

## VALIDACIÓN DE RESULTADOS

A continuación se muestra los resultados finales luego de haber realizado el diseño final, cumpliendo con el objetivo:

FIGURA 9. Validación de resultados



## **CONCLUSIONES**

El control del ruido es un problema crítico para empresas que se ven interrumpidas por el nivel de ruido de sus equipos ó máquinas, motivo suficiente para evaluar sistemas técnicos de ingeniería en el desarrollo de productos y herramientas que prevengan niveles sonoros superiores a los permitidos según la normatividad de seguridad industrial y ocupacional.

Se cumple satisfactoriamente con el diseño de la cabina insonorizadora, logrando una disminución del ruido con un porcentaje esperado, sin afectar los parámetros mínimos requeridos para el funcionamiento del grupo electrógeno.

Luego de evaluar las condiciones de la cabina insonorizadora construida, se aceptan los resultados obtenidos de la medición del ruido, teniendo en cuenta los decibelios hasta los que una persona normal puede estar expuesta.

Para garantizar un óptimo funcionamiento de la cabina insonorizadora, es posible verificar resultados mediante la comparación visual – auditiva del nuevo diseño, objeto del presente proyecto y el utilizado diariamente; donde se puede apreciar una gran diferencia en cuanto al control del ruido mostrando una disminución del mismo exitosamente expuesto en este caso.

El sonido o la propagación del mismo están dados por una relación logarítmica, lo cual demuestra que su reducción no es lineal. Disminuir un decibel es un valor muy grande y aun mas cuando se ha visto que la el oído del hombre percibe 2 puntos en un aumento de 10.

La validación de los resultados esperados es la calificación más importante y clara que se le puede dar a un proyecto. Esta validación depende de cómo se haya evaluado las condiciones iniciales para poder tener un referente y poder comparar los resultados contra ese mismo.

Parar alcanzar los criterios de éxito de un proyecto de este tipo, desarrollo de un producto no elaborado en la

industria Colombiana, es necesario el apoyo y soporte de la empresa privada, en este caso Eduardoño S.A., que ponga a disposición de la academia los recursos humanos, tecnológicos y de capital para desarrollar productos que hagan el mercado colombiano cada vez más competitivo.

Cuando se quiere dar solución a un problema actual de la industria, se debe tener en cuenta que incluir nuevos elementos al diseño pueden alterar el funcionamiento inicial del equipo. En este caso, la adición de la cabina evidenció restricciones de refrigeración, hizo necesaria la reevaluación estructural del chasis, además de la eficiencia del equipo como tal.

## **RECOMENDACIONES**

Explorar y estudiar el uso de otros materiales aislantes para la cabina de modo que se pueda obtener una insonorización más eficaz.

Ponerle al equipo el encendido automático para crear mayor hermeticidad, tal manera que el área para prender el generador pueda ser sellado y se le pueda poner material aislante.

Reemplazar el tanque de gasolina, mayor duración y una mayor autonomía. Además, si el tanque de gasolina es más grande permitiría que éste actuara como aislante del sonido también.

Estudiar el cambio del sistema de refrigeración, de este modo se podrían eliminar o reducir dramáticamente las entradas y salidas de aire a la cabina, las cuales son la puerta para el gran parte del sonido se salga. Así, se podría lograr hermeticidad y por lo tanto una mayor reducción del sonido.

Continuar con estudio para una mayor disminución de la potencia sonora, ya que entre más insonorizado se pueda desarrollar el equipo, más competitivo se hará en el mercado.

## **BIBLIOGRAFÍA**

(ENDRESS, 2000) ENDRESS. Industrial program 2000/2001: Generator, Power Supply Installations, Mobile Floodlight Installations, Engine Pumps, Mobile Heating Systems 2000. Revista ENDRESS.

(BEHAR, 1994) BEHAR, Alberto. "El ruido y su control". México. Trillas. 1994. ISBN 968-24-4727-5.

(ICONTEC, 1993) ICONTEC. Acústica: descripción y medición del ruido ambiental aplicación de los límites de ruido. Santa fe de Bogotá. 1993.

(MUNJAL, 1987) MUNJAL, M. Acoustics Of Ducts And Mufflers: With Application To Exhaust And Ventilation System Design. New York. John Wiley & Sons. 1987. ISBN 0471847380.

(HARRIS , 1991) HARRIS, D. "Noise Control Manual". New York. Van Nostrand Reinhold, 1991. 162p. ISBN 0442008511.

(FOREMAN, 1986) FOREMAN, J. "Sound Analysis and Noise Control". New York. Van Nostrand Reinhold, 1990. 461p. ISBN 0442319495.

(INCROPERA y DEWITT, 1999) INCROPERA, F y DEWITT, DAVID P . Fundamentos De Transferencia De Calor. 4 ed. Mexico: Prentice Hall, 1999. 886p. (.). ISBN 9701701704.

# **ANÁLISIS, FORMULACIÓN Y FASE INICIAL DEL PROBLEMA INVESTIGATIVO REFERENTE A LA RECUPERACIÓN DEL PLÁSTICO Y EL ALUMINIO DE LOS ENVASES POSCONSUMO DE TETRAPAK**

JAIRO GOAR MEZA VALENCIA

jmezaval@eafit.edu.co

Departamento de Ingeniería Mecánica

CARLOS FERNANDO CADAVID RESTREPO

carlos.cadaavid@cnpml.org

Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS

GESTIÓN DE PROYECTOS

ASESOR PRINCIPAL

CARLOS FERNANDO CADAVID RESTREPO

SECTOR BENEFICIADO

SECTOR DE ENVASES Y EMBALAJES

UNIVERSIDAD EAFIT



## **RESUMEN**

Fase inicial de investigación teórica, práctica y experimental alrededor de la gestión económica, social y ambientalmente sostenible en Colombia, de los residuos del material laminado de plástico (polietileno de baja densidad) y aluminio que conforman internamente los cartones para bebidas (envases asépticos o larga vida que producen mayoritariamente empresas como Tetra Pak) y los cuales quedan después de un proceso inicial de hidropulpeo que extrae el cartón o fibra celulósica de estos envases, y el cual equivale siempre a su componente más abundante de conformación.

Después de un proceso de investigación teórico profundo, se logra referenciar minuciosamente información clave en lo concerniente a la producción y gestión post consumo de estos envases multicapa tanto a nivel local como internacional. Seguidamente se realizan una serie de entrevistas y visitas técnicas a personas y empresas que conforman algún eslabón del ciclo de vida de esta tipología de envases, en ciudades como Bogotá, Medellín y Cartago en el ámbito colombiano y Sao Paulo y Piracicaba en el ámbito transnacional (Brasil), además de participar en una feria y un seminario internacional sobre las últimas tendencias en tecnologías de reciclamiento a nivel internacional en Sao Paulo, Brasil, donde Tetra Pak mostró y habló de las últimas tecnologías que han desarrollado en la gestión de los residuos de sus envases.

Posteriormente se hace un amplio compendio del estado de la técnica, en lo relacionado a las tecnologías hasta el momento existentes a nivel mundial para realizar algún tipo de procedimiento con miras a gestionar los residuos en cuestión, investigación teórica que forma las bases para comenzar una experimentación práctica seria a nivel de

laboratorio, donde algunos grupos de investigación de la Universidad EAFIT desempeñaron un gran papel, y que logra concluir a cerca de un método químico práctico, de posible implementación a nivel industrial, para realizar la separación del polietileno y el aluminio del laminado interno de los envases de cartón larga vida. Finalmente y con toda la información y experiencia acumulada y con base en la tecnología de separación investigada y comprobada, se realiza un estudio de perfil del proyecto empresarial, donde resalta positivamente su factibilidad financiera.

## **ABSTRACT**

Initial phase of theoretical, practice and experimental research, about the economic, social and environmentally sustainable management in Colombia, of the waste material laminated of plastic (LDPE) and aluminum that make up internally the beverage cartons (aseptic or long life packaging that produce mostly companies like Tetra Pak) and which remain after an initial process of hidropulping that extracts cardboard or cellulosic fibers such packages, and which always equates to their most abundant component of conformation.

After a process of deep theoretical research, it achieves to reference key information carefully about the production and management of these post consumer multilayer packaging both locally and internationally. After that, it makes a series of interviews and technical visits to companies and people that form some link in the life cycle of this type of packaging, in cities like Bogota, Medellin and Cartago in the area of Colombia and Sao Paulo and Piracicaba in the transnational area ( Brazil), in addition to participating in a fair and an international seminar on the latest trends in technologies for recycling at the international level in Sao Paulo, Brazil, where Tetra Pak showed and spoke about latest technologies that it has developed in the management of its waste packaging.

It was subsequently made an extensive compendium of prior art, as it relates to technology so far available globally to make some kind of procedure in order to manage the waste in question, theoretical research that forms the foundation to begin a serious practice experimentation at the laboratory, where some research groups at the

EAFIT University played a big role, and that achieves to conclude about a practical chemical method, of possible implementation at industrial level, to carry out the separation of polyethylene and aluminum of the internal laminated of the long life cartons. Finally, and with all the information and experience accumulated and based on the investigated and verified separation technology, it makes a profile study of the business project, which highlights its positive financial feasibility.

## **PALABRAS CLAVE**

Envases larga vida, envases asépticos, cartón de bebidas, envases multicapa, reciclaje, Tetra Pak, separación de materiales que conforman envases multicapa, tecnología de plasma térmico, hidropulpeo.

## **KEY WORDS**

Long-life packaging, aseptic packaging, beverage cartons, multilayer packaging, recycling, Tetra Pak, separation of materials that make up multilayer packaging, thermal plasma technology, hidropulping.

## **INTRODUCCIÓN**

En los últimos años la utilización de empaques multicapa, principalmente el Tetra Pak, para el envasado de productos líquidos como la leche, sopas, vinos, jugos, entre otros; ha venido creciendo aceleradamente dadas las características de higiene y salubridad que le provee al producto que contiene, gracias a sus características asépticas y herméticas, además de aumentar significativamente la durabilidad sin la necesidad de refrigeración lo cual supone grandes ahorros energéticos y excelentes comodidades para su transporte. Otro tópico que ha masificado este tipo de envases es su versatilidad a la hora de ser transportados sin contenido (en rollos), o con el producto ya envasado, dado el bajo peso del empaque, su forma y finalmente su excelente resistencia física.

A pesar de todos los beneficios que estos empaques poseen, han creado también un inmenso problema ambiental, que dada la masificación de su utilización, se

ha venido develando desde hace ya algunos años y aunque paulatinamente con la aparición del problema han aparecido también posibles soluciones, la mayoría de estas no le han dado solución definitiva sino que han retrasado el problema ambiental. Conociendo lo arriba expuesto el problema investigativo al que se dará inicio con el desarrollo del proyecto de grado, se refiere o se enmarca en la búsqueda de alternativas para la recuperación o el reciclaje de los dos componentes de los envases de Tetra Pak que aún en Colombia y en casi todo el mundo se reciclan conjuntamente; después de haber reciclado su componente más abundante (cartón), a saber: el plástico y el aluminio, que aunque conforman solo el 20% y el 5% respectivamente, de la totalidad del envase, al ser aprovechados por separado suponen un beneficio significativamente mayor tanto ambiental como económico.

Paralelo al trabajo investigativo al que se dará inicio con el desarrollo del proyecto, se realizará también un estudio de perfil de un proyecto empresarial que se fundamente en la tecnología investigada o en su defecto, por la no finalización del problema investigativo dentro del tiempo estipulado para el desarrollo del proyecto de grado, en la adaptación de la única tecnología que actualmente hace posible la recuperación de los materiales en cuestión, el plasma térmico, de origen brasilero.

## **MARCO DE REFERENCIA**

Tetra Pak fue fundada en Lund, Suecia en el año 1951 por Ruben Rausing y Erik Wallenberg quienes comenzaron ofreciendo un revolucionario envase de cartón para guardar y transportar leche. En 1961, durante una conferencia de prensa en Thun, Suiza, Tetra Pak presenta el primer envase de cartón aséptico del mundo combinando la tecnología de envasado sueca, con el proceso de esterilización suizo, siendo esta la primera máquina aséptica envasadora de

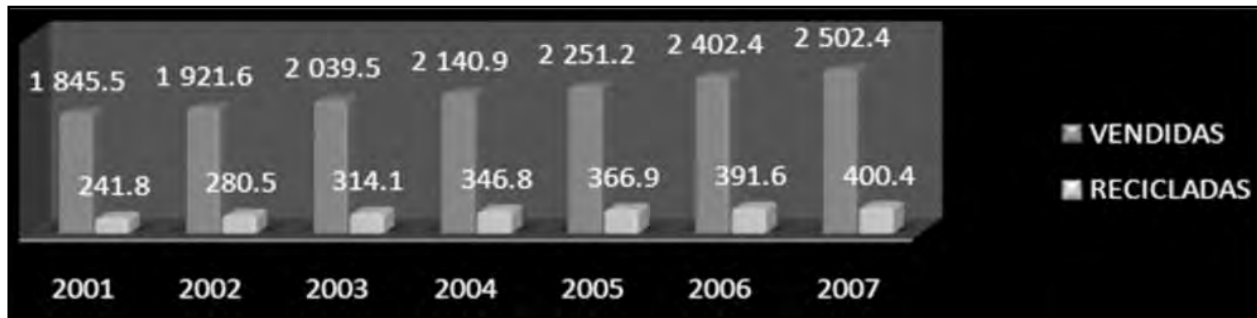
leche libre de bacterias a nivel mundial. Esto permitió que los alimentos duraran meses envasados, protegiendo la calidad nutricional de su contenido sin necesidad de conservantes artificiales ni refrigeración, hecho que facilitó su distribución a escala global. A finales del último siglo se declaró la tecnología aséptica (que combina el tratamiento UHT con el sistema de envasado aséptico) como el mayor avance de la ciencia alimenticia del último siglo por el instituto de mayor credibilidad en ese sector a nivel mundial.

Actualmente la multinacional cuenta con varias unidades de negocio entre las cuales las soluciones de envasado siguen siendo su principal estructura, y entre esas soluciones el envase aséptico el producto más abanderado de esta compañía. La aceptación del tetrabrik responde, principalmente, a razones económicas. Para los fabricantes la ventaja es que les permite transportar un producto líquido, a punto de ser vendido, en un 95% del total de la carga. Para los distribuidores y los comerciantes es ahorro en el espacio de almacenamiento ya que el material multicapa antes de envasar el producto a contener, es transportado en bobinas o arrollado optimizando de manera espectacular los costes del transporte del envase vacío; después de envasado el producto, debido a la forma cuadrada de casi todos los envases, facilitan una acomodación óptima para el transporte de los productos al no desperdiciar espacio de carga y almacenamiento.

Al consumidor le permite adquirir alimentos líquidos básicos en un envase que los conserve durante mucho tiempo y que, además, sea resistente a los golpes. El peso del envase representa sólo un 3% del peso del producto envasado. En un huevo, la cáscara pesa un 10% del contenido total. Esto supone un ahorro en el consumo de energía durante el transporte. Algunas cifras importantes de referenciar a escala mundial de la multinacional pueden observarse en las siguientes figuras.

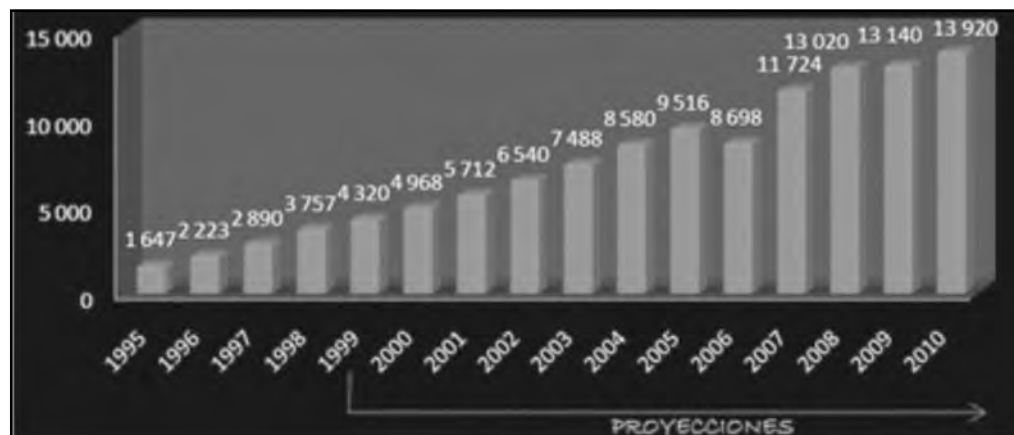


FIGURA 1  
Cantidad de residuos de envases generada vs. Cantidad reciclada (miles de toneladas)



En Colombia algunas cifras importantes se ven a continuación.

FIGURA 2  
Cantidad de residuos de envases generados en Colombia (toneladas)



## ENTREVISTAS, VISITAS TÉCNICAS, FERIAS Y SEMINARIOS

La metodología principal de este proyecto de investigación en su fase inicial, que se emprende con el trabajo de grado en desarrollo, planteó desde su fase de anteproyecto tener como metodología principal las entrevistas y las visitas técnicas a personas y empresas relacionadas con el sector de los embalajes, la gestión de residuos o su reciclaje, principalmente de los envases larga vida producidos por la empresa transnacional Tetra Pak, siendo conscientes que solo a través de este contacto directo se podrían establecer bases sólidas para un proyecto de tal envergadura.

Así pues, no solo se tuvo la oportunidad de visitar las principales empresas colombianas con tecnología disponible para reciclar o aprovechar los residuos de los envases asépticos como Carficol y Representaciones industriales Orión, al igual que realizar importantes entrevistas a personas como Juan Carlos Moya Gutiérrez, gerente de programas ambientales y sociales de Tetra Pak Colombia y Ecuador, sino también que se lograron palpar de cerca las experiencias alrededor de todo el clúster de los envases larga vida de Tetra Pak en uno de los países que más produce este tipo de embalajes, como lo es Brasil, gracias a la participación en el "III seminario internacional sobre reciclaje y III muestra de las mejores prácticas latinoamericanas: Reciclando nuestro compromiso con el medio ambiente.

*Sao Paulo, Brasil", durante el cual pudieron observarse todas las tecnologías disponibles actualmente para el reciclaje de los residuos de los envases de Tetra Pak, al igual que pudo conocerse casi la totalidad de la cadena que gestiona este tipo de residuos en el estado de Sao Paulo, desde un centro de acopio, pasando por los almacenes de cadena que lo distribuyen e incentivan su recolección posterior al consumo, hasta las fabricas en las cuales, mediante tecnología de punta, realizan el reciclaje completo de estos embalajes como lo son Klabin y EET Brasil Aluminio e Parafinas.*

## **ESTADO DE LA TÉCNICA**

Las tecnologías existentes actualmente para realizar algún procedimiento de gestión sobre los residuos de los envases asépticos o larga vida se enumeran y clasifican a continuación.

### **Tecnologías para procesar el material multilaminado con sus tres componentes de conformación**

Procesos que realizan algún tipo de separación de los materiales componentes (papel, plástico y aluminio).

- Separación parcial. Hidropulpeo y tromel desfibrador.
- Separación total. Solución química, enzimática o sintética, abrasión en seco y delaminación.

Procesos que no realizan separación alguna de los materiales componentes (papel, plástico y aluminio). Laminas aglomeradas y uso como combustible alternativo.

### **Tecnologías para procesar solo el material polialuminico**

Procesos que realizan la separación total del polietileno y el aluminio.

- Pirolisis. Horno de soleras (patente española) y tecnología de pirolisis por microondas (patente estadounidense).
- Gasificación (patente finlandesa).
- Plasma.

Procesos que tratan el polietileno y el aluminio de forma conjunta. Conformación de Tejas, Conformación de piezas plásticas y de madera sintética y el uso como combustible alternativo.

## **PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL**

Después de realizar dos experiencias de laboratorio satisfactorias en las cuales se utilizó una solución enzimática para realizar la separación de la totalidad de los componentes de los envases y en la otra un agua termal o volcánica para degradar el aluminio del laminado polialuminico, se llegó a este tercer enfoque que fue el que mejor y más satisfactorios resultados arrojó.

Separación de capas del material polialuminico mediante solvente químico. Este enfoque experimental es aquel que mejores resultados ha producido y por tanto es una metodología que se ubica como un referente de investigación en etapas venideras del proyecto. A este procedimiento experimental se llegó gracias a la experiencia en la separación de materiales multilaminados de un grupo investigativo de la universidad, el cual había tenido experiencias positivas dividiendo un envase conformado por una capa de poliamida y otra de polietileno de baja densidad. Fue a partir de aquel procedimiento que se encontraron las analogías pertinentes, para el caso del multilaminado de polialuminio de los envases de Tetra Pak, y se pudo diseñar un solvente y un procedimiento a escala de laboratorio y otro a un nivel superior que realizara el procedimiento de separación de tal material multicapa, que como se sabe es el interés principal del proyecto en desarrollo.

El experimento se realizó bajo la hipótesis inicial de que el solvente químico que se utilizaría durante el procedimiento disolvería, atacaría y/o degradaría el enlace adherente, es decir, el adhesivo o resina utilizado en el proceso de conformación del material multicapa de Tetra Pak, para mantener unidas las diferentes laminas de que se compone. Una vez disuelto el enlace entre las capas adyacentes del polietileno y el aluminio se tendría resultado, al menos en primera instancia, el problema investigativo que se afronta, ya que restaría una etapa de clasificación final que depure

separadamente el aluminio y el polietileno de baja densidad limpio y seco.

Vale la pena mencionar, como un interrogante en proceso de resolución, que la hipótesis anterior se fundamenta en el supuesto de la existencia de una resina como agente adherente entre las tres capas del laminado que se investiga, sin embargo no se tiene certeza de su presencia ya que no se ha podido realizar, hasta el momento, el análisis de laboratorio respectivo, aunque según la información que brinda Tetra Pak sobre su proceso de conformación del envase, no hace referencia en ningún momento a la utilización de alguna resina como adherente, debido a que su agente adhesivo es la propia lámina de polietileno de baja densidad utilizada, la cual alcanza algún grado de fusión durante el proceso de termo laminación facilitando la unión de la totalidad de las capas restantes.

## **ESTUDIO DE PERFIL DEL PROYECTO**

El estudio de perfil se basó en todas la experiencias recogidas a lo largo del desarrollo del proyecto, y los datos que se utilizaron para realizar el estudio de factibilidad financiera surgieron en su mayoría de las visitas técnicas y las entrevistas realizadas, es decir fruto del gran acercamiento que se realizó al ciclo de vida de esta tipología de envases. Es de resaltar que este estudio de perfil tomo como referencia técnica la solución investigada a nivel de laboratorio, pero escalada a nivel industrial previendo todas las condiciones y costos respectivos.

El proyecto empresarial que se propone gestiona mediante el reciclaje, en el sentido ortodoxo de la palabra, el material residual o el rechazo de los procesos de hidropulpeo de los residuos post industriales y post consumo de los envases asépticos que produce la multinacional Tetra Pak, es decir, el laminado de polietileno y aluminio; realizando la división o separación de las tres capas de ese material (dos de polietileno de baja densidad y una de aluminio), a través de una tecnología química desarrollada, con el objetivo de reintroducir esas materias primas, que hasta ese momento se consideraban como basura, al inicio del ciclo de vida de productos que requieran la utilización de

estos materiales. El proyecto es de carácter privado y los bienes que se ofrecen son chatarra de aluminio virgen, sin aleaciones y puro y polietileno de baja densidad laminado limpio y virgen.

## **CONCLUSIONES**

La selección del mejor método y de la tecnología apropiada para gestionar los desechos o residuos de los envases depende en gran medida de condiciones locales como las distancias de transporte, sistemas de recolección, mercados para los materiales recuperados, legislación, cultura, entre otros. Por lo anterior en algunos países el método de gestión más apropiado es la recuperación del valor energético del residuo otorgado por sus materiales de composición.

A pesar de los esfuerzos para reciclar materiales laminados de este tipo, la mayoría terminan su vida útil en rellenos sanitarios, lo cual refleja que permanece la necesidad de un método a escala industrial mas practico y que suponga mayor relación beneficio costo a la hora de reciclar este tipo de materiales.

Los bajos porcentajes de reciclaje (en Colombia para el 2008 es del 10%), se atribuye, principalmente a la falta de información en la comunidad sobre los beneficios de la reutilización de estos productos, la inexistencia de sistemas de recolección selectiva, los altos costos de recolección, el bajo precio de los materiales reciclados y la escasa incorporación del tema en los programas de educación, entre otros.

Los pasos a seguir en dirección al éxito de la propuesta química de división multilaminar son claros. Debe realizarse una etapa experimental de testeo a mayor escala, es decir, una prueba piloto, pero que incluya necesariamente, no solo la etapa inicial de división de las capas del material gracias a la degradación del agente adherente que las une, sino también una fase posterior de separación y clasificación de ambos materiales, que no suponga un incremento desmedido en los costos de tratamiento, como por ejemplo procedimientos ciclónicos, de sedimentación, de centrifugación, etc. Igualmente es esencial realizar una

caracterización inicial del aluminio que se obtuvo a través de esta técnica, para tener certeza de su no degradación ni alteración física o química, y asegurar de esta manera la calidad del material metálico que se recupera individualmente.

A nivel económico una variable que puede ser decisiva, es el beneficio tributario que proyectos verdes, como el que se presenta, obtienen una vez se encuentren funcionando, además de los incentivos y facilidades de financiación que otorgan numerosas entidades comprometidas con la causa ambiental, motivo por el cual el entorno ambiental se tiene, en su totalidad, a favor del proyecto empresarial.

Si la propuesta que se presenta se convierte en una realidad empresarial, que de hecho es el objetivo primordial en las siguientes etapas del proyecto, el porcentaje de recolección de los residuos de los envases multicomponentes aumentará significativamente, debido al incentivo que representa la rentabilidad económica de recuperar sus materiales, rentabilidad que se transmitirá al resto de la cadena del reciclaje de estos desechos, llegando hasta su base, o sea hasta el recolector primario o reciclador, quien motivado por el buen precio del residuo se asegurará de recoger todo el material que le sea posible. En lo anterior se refleja el beneficio social y ambiental del proyecto.

Cada una de las experiencias realizadas a nivel de laboratorio fueron fructíferas y cada una de ellas sirvió como un punto de partida para la siguiente, por lo cual la experimentación que se realizó se caracterizó por ser una evolución paulatina en la cual se llegó a un procedimiento exitoso, de posible implementación industrial, gracias a que aquellos procedimientos experimentales que lo antecedieron sirvieron como referentes esenciales en la construcción, diseño y definición del proceso más pertinente. La metodología de tratamiento más acertada en lo referente a la separación de las capas de polietileno y aluminio, teniendo en cuenta las condiciones colombianas de generación y recolección de residuos, que sitúan al país como uno de bajos volúmenes de generación y recolección, se fundamenta o tiene como condición esencial la simplicidad o practicidad a la hora de ser llevada a cabo a nivel industrial, para que de esta manera suponga una buena rentabilidad y asegure una estabilidad en el tiempo

que le permita seguir cumpliendo o realizando el beneficio ambiental, sosteniblemente; y esta última palabra incluye no solo la sostenibilidad económica del proyecto, sino también su sostenibilidad ambiental y social.

## **BIBLIOGRAFÍA**

BEJARANO SUAREZ, Fernando, et al. Composición y método para la separación de las diferentes capas que compone los envases de larga vida. Inventores: FERNANDO BEJARANO SUAREZ et al. Int. C12N 9/26, 9/42, C08J 11/18. Fecha de solicitud: 31 de mayo del 2000. Colombia. WO 02/002679 A3. 10, enero, 2003.

BOADA ORTIZ, Alejandro. El reciclaje, una herramienta no un concepto. Reflexiones hacia la sostenibilidad. Universidad Externado de Colombia, centro de gestión ambiental. Bogotá. [s.n.]. 2003. 25 p.

CAMBRIDGE UNIVERSITY TECHNICAL SERVICES LIMITED. Microwave induced pyrolysis reactor and method [reactor y método de pirólisis inducida por microondas]. Inventores: CARLOS LUDLOW-

PALAFX Y HOWARD ALLAKER CHASE. Int. B01J 19/12, C10B 53/00, 19/00. Fecha de solicitud: 22 de diciembre del 2003. Estados Unidos. WO 2005/061098 A1. 7, julio, 2005.

CORENSO UNITED OY LTD. Liquid carton waste material recycling process and apparatus for recycling liquid carton waste material [Reciclaje de material residual de carton para líquidos proceso y aparato para reciclar material residual de carton para líquidos]. Inventores: JORMA NIEMINEN, et al. Int. F23G 5/02, F23K 1/00. Fecha de solicitud: 12 de agosto del 1998. Finlandia. WO 00/09771. 24, febrero, 2000.

"Para reciclar embalagens tipo longa. [actividades de reciclaje de envases larga vida en Brasil] [online]. Brasil: Celulose online, 3 de diciembre del 2003 [citado el 29 de marzo del 2008]. Texto en portugués. Disponible en internet: <<http://www.celuloseonline.com.br/pagina/pagina.asp?IDItem=2343&IDNoticia=1219%3E>>

BEFESA. Tratamiento térmico de residuos. [online]. [citado el 28 de junio del 2008] Disponible en internet: <[http://www.ocme.es/Befesa\\_Ja...pdf](http://www.ocme.es/Befesa_Ja...pdf)>

CONSEJO EMPRESARIAL COLOMBIANO PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE. "Aprovechamiento de los residuos de los empaques Tetra Pak" [online]. Colombia: 1998 [citado el 25 de febrero del 2008]. Disponible en internet: <<http://cecodes.org.co/ecoeficiencia/1998/tetrapak.htm>>

ECOAMÉRICA. Nuevas posibilidades para el reciclaje de envases multicapa. Chile: 2006. [citado el 11 de mayo del 2008]. Disponible en internet: <<http://www.ecoamerica.cl/sitio/index.php?area=163>>.

# RECONVERSIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DE UN ROBOT TIPO SCARA

JAIME ANDRÉS FLÓREZ ESCOBAR

jfloreze@eafit.edu.co

Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS

DISEÑO DE SISTEMAS TÉCNICOS

ASESOR PRINCIPAL

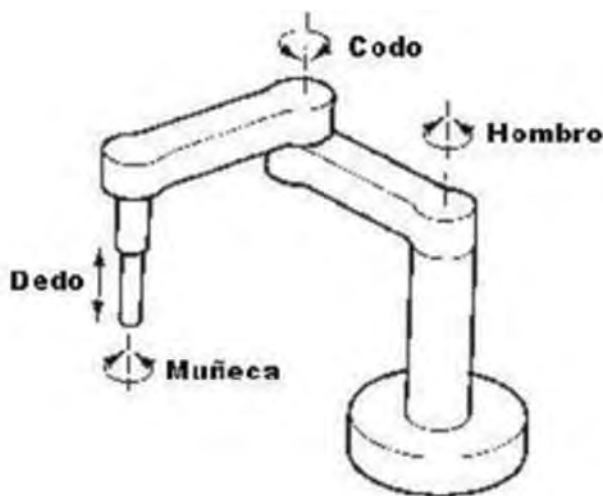
ANDREW MARK BAILEY

CO-ASESOR

ALEJANDRO RUIZ GIL

SECTOR BENEFICIADO

UNIVERSIDAD EAFIT



## RESUMEN

El objetivo de este proyecto es realizar un proceso de reconversión a un robot tipo SCARA que se encuentra en el laboratorio de Mecatrónica de la Universidad EAFIT. La meta es volver al robot a un estado totalmente funcional y que además, pueda ser programado desde un programa computacional. Para esto, componentes de control marca Geckodrive y el software Mach3 Mill de Artsoft son utilizados en el sistema de control,

## PALABRAS CLAVE

Reconversión, robot SCARA, Geckodrive, Mach3 Mill, sistema de control.

## ABSTRACT

The purpose of this project is a restructuring process applied to a SCARA Robot that is located in the Mechatronics Laboratory of the EAFIT University. The goal is to put the robot into a full functionality state and that the robot can be programmed using PC Software. To achieve this, Geckodrive control components and Artsoft's Mach3 software are used in the control system.

## KEY WORDS

Restructuring, SCARA robot, Geckodrive, Mach3 Mill, control system.

## INTRODUCCIÓN

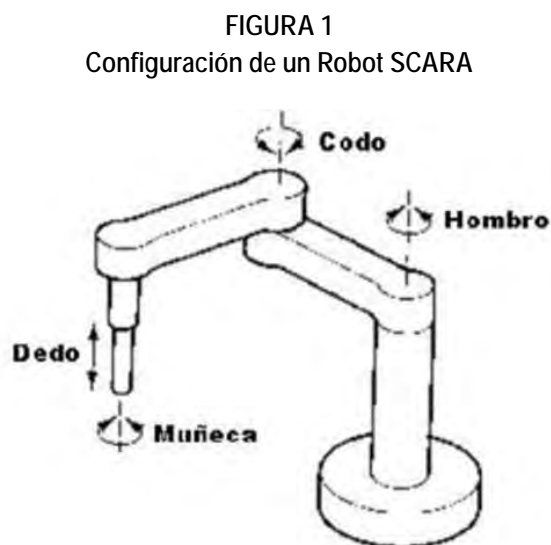
La reconversión de equipos es un procedimiento que ha sido aplicado en mucho tipo de máquinas, entre ellas los robots. La reconversión implica la adaptación, mejora, refacción y actualización de componentes que se encuentran deteriorados o descompuestos en las máquinas.

La reconversión se basa en el aprovechamiento de los componentes de una máquina que puedan encontrarse en buen estado a pesar de que su condición general no sea la mejor. Esto implica grandes ventajas desde el punto de vista de los costos y los tiempos requeridos para poner la máquina en funcionamiento.

## EL ROBOT SCARA

El nombre SCARA es el acrónimo de Selective Compliant Assembly Robot Arm o Selective Compliant Articulated Robot Arm (PEAK@2008) lo que se traduce como Brazo Robótico de Ensamble de Respuesta Selectiva o Brazo Robótico Articulado de Respuesta Selectiva. Son robots de cuatro ejes, que están dispuestos paralelamente entre sí. La ubicación del punto extremo del robot en el plano se logra mediante la rotación de dos de sus ejes y la ubicación vertical se logra por el desplazamiento lineal de un tercero. El cuarto eje generalmente brinda rotación en el eje z del eje de posicionamiento o Dedo.

La similitud de este tipo de robots con un brazo humano, hace que sus articulaciones sean generalmente nombradas haciendo alusión a la anatomía humana, por lo que el eje de rotación principal se denomina Hombro, el siguiente se denomina Codo, el actuador que permite el giro sobre el eje z se denomina Muñeca, y el del desplazamiento lineal en z se denomina Dedo como se muestra en la figura 1.



ROBOTS@2008

## EVALUACIÓN Y ADECUACIÓN DEL ROBOT

El cumplimiento de uno de los objetivos del proyecto, requiere que al robot se le realice una evaluación de la condición de sus sistemas, esto brinda un punto de partida, y da un indicio de las actividades que deben realizarse para llevar todos estos sistemas a un estado de funcionamiento total. Los sistemas que deben verificarse se dividen en dos grandes grupos, sistemas mecánicos y sistemas eléctricos.

### SISTEMAS MECÁNICOS

La evaluación de los componentes mecánicos se hace por inspección visual, detección de vibraciones y ruidos irregulares en las articulaciones del robot. Con esto se busca detectar niveles elevados de deterioro en alguna o algunas de las partes que puedan afectar el buen desempeño del robot.

La estructura del robot en su gran mayoría está conformada por piezas de fundición con su superficie pintada. Esto da un alto nivel de certeza en la conformidad geométrica del robot por la robustez y resistencia de estos componentes. Ante una inspección visual rápida, los componentes evidencian una buena condición.

La evaluación de los sistemas de transmisión del robot, se realizan básicamente de forma visual. En el robot hay diferentes tipos de sistemas de transmisión: cajas reductoras, bandas y tornillos de bolas. Todos estos sistemas se encuentran en buena condición y no requieren más que un engrase general de las partes móviles.

### SISTEMAS ELÉCTRICOS

Otro aspecto a evaluar en la condición del robot, consistió en la revisión del funcionamiento de los sistemas eléctricos con los que cuenta el robot. Estos, se pueden dividir en sensores, actuadores y fuentes de poder. El funcionamiento de todos estos elementos depende de todo un cableado, cuyo estado se evalúa de forma simultánea con cada uno de los componentes.

El funcionamiento de los cuatro motores del robot es correcto. Cada uno de estos tiene acoplado un encoder encargado de detectar el giro de los mismos. Uno de los encoders no funcionaba de forma correcta y fue necesario su reemplazo. El robot además cuenta con sensores de temperatura en los motores, microswitches de fin de carrera y sensores tipo herradura cuyo funcionamiento es correcto.

## DESARROLLO DE COMPONENTES ELECTRÓNICOS

Los elementos electrónicos que fueron desarrollados para recuperar la funcionalidad total del robot fueron una tarjeta rectificadora, una tarjeta de expansión de conector Ribbon de 40 pines, y una tarjeta de relés. A continuación se detalla cada uno de estos elementos y su función en la operación del robot.

La tarjeta rectificadora se muestra en la figura 2 y tiene como función tomar el voltaje AC entregado por el transformador que recibe 220 VAC bifásicos, y convertirlo en voltaje DC que sirve para alimentar cada uno de los motores del robot. Esta tarjeta reúne las cuatro fuentes de poder para los cuatro motores del robot, y cuenta con 4 puentes rectificadores, 16 condensadores, 4 fusibles y 4 LED. La tarjeta funcionó de forma correcta por un tiempo, pero los condensadores empezaron a fallar y los fusibles se quemaban con frecuencia. Por esto se tomó la decisión de reemplazar este sistema por fuentes comerciales, que no han presentado falla alguna.

FIGURA 2

Imagen de la tarjeta fuente rectificadora



Cortesía Lab. Mecatrónica. Universidad EAFIT. 2008

Las señales de control que intervienen en el funcionamiento del robot, como las de los encoders, switches de fin de carrera y sensores de home, se llevan desde su ubicación física en el robot hasta el gabinete donde se ejecuta el control a través de un conjunto de cables que termina en un conector hembra DB50. En una tarjeta electrónica que hacía parte del control original del robot, algunas de estas señales se puentean y se llevan a un conector ribbon de 40 pines. La tarjeta de expansión del conector Ribbon que se muestra en la Figura 3 se desarrolló para poder manejar de forma independiente cada una de estas señales, y llevarla al componente del sistema de control donde sea requerida.

FIGURA 3

Tarjeta de expansión Ribbon 40 Pines

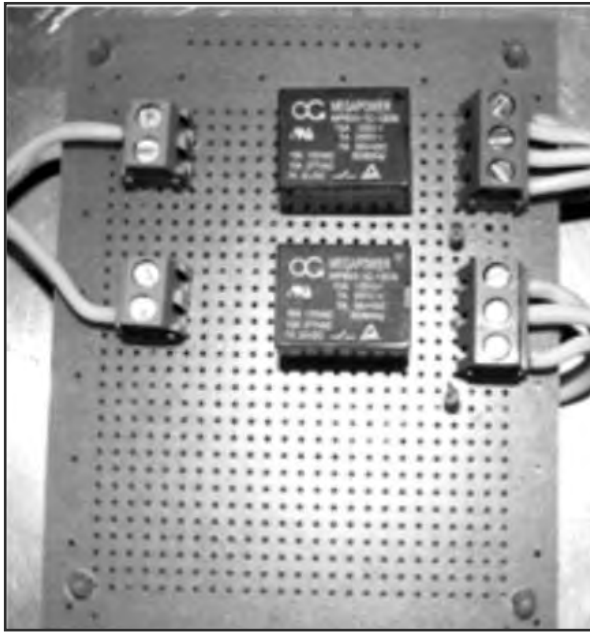


Cortesía Lab. Mecatrónica. Universidad EAFIT. 2008

La tarjeta de relés se desarrolló de forma provisional, ya que de acuerdo a la aplicación específica que se le da al robot, será necesario añadirle más elementos para el control del encendido de la herramienta que se le instale, por ejemplo un cortador de plasma, una fresadora, etc. En la condición actual, esta tarjeta permite que la indexer y los drivers reciban una señal cuando se presenta un paro de emergencia, ya sea por la activación manual por parte del operario, o porque un eje activó un microswitch de fin de carrera. En la figura 4 se muestra la tarjeta ensamblada e instalada en el sistema de control del robot.



**FIGURA 4**  
Tarjeta de relés



Cortesía Lab. Mecatrónica. Universidad EAFIT. 2008

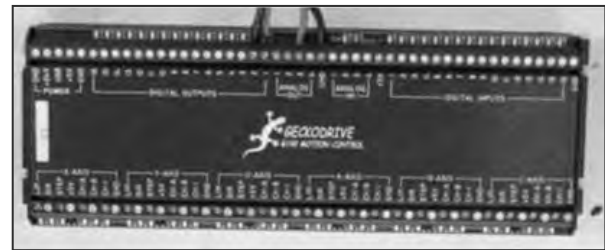
## HARDWARE DE CONTROL

El hardware de control es el factor que más influyó la realización de este proyecto, pues fue eliminado completamente del robot original, y por esto fue necesario reemplazarlo por completo. Desde el comienzo del proyecto se sabía con exactitud los elementos que se utilizarían para este fin, y son, una Indexer marca Geckodrive y referencia G-Rex G100 Y cuatro drivers también marca Geckodrive y con referencia G340 para motores DC.

**INDEXER GECKODRIVE G-REX G100:** La G-Rex G100, que se muestra en la figura 5 es un controlador de movimiento de 6 ejes, que usa la comunicación vía USB o Ethernet. Para cada uno de los ejes, la G-Rex genera una serie de pulsos cuadrados cuya cantidad y frecuencia determina cuánto y qué tan rápido se mueve el motor asociado a través del respectivo driver esta señal se denomina paso. Genera también una señal que determina en qué dirección debe girar el motor, esta recibe el nombre

de dirección La Indexer recibe también la señal de los encoders, pero únicamente para llevar la información de la posición al software de control. (GECKO1@2008). La indexer conforma un eslabón para la comunicación entre el computador y los componentes encargados del control de los motores denominados drivers. Por esto es de vital importancia tener presente al seleccionar un dispositivo de este tipo, que sea compatible tanto con el software como con los drivers que se quieran utilizar.

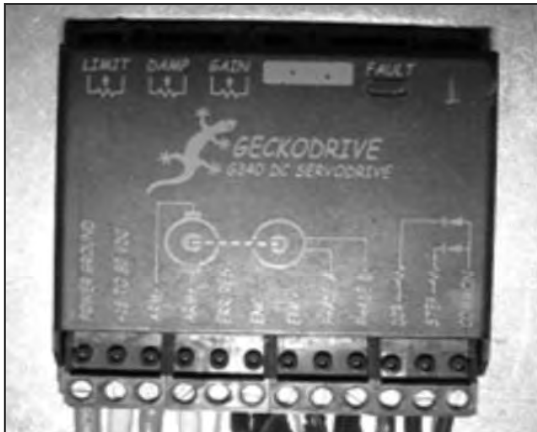
**FIGURA 5**  
Indexer Geckodrive G-Rex G100



Cortesía Lab. Mecatrónica. Universidad EAFIT. 2008

**DRIVERS GECKODRIVE G340:** El segundo componente del hardware de control son los drivers. Estos son los encargados del control del movimiento del motor. Como se mencionó con anterioridad, la dirección, la velocidad y la magnitud del movimiento de los motores se controla mediante dos señales que son generadas por la indexer. Esas señales son llevadas a los drivers, los cuales son los encargados de entregar al motor el voltaje y la corriente que requiera para moverse de la forma en que se requiere. En la reconversión del sistema de control del robot 1SMR se utilizaron drivers marca Geckdrive con referencia G340 para motores DC. Este dispositivo se muestra en la figura 6.

FIGURA 6  
Driver Geckodrive G340 para motores DC



Cortesía Lab. Mecatrónica. Universidad EAFIT. 2008

Los componentes del hardware de control, y demás componentes eléctricos y electrónicos descritos anteriormente, fueron instalados en un gabinete sobre el cual se instaló el robot. El montaje se muestra en las Figura 7, y con este se busca obtener una disposición que facilitara el chequeo de las conexiones, al instalar los drivers, la Indexer y otros componentes en planos inclinados que faciliten el acceso a las borneras de conexión. Además los drivers se encuentran posicionados sobre disipadores de aluminio con aletas que ayudan a transmitir parte del calor que generan al ambiente para que su temperatura no suba a valores que impliquen riesgo de daño de alguno de los componentes.

FIGURA 7  
Montaje de los elementos del sistema de control



Cortesía Lab. Mecatrónica. Universidad EAFIT. 2008

## SOFTWARE DE CONTROL MACH3 MILL

El software es un componente de gran importancia en el sistema de control, pues es en gran medida quien determina la versatilidad y el modo de operación del robot. El programa seleccionado para este fin es el Mach3 Mill, creado por ArtSoft, una empresa dedicada al desarrollo de controladores basados en PC para máquinas CNC.

Cuando se seleccionó el software de control para el robot, una de los interrogantes era el saber hasta qué punto el software podría controlar al robot de una forma adecuada, ya que el Mach3 ha sido desarrollado para controlar máquinas de CNC convencionales, es decir, fresadoras, tornos y cortadoras de plasma. Todas estas máquinas tienen un espacio de trabajo en donde las posiciones de la herramienta se determinan mediante coordenadas cartesianas, es decir cuyos ejes forman  $90^\circ$  entre sí. En otras palabras, en una máquina convencional, el movimiento de uno de sus ejes siempre dibujará una línea recta entre el punto final y el inicial. En el caso del robot SCARA esto no sucede, ya que el Hombro y el Codo son ejes rotacionales y no lineales, de tal forma que las posiciones en el plano XY no se logran mediante el movimiento lineal, sino mediante la rotación de dos de los ejes del robot.

La principal característica del software que permitió adaptarse al control del robot fue una opción que permite ingresar lo que se denominan Fórmulas de Eje. Para el caso del robot SCARA, las fórmulas que deben ingresarse son las que resultan de lo que se denomina cinemática inversa. La cinemática directa "permite conocer cuál es la posición y orientación que adopta el extremo del robot cuando una de las variables que fijan la posición u orientación de sus articulaciones toma valores determinados", (Barrientos y otros, 2007, 120) esto es, conociendo el ángulo que forman las articulaciones del robot, conocer en qué posición se encuentra la herramienta que tiene en su extremo. Por otro lado, la cinemática inversa resuelve el problema contrario, es decir, permite encontrar los valores que deben adoptar las coordenadas articulares del robot para que su extremo se posicione y oriente según una determinada localización espacial". (Barrientos y otros, 2007, 134).

## **MODOS DE TRABAJO**

El software Mach3 permite operar el robot SCARA tres modos diferentes. El primero, denominado Jog, permite mover cada uno de los ejes del robot utilizando el teclado del PC. Cada eje tiene asignado un par de teclas, y cada una de ellas hace que el eje se mueva en una dirección. Este modo puede considerarse manual. El segundo modo se denomina modo Teach o de aprendizaje y permite que

el robot ejecute acciones de forma automática. En este modo el robot puede llevarse a posiciones deseadas. Las posiciones son almacenadas en un archivo de texto que puede editarse posteriormente de ser necesario. Luego este archivo puede reproducirse y el robot repetirá la secuencia de movimientos que lo lleven a las posiciones almacenadas. El tercer modo de operación permite el control del robot por la ejecución de programas de código G. Este modo es el que permite una mayor versatilidad del robot, pues el uso de un lenguaje de programación como el código G permite que el robot ejecute gran cantidad de funciones.

## **CONCLUSIONES**

El aprovechamiento de máquinas cuyo tiempo de operación pone en duda su buena condición, permite obtener sistemas con todas las funciones y las buenas características de operación por un costo muy reducido en comparación a la adquisición de máquinas nuevas. En el mercado colombiano, donde las empresas no cuentan con la capacidad económica para invertir en equipos nuevos, la reconversión se convierte en una excelente opción para realizar automatización de procesos.

Todos los sistemas del robot SCARA se encuentran en operación en el momento de la culminación del proyecto. Todos los sensores y actuadores del robot han sido reacondicionados para su correcto funcionamiento y su trabajo conjunto para el control del robot. La correcta adecuación de todos sus componentes, siendo uno de los objetivos, es un factor determinante para medir el éxito de la realización del proyecto.

El Laboratorio de Mecatrónica de la Universidad EAFIT cuenta con todos los equipos, conocimientos e instalaciones que permiten la reconversión de máquinas. El proceso de reconversión del robot SCARA se realizó únicamente con los medios dispuestos por el Laboratorio, y de igual forma se podría realizar en otros tipos de máquinas de control numérico convencionales.

El uso de elementos comerciales en la reconversión realizada al sistema de control del robot SCARA, como

los componentes Geckodrive G100 y G340 permitió crear un sistema cuya confiabilidad fue probada bajo extensas jornadas de trabajo, y cuya reparación es sencilla, pues la documentación y la información sobre los componentes es de fácil consecución. La utilización de estos componentes no implica mayores complicaciones, siempre y cuando se comprenda su modo de funcionamiento y se sigan las recomendaciones del fabricante.

La utilización del software Mach3 brindó gran cantidad de ventajas, pero también algunas limitaciones. Por un lado, la facilidad con la que se configura la comunicación con la G Rex G100 ahorra una gran cantidad de problemas de programación y protocolo. Además la gran cantidad de funciones configurables y parámetros que permiten ajustarse a la hora de la puesta a punto del funcionamiento del robot. La posibilidad de ingresar las fórmulas de eje en el software fue un aspecto definitivo que permitió el correcto control del robot, y además el software tiene la capacidad de controlar hasta seis ejes, lo que le da capacidades de sobra para el control del robot.

El control de los robots SCARA implica un reto grande desde el punto de vista de la programación, ya que por su configuración, y robot SCARA puede resolver una posición en el espacio de dos formas posibles, es decir con dos valores distintos de la posición angular de sus articulaciones. (CRAIG, 2006, 103) En la actualidad el robot resuelve las posiciones de una sola forma, la cual está determinada por la forma en que se definieron los ángulos en el análisis cinemático

## **BIBLIOGRAFÍA**

ANGULO, José María; ROMERO, Susana; ANGULO, Ignacio. Introducción a la robótica. Madrid, España: Thomson, 2005. 25 p. ISBN 84-9732-386-6.

BARRIENTOS, Antonio et al. Fundamentos de robótica. Madrid, España: McGraw Hill, 2007. 120, 134-146 p. ISBN 978-84-481-5636-7.

CRAIG, John J. Robótica. 3 ed. México, México: McGraw Hill, 2006. 103 p. ISBN 978-970-26-0772-4

TAYLOR, P. M. Control robótico. Barcelona, España: CEAC, 1990. 66 p. ISBN 0-333-43821-3

GECKO1@2008

GECKODRIVE Motor Control.- Descripción de la Gecko G-Rex G100 - [en línea] - [Consultada el 20 de octubre de 2008]. Disponible en: <<http://www.geckodrive.com/product.aspx?c=4&i=14463>>

GECKO2@2008. GECKODRIVE Motor Control.- Tutorial de Instalación del Gecko G340 DC Motordrive - [en línea] - [Consultada el 21 de octubre de 2008]. Disponible en: <<http://www.geckodrive.com/upload/G340-REV-7-Manual.pdf>>

MACH1@2008. ARTSOFT USA. MACH 3. Sitio de descargas de material para la configuración de la tarjeta Geckodrive G100 con Mach3 - [En línea].- [Consultada el 21 de octubre de 2008]. Disponible en <<http://www.machsupport.com/plugins.php>>

MACH2@2008. ARTSOFT USA. MACH 3. Descripción del software mach3 - [En línea].- [Consultada el 21 de octubre de 2008]. Disponible en <<http://www.machsupport.com/>>

MACH3@2006. ARTSOFT USA. MACH 3. Manual de uso del software Mach3 Mill - [En línea].- [Consultada el 15 de octubre de 2008]. Disponible en <[http://www.machsupport.com/docs/Mach3Mill\\_1.84.pdf](http://www.machsupport.com/docs/Mach3Mill_1.84.pdf)>

PEAK@2008. PEAK ROBOTICS. What is a SCARA? [En línea]. [Consultada el 7 de abril de 2008]. Disponible en: <[http://www.peakrobotics.com/What\\_is\\_a\\_SCARA.htm](http://www.peakrobotics.com/What_is_a_SCARA.htm)>

ROBOTS@2008. ROBOTS. [En línea]. [Consultada el 7 de abril de 2008]. Disponible en: [www.geocities.com/credit8/base/robotica.htm](http://www.geocities.com/credit8/base/robotica.htm)

# **DESCRIPCIÓN DE PROCESOS PARA LA INSTALACIÓN DE MAQUINARIA DE UNA PLANTA PRODUCTIVA DE POCILLOS**

**ROBINSON VERA BASTOS**

rverabas@eafit.edu.co

Departamento de Ingeniería Mecánica

**ÁREA DE ÉNFASIS**

MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

**ASESOR PRINCIPAL**

OSCAR DARÍO VALENCIA SANÍN

**SECTOR BENEFICIADO**

LOCERÍA COLOMBIANA S.A.



## **RESUMEN**

El propósito de este artículo es describir el proceso que se debe desarrollar en la recepción de maquinaria, en su instalación y en su disponibilidad en el área de producción, teniendo en cuenta factores que intervengan en el desarrollo del proyecto como: el material, la maquinaria, mano de obra, el movimiento, la espera, el servicio, la edificación y el cambio.

Para el análisis de este problema es importante aclarar que la necesidad de instalar nueva tecnología, viene del deseo de crecer cada día más, con el fin de satisfacer las necesidades y las exigencias de los clientes, siendo esta la visión que tiene LOCERÍA COLOMBIANA S.A., además de la adquisición de nueva tecnología, se hace necesario instalar la maquinaria de forma adecuada según sus especificaciones, causar la menor alteración en la producción, y por consiguiente mejorar el proceso de producción.

## **ABSTRACT**

The purpose of this article is to describe the process that must be developed in machinery reception, its installation and availability in the production area, taking into account aspect involved in the development of the project such as; the material, the machinery, the workers, the movement, the expected, the service, the building and the change.

For the analysis of this problem is important to understand that the need to install new technology, comes from the desire to grow, in order to meet the needs and demands of customers being this the vision that LOCERÍA COLOMBIANA S.A. has, in addition to the acquisition of new technology, it's necessary to install the machinery in a proper way so that it meets the installation characteristics, causing the least disruption in production, and therefore improve the production process.

## PALABRAS CLAVE

Reestructuración, disponibilidad y overhaul de maquinaria.

## KEY WORDS

Restructuring, availability and machinery overhaul.

## INTRODUCCIÓN

En nuestro medio, es muy acostumbrado que las personas que desean hacer una reestructuración de planta, recurran a consejos, a sus experiencias personales y a otra serie de recursos que de una u otra manera les permite lograr el objetivo con mucha dificultad y sin la seguridad necesaria para evitar riesgos y posibles fracasos.

Utilizando este proyecto como base, se simplifica y tecnifica el proceso de redistribución de la planta productiva de pocillos. Siguiendo estas rutinas se obtiene un control óptimo de las operaciones a realizar y del tiempo que ellas requieren, evitando retrasos innecesarios, gastos no presupuestados, y lo más importante reducir un impacto económico desmejorable para la empresa.

En la tabla 1 se observa cuales son los factores y sus características que más comúnmente interfieren en la redistribución de maquinaria para una planta.

**TABLA 1**  
Factores que intervienen en la distribución de maquinaria

FACTORES	CARACTERÍSTICAS
Factor material	Se ve afectado por: <ul style="list-style-type: none"> <li>– El proyecto y especificaciones del producto.</li> <li>– Las características físicas y/o químicas.</li> <li>– La cantidad, variedad y fluctuación en las cantidades.</li> <li>– Los materiales o piezas componentes.</li> </ul>

FACTORES	CARACTERÍSTICAS
Factor maquinaria	Depende de: <ul style="list-style-type: none"> <li>– Proceso o del método.</li> <li>– Maquinaria, utillaje y equipos.</li> <li>– Utilización apropiada y continua de la maquinaria.</li> <li>– Requerimiento de la maquinaria y el proceso.</li> </ul>
Factor humano	Afectado por: <ul style="list-style-type: none"> <li>– Trabajo y seguridad.</li> <li>– Necesidades de recurso humano.</li> <li>– Ergonomía.</li> <li>– Método de pago.</li> <li>– Problemas psicológicos o personales.</li> </ul>
Factor movimiento	Depende de: <ul style="list-style-type: none"> <li>– Patrón o modelo de circulación.</li> <li>– Reducción del manejo innecesario y antieconómico.</li> <li>– Manejo combinado (métodos de manejo polifacéticos).</li> <li>– Espacio para el movimiento.</li> <li>– Análisis de los métodos de trabajo.</li> <li>– Equipo de manejo.</li> </ul>
Factor espera	Varia por: <ul style="list-style-type: none"> <li>– Situación de los puntos de almacenamiento y espera.</li> <li>– Métodos de almacenaje.</li> <li>– Dispositivos de seguridad y equipos destinados para los procesos anteriormente mencionados.</li> </ul>
Factor servicio	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Relativo al material.</li> <li>– Relativo al personal.</li> <li>– Relativo a la maquinaria.</li> </ul>
Factor edificio	Es necesario definir el uso del edificio para establecer una distribución; se deben tener en cuenta caminos, carreteras, canales y ríos, puentes, líneas férreas, etc.
Factor cambio	Se puede dar en: <ul style="list-style-type: none"> <li>– Los materiales (diseño, material, demanda, variedad).</li> <li>– La maquinaria (procesos y métodos).</li> <li>– El personal (horas de trabajo, autocontrol, habilidades, organización).</li> <li>– Actividades auxiliares (manejo, almacenamiento, servicios y edificio).</li> </ul>

## ALMACENAMIENTO Y OVERHAUL DE MAQUINARIA

El almacenamiento y overhaul de cualquier tipo de insumo, equipo o materia prima se lleva a cabo de acuerdo con las técnicas y condiciones establecidas para ello, y su manejo se efectúa bajo la supervisión de personal especialmente capacitado apoyado por modernos equipos y elementos de seguridad que permite óptimas condiciones de conservación y reparación.

### ALMACENAMIENTO

Incentivando la seguridad en el área industrial, se exponen pautas y normas recomendables para llevar a cabo un almacenamiento seguro y viable de maquinaria e insumos, como por ejemplo:

- Los pasillos de circulación demarcados deben estar constantemente libres de obstáculos. En las figuras de la 1 a la 4 se observan esquemas que visualizan las pautas de almacenamiento.
- Permitir el fácil acceso a los extintores y demás equipos de lucha contra incendio; las pilas de equipos no deben entorpecer el paso, estorbar la visibilidad, ni tapar el alumbrado; mantener permanentemente despejadas las salidas para el personal, sin obstáculos; evitar pilas demasiado altas; para bajar un bulto o una parte de una pila, no colocarse delante de ella, sino a un costado.

FIGURA 1  
Descarga de maquinaria

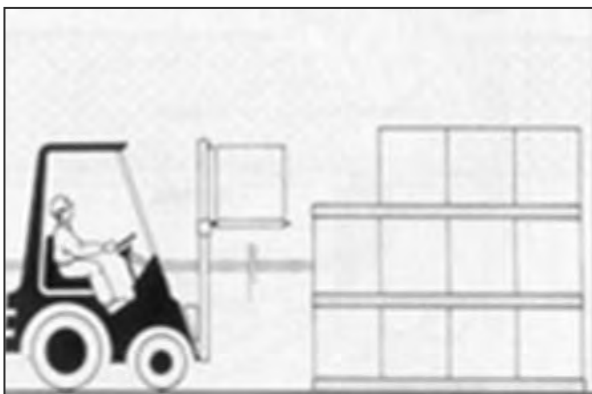


FIGURA 2  
Corredores salidas

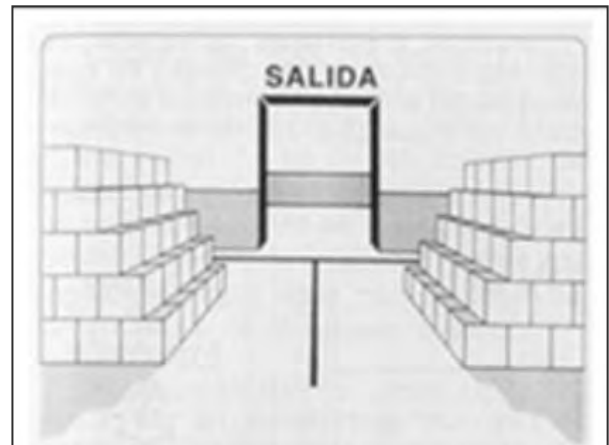


FIGURA 3  
Elementos de protección

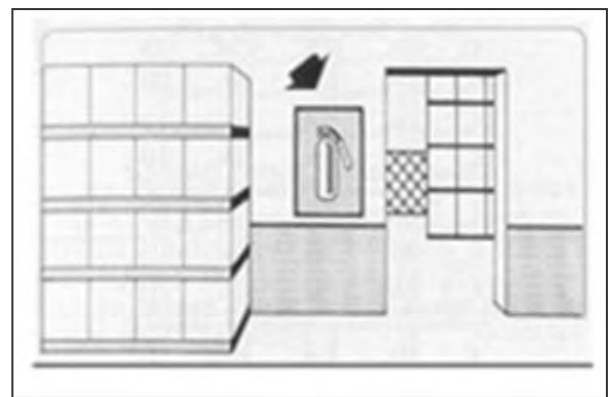


FIGURA 4  
Disposición de materiales



Utilizar, siempre que se pueda, medios mecánicos para el movimiento de maquinaria; es necesaria la uniformidad del piso para no comprometer la estabilidad de cualquier pila o equipo; en caso de un almacenamiento provisional que suponga una obstrucción a la circulación, se debe colocar luces de advertencia, banderas, vigilantes, vallas, etc., son estas y muchas más recomendaciones las necesarias para un almacenamiento viable y seguro de maquinaria.

## **OVERHAUL**

El plan de overhaul se centraliza principalmente en el cambio de elementos que presentan desgaste, como dicho proceso conlleva conocer toda la maquinaria, se debe prestar mayor importancia a los sistemas de transmisión como cadenas y sprockets, bandas y poleas, piñones y demás sistemas de transmisión que se encuentre en la maquinaria, debido a que estos elementos son los que mayores esfuerzos reciben durante su operación, por consiguiente, son estos sistemas los que deben tener una operación efectiva y eficiente.

El plan de overhaul siendo la segunda fase en el proyecto, también da espacio para desarrollar reformas y generar nuevos sistemas de operación, que hacen que la nueva maquinaria se adapte a las condiciones de operación que se maneja hoy en día en LOCERÍA COLOMBIANA S.A., no haciendo énfasis en cuanto a la velocidad de operación, sino en cuanto la disposición de sistemas y subsistemas de la maquinaria.

Un ejemplo viable y seguro que hace de cualquier maquinaria un elemento confiable dentro de una empresa, es adaptarle dispositivos de desconexión rápida y segura de los suministros de energía mecánica, de vapor, de corriente eléctrica, de gases y de líquidos, estos dispositivos son de gran importancia a la hora de enfrentar un problema o una situación de riesgo, es por ello que se debe dar pie al estudio de dicha posibilidad.

## **HABILITACIÓN DE ÁREAS Y UBICACIÓN DE EQUIPOS**

La reestructuración de la planta productiva de pocillos, implica la ordenación física de los elementos industriales.

Esta ordenación incluye tanto los espacios necesarios para el movimiento del material, almacenamiento, trabajadores indirectos y todas las otras actividades o servicios como el equipo de trabajo y el personal del taller.

Para cumplir con una excelente redistribución de planta es necesario alcanzar objetivos parciales como minimizar recorrido y costos de movimiento, haciendo uso de una buena utilización del espacio físico, mejores condiciones de trabajo, flexibilidad que permita la expansión, políticas de seguridad industrial y minimizar daños y pérdidas de material.

Expuesto anteriormente, para el caso de la habilitación de áreas y ubicación de equipos, es también necesario plantear las normas de seguridad y de trabajo que rigen estas actividades, como por ejemplo:

El sitio de ubicación de la maquinaria debe ser la adecuada, teniendo en cuenta al operario quien es el que interactúa con ella, por eso no debe existir partes de la maquina sobresalientes, en voladizo o recorridos externos.

Debe existir suficiente área de corredores para que las carretillas de suministro puedan entregar y llevar el producto; llegado el caso que se deba almacenar material y/o productos en los alrededores de la zona de operación, se debe contar con área suficiente para dicho requerimiento; se debe proporcionar un banco o gabinete para el almacenamiento de la herramienta y elementos de operación; en los alrededores de la maquinaria debe existir suficiente espacio para el desplazamiento humano, no deben existir áreas de peligro de atrapamiento; es importante el uso de plantillas, que son la proyección de las maquinas sobre el espacio que ocupan.

De igual formas las condiciones de trabajo dependen de: el suelo donde se disponga la maquinaria no resbale, se puede hacer uso de materiales antideslizantes; el espacio debe ser amplio entre las maquinas nuevas y las tradicionales o unidades de proceso, de tal forma que su operación y manipulación sean normales, se puedan llevar a cabo el mantenimiento respectivo, y se pueda depositar el material necesario para la fabricación y el producto terminado; los espacios de trabajo deben ser aptos para la limpieza luego



de cada turno de trabajo, siempre manteniendo un lugar agradable de trabajo; la iluminación debe ser acorde, ya que esta disminuye la fatiga innecesaria, aumentando la productividad y manteniendo el nivel de salud de los trabajadores.

Se debe contar con suministro de agua potable cercana al lugar de trabajo, al igual que zonas comunes como los baños; se deben disponer de accesos de ventilación para disipar el calor, el polvo y las salidas de gases de la maquinaria; deben existir salidas amplias en caso de alguna emergencia, al igual que una adecuada demarcación, elementos de primeros auxilios y equipos de lucha contra dichas emergencias. Son estas pequeñas recomendaciones de seguridad y confort, suficientemente explícitas para controlar y regir las actividades que se deben llevar a cabo para la redistribución de la planta.

## **CONCLUSIONES**

Durante la realización del presente proyecto se obtuvo resultados óptimos en cuanto a los requerimientos mínimos de seguridad industrial, de igual forma se exponen factores importantes que interfieren en el desarrollo adecuado de reestructuración de maquinaria e infraestructura de una planta productiva.

Mediante el análisis expuesto a lo largo del proyecto, se concluye que siendo la planificación anticipada de una reestructuración, variable adelantada y oportuna para el comienzo de un proyecto, es sin duda alguna expuesta en su plenitud en los ítems desarrollados del presente artículo.

Planifiquemos con anticipación siempre que sea posible de modo que, maquinarias e instalaciones se unan en una instalación segura. Conozcamos la máquina y las instalaciones potenciales, y orientemos el espacio libre de trabajo de manera acorde.

El almacenamiento de maquinaria como etapa investigativa del proyecto, plantea observaciones necesarias para el desarrollo de este, además de la regulación que se debe tener en cuenta para garantizar un almacenamiento viable

de maquinaria. Igualmente esta etapa analítica también puede ser puesta en práctica en insumos o materiales dispuestos en un almacén de repuestos o productos en espera.

El overhaul y reparación de maquinaria como fase investigativa del proyecto, esboza las necesidades de implementar dicho proceso en maquinaria previamente utilizada, en el caso de LOCERÍA COLOMBIANA S.A., o de cualquier otra empresa que dispone de maquinaria usada, se hace más que recomendable estudiar y analizar las partes o componentes de la maquina, es de suma importancia debido al desgaste que estas poseen por su previa operación en su lugar de origen. De igual forma variables críticas como la corrosión, la fatiga y otros problemas que traen consigo la maquina, hace de esta poco confiable a la hora de su puesta en marcha en producción.

El reconocimiento y habilitación de las áreas de planta como fase analítica del proyecto, tantea la disposición de espacios acordes y necesarios para la reestructuración y ubicación de la maquinaria, como de los puestos de trabajo que se van a generar. Dado el caso en el que la infraestructura de planta este ya establecido, se comienza por definir y establecer los límites de esta, demarcando y puntualizando cuales son las zonas a intervenir en el proceso de reestructuración.

## **BIBLIOGRAFÍA**

SUMINISTROS Y SERVICIOS S.H. [en línea], Febrero de 2008. [Citado el 1 de febrero de 2008]. Disponible en Internet: <http://www.sumin.com.ar/articulos/art=009.htm>.

Sistema Integrado de Gestión / Sistema de Calidad. Formación y Secado de Pocillos [en línea], Septiembre de 2007. [Citado el 3 de septiembre de 2007]. Disponible en Internet bajo clave: <http://vajillas.corona.com.co/default.aspx>.

ESTRUCTPLAN [en línea], Febrero de 2008. [Citado el 1 de febrero de 2008]. Disponible en Internet: <http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/Entrega.asp?identrega=187>.

GESTIÓN POLIS [en línea], Marzo de 2008. [Citado el 1 de marzo de 2008]. Disponible en Internet:  
<http://www.gestiopolis.com/canales/emprededora/articulos/18/normas.htm>.

ISABEL 1996. MEJÍA VELÁSQUEZ, Isabel Cristina. RUIZ FERNÁNDEZ, Sandra Patricia. Diseño General de una Planta de Producción para una Empresa de Ladrillos Refractarios. Medellín, 1996, 98 p Trabajo de grado. Ingenieros de Producción. Universidad EAFIT. Departamento de Ingeniería de Producción.

KARDER [en línea], Febrero de 2008. [Citado el 1 de febrero de 2008]. Disponible en Internet:  
<http://www.kardex.es/?gclid=ClzOuvik8ZICFRwqagodXTy14Q>.

LOCERÍA COLOMBIANA S.A. CORONA. Capacitación Gestión temprana. Caldas, Antioquia. Noviembre de 2007.

MASSAKI 1998. MASSAKI IMAI. Como Implementar Kaizen en el sitio de Trabajo. McGRAW-HILL, 1998.

MIGUEL 1993. ISAZA GILCHRIST, Miguel. Procedimiento para el Diseño, la Construcción y el Montaje Técnico de una Planta de Producción. Medellín, 1993, 86 p Trabajo de grado. Ingenieros de Producción. Universidad EAFIT. Departamento de Ingeniería de Producción.

OHRA LAGER SYSTEME MIT KONZEP [en línea], Febrero de 2008. [Citado el 5 de febrero de 2008]. Disponible en Internet:  
[http://www.ohra.de/default.aspx?Pagename=Branche\\_Metallverarbeitung&CL=es-es](http://www.ohra.de/default.aspx?Pagename=Branche_Metallverarbeitung&CL=es-es)

OIT ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DEL TRABAJO [en línea], Febrero de 2008. [Citado el 5 de febrero de 2008]. Disponible en Internet:  
[http://www.ilo.org/global/What\\_we\\_do/InternationalLabourStandards/lang-es/index.htm](http://www.ilo.org/global/What_we_do/InternationalLabourStandards/lang-es/index.htm)

PORTAL.CORONA @ 2007  
Portal interactivo de LOCERÍA COLOMBIANA S.A. Vajillas CORONA. Marco Histórico de LOCERÍA COLOMBIA S.A. [en línea], Septiembre de 2007. [Citado el 3 de septiembre de 2007].  
Disponible en Internet. <http://vajillas.corona.com.co/>

SEGURIDAD EN EL TRABAJO. Febrero de 2008. Recuperado el 5 de febrero de 2008. Disponible en Internet:  
<http://books.google.com.co/books?id=prgbRwRYVBAC&printsec=frontcover>

SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE [en línea], Febrero de 2008. [Citado el 5 de febrero de 2008]. Disponible en Internet:  
<http://seguridadmedioambiente.blogspot.com/2007/10/movimiento-y-almacenamiento-de.html>

SEBASTIÁN 2006. VÁSQUEZ POSADA, Sebastián. Instalación de POKA YOKE en la Línea de TOYOTA SOFASA para llenado de Aceite de Transmisión y Diferencial. Medellín, 2006, 84 p Trabajo de grado. Ingeniero Mecánico). Universidad EAFIT. Departamento de Ingeniería Mecánica.

UNIVERSIDAD EAFIT. Centro de Educación Continua. Departamento de Ingeniería Mecánica. Rediseño y Modificaciones a Equipos y Maquinaria. Medellín. Mayo de 2007.

# **DESARROLLAR UN PLAN DE MEJORAMIENTO PARA LA RED DE AIRE COMPRIMIDO DE LA PLANTA DE PRODUCCIÓN SOFASA - ENVIGADO**

FELIPE GUTÉRREZ MESA

fgutier2@eafit.edu.co

Departamento de Ingeniería Mecánica

JAVIER ANDRÉS FACUNDO PAYOME

jfacundo@eafit.edu.co

Departamento de Ingeniería Mecánica

AREA DE ÉNFASIS

DISEÑO DE SISTEMAS TÉCNICOS

ASESOR

JUAN CARLOS URIBE MARTÍNEZ

SECTOR BENEFICIADO

SOCIEDAD DE FABRICACIÓN DE  
AUTOMOTORES S.A. - SOFASA



## **RESUMEN**

Las tendencias de crecimiento del segmento automotriz en la región andina durante los últimos 5 años, caracterizadas por el incremento en innovación y desarrollo de tecnología en los procesos manufactureros, le exigen a las empresas del segmento soluciones que satisfagan rápidamente las demandas del mercado actual.

SOFASA como uno de las ensambladoras más importantes del país no ha sido ajena a estos crecimientos acelerados que dificultan la planeación apropiada de la expansión de la línea de producción. Uno de los sistemas de soporte más importantes dentro de la línea es la red de aire comprimido, la cual a sufrido innumerables modificaciones. A raíz de estas, surge la necesidad de desarrollar un plan para el mejoramiento de la red, objetivo del proyecto de grado que deriva el presente artículo.

Este artículo se basa en el método de análisis de causa de Ishikawa, y posteriormente se analizan cada una de las causas derivadas del método.

## **ABSTRACT**

The growth trends of the automotive segment in Latin America during the last five years, characterized by the innovation increased and the technological development in the automotive manufacture processes requires of the segment, solutions that satisfied quickly the current market demands.

SOFASA, as one of the most important automotive manufacturers in the country, has not been to these accelerate growths which hinder the proper planning of the expansion of the production line. One of the most important support systems inside the production line is the compressed air network, which suffered innumerable modifications. Following these, arises the need to develop an improving plan for the network, which is the objective of this paper.

This article is based on the Ishikawa causes – analysis method, and then discusses each of the causes arising out of the method.

## PALABRAS CLAVES

Red de Aire Comprimido, Demanda de Aire, Sistema Neumático, Análisis Causa - Efecto

## KEY WORDS

Compressed Air Network, compressed air demand, pneumatic system, Cause & Effect Analysis,

## INTRODUCCIÓN

La Red de Aire Comprimido es uno de los sistemas centrales de los cuales depende el proceso productivo de SOFASA para el desarrollo de su actividad económica, pues de ella se derivan equipos y subsistemas en todos los talleres que conforman la línea de producción de la compañía.

El presente proyecto de grado tomará como objeto de estudio la red de aire comprimido de la empresa SOFASA, realizando un análisis de las condiciones actuales de

operación, las causas de la indisponibilidad de la instalación en los últimos dos años y basado en los resultados este análisis, propondrá un plan de mejoramiento que incluya las consideraciones de la casa matriz Renault.

## METODOLOGÍA

Se empleará el Método de Análisis de Causas de Ishikawa, procedimiento recomendado por la casa matriz Renault como una de las herramientas de análisis apropiadas para desarrollar actividades específicas que ataquen las causas raíces que derivan en la condición que se pretende corregir.

## DESARROLLO

Como primer paso se construye un diagrama causa-efecto que señala cuatro categorías de causas principales: Material y componentes de la red neumática, Método de empleo del recurso, Diseño del sistema y Mano de obra. Este diagrama es construido basándose en el conocimiento del personal técnico de la división de mantenimiento, y en el historial de fallos del sistema, determinándose de este modo las posibles causas de indisponibilidad de la red de aire comprimido.

FIGURA 1. Diagrama causa – efecto



El diagnóstico realizado y el análisis de cada causa hallada, permiten construir un plan de acción acorde, el cual plantea algunas acciones a realizar, que en caso de un cumplimiento acorde a lo planeado, permitirán reducir los problemas de indisponibilidad de la red de aire comprimido

de SOFASA, y preparar adecuadamente este sistema para futuras ampliaciones y modificaciones. En la tabla mostrada a continuación, se aprecia el plan de acción propuesto para la categoría de causas Material y Componentes.

**TABLA 1**  
Plan de acción propuesto para la categoría de causas Material y Componentes

Categoría de Causas - Causa		Contramedida Propuesta	Responsable
MATERIAL Y COMPONENTES	Tubería de la red de aire en acero al carbón	Generación de PMP para Red de Aire Comprimido que garantice la inspección periódica de la red, limpieza y pintura.	Staff Fluidos
		Revisar y acondicionar purgas automáticas para la eliminación de la humedad en el sistema	División de Mantenimiento
	Accesorios en la red de aire no estandarizados	Estandarización de materiales y accesorios para nuevas instalaciones, incluida en el dossier TPM en proyectos	RG Mantenimiento Proyectos Staff TPM División de Mantenimiento
		Estandarización de referencias y marcas de equipos para componentes de la red de aire comprimido, según el listado de materiales recomendados por Renault.	Staff Fluidos División de Mantenimiento
		Actualización del formato de recepción de equipos e instalaciones que incluya revisión sobre repuestos recomendados por Renault	Staff TPM División de Mantenimiento
		Identificación de componentes fuera del estándar y reemplazo.	RG Mantenimiento (Soldadura, Pintura, Ensamble)

El grupo de causas derivadas del método también presenta algunas acciones a realizar, las cuales se muestran a continuación.

**TABLA 2**  
Acciones a realizar

Categoría de Causas - Causa		Contramedida Propuesta	Responsable
MÉTODO	Simultaneidad en el consumo no considerada en el diseño original	Identificación y delimitación de zonas de consumo	Staff Fluidos División de Mantenimiento
		Estudio de consumo por zonas y subzonas	Staff Fluidos División de Mantenimiento
		Actualización del listado de equipos neumáticos	Staff Fluidos División de Mantenimiento
	Ampliaciones y modificaciones de la red de forma desordenada	Levantamiento de planos e información actualizada	Staff Fluidos División de Mantenimiento
	Puntos de control en sitios inadecuados técnicamente	Identificación de puntos de control representativos.	Staff Fluidos División de Mantenimiento
		Ubicación de elementos de control representativos	Staff Fluidos División de Mantenimiento
Modificación del diseño de la red de aire comprimido, simplificándolo		Staff Fluidos División de Mantenimiento	

La categoría de causas debidas al diseño es una de las más amplias y complejas. En la figura mostrada a continuación se presenta el plan de acción propuesto para éstas.

**TABLA 3**  
Plan de acción para de causas debidas al diseño

Categoría de Causas - Causa		Contramedida Propuesta	Responsable
<b>DISEÑO</b>	Vanación del diámetro de la tubería principal de 4" a 6" en tramo extenso	Estandarización de diámetros de tubería en la red de aire comprimido principal.	Staff Fluidos División de Mantenimiento
	Diseño actual de la red principal en forma lineal transversal	Evaluación del rediseño de la red según la propuesta presentada.	Staff Fluidos División de Mantenimiento
	Válvulas de paso inaccesibles y mal ubicadas técnicamente	Reubicación de Válvulas, asegurando accesibilidad para mantenimiento. Identificación visual de cada Válvula con su zona de afectación.	Staff Fluidos División de Mantenimiento
	Distancias entre puntos de consumo y salón de compresores muy extensas.	Adquisición de un compresor de aire libre de aceite para el taller de piezas plásticas e Ingeniería (Atlas Copco ZR110)	Staff Fluidos División de Mantenimiento
	Tramos Obsoletos (Fuera de Servicio)	Higiene de la red neumática principal, identificando tramos y elementos obsoletos (fuera de servicio) y eliminándolos. Identificación de accesorios y complementos de la tubería de transporte de aire comprimido fuera de servicio y eliminarlos.	Staff Fluidos División de Mantenimiento RG Mantenimiento (Soldadura, Pintura, Ensamble)
	Fugas	Programa de identificación y corrección de fugas en redes y uniones en cada uno de los puesto de trabajo. Diseño de plan de seguimiento con proveedor especializado para identificación de fugas no detectables por operarios.	RG Mantenimiento (Soldadura, Pintura, Ensamble) Staff Fluidos División de Mantenimiento

La última categoría de causas considerada es la correspondiente a mano de obra. El plan de acción propuesto para dar solución a las causas allí encontradas se presenta a continuación.

**TABLA 4**  
Plan de acción para de causas debidas mano de obra

Categoría de Causas - Causa		Contramedida Propuesta	Responsable
<b>MANO DE OBRA</b>	Personal no capacitado en montajes y mantenimiento de los accesorios y red de aire.	Complementación de procedimiento de recepción de equipos con el diagrama de la instalación neumática típica correspondiente.	Staff TPM División de Mantenimiento
		Publicación del procedimiento actualizado. Divulgación a los usuarios interesados.	Staff TPM División de Mantenimiento
	Empleo del recurso de forma inadecuada.	Campaña para identificación y corrección de malas prácticas con aire comprimido	Staff TPM División de Mantenimiento

## CONCLUSIONES

La competencia en el mercado automotriz obliga a las empresas ensambladoras colombianas a asegurar procesos productivos confiables y rentables, características dadas por la confiabilidad y disponibilidad de los equipos que hacen posible la fabricación, pues cualquier desviación de las condiciones de producción establecidas, generan pérdidas de producción, y sobrecostos.

La necesidad técnica de equipos e instalaciones en la industria debe considerar los requerimientos actuales de producción, así como las tendencias de crecimiento de la demanda de vehículos en la región andina. Se deben proyectar equipos e instalaciones que permitan

una flexibilidad de la oferta para así atender el mercado. Dentro de estas instalaciones se debe considerar la gran importancia de la red neumática principal de SOFASA, pues de ella dependen gran cantidad de equipos de producción, siendo uno de los ejes de crecimiento de la compañía de más atención.

En las consideraciones de diseño e implementación de nuevos equipos e instalaciones, se debe prestar igual atención al diseño y planificación del mantenimiento de estos en los puestos de trabajo, pues es en estos puntos donde el recurso se utiliza y donde se puede lograr optimizar el empleo de este. Es en los puestos de trabajo donde una correcta utilización de los recursos, y un cuidado especial en el diseño, instalación y mantenimiento, permitirán a la

empresa reducir costos de operación, a la vez que se logra obtener ahorros importantes al aprovechar de manera correcta los medios disponibles para la producción.

El correcto funcionamiento de instalaciones y sistemas no sólo depende de un correcto mantenimiento de estas, sino de la conservación de las condiciones de trabajo y diseño originales, pues son las modificaciones técnicamente no estudiadas las que ocasionan mayores impactos en la indisponibilidad de la red de aire comprimido principal de SOFASA.

Las modificaciones realizadas a la red de aire comprimido en las instalaciones de producción de SOFASA han ocasionado que actualmente se encuentren tramos fuera de servicio, los cuales pueden ser reutilizados una vez se hayan adecuado, reduciendo significativamente así los costos de adecuación de la red neumática actual a las condiciones actuales de producción, así como a los futuros proyectos de crecimiento de la planta.

El crecimiento industrial debe estar soportado inicialmente en la capacidad técnica de las instalaciones de soportar las nuevas exigencias de producción, para lo cual se debe tener claro cuál es la capacidad actual instalada y la demanda real que se hace de esta. La información obtenida de estos estudios debe conservarse actualizada con el fin de facilitar el cálculo de factibilidad de nuevos proyectos y crecimiento industrial. Así mismo se debe tener presente al momento de estimar la capacidad de las redes de soporte, en especial la red neumática principal, de ser capaces de un crecimiento industrial, los nuevos equipos de producción y la mano de obra adicional que demandarán este fluido para el desarrollo normal de sus actividades, con el fin de calcular la afectación real prevista bajo las nuevas condiciones.

La situación actual de la red neumática principal exige que se intervenga de manera efectiva sobre esta para evitar más pérdida de producción por causa de la indisponibilidad. Esta intervención es principalmente una identificación y organización de la red de aire comprimido, lo cual no requiere mayores inversiones económicas, siendo la adecuación de tramos fuera de servicio la mejor opción para realizar esto.

La separación de los aires del salón de producción del taller de piezas plásticas es una opción técnicamente viable, lo que permitirá reducir significativamente las distancias de transporte de aire comprimido y de esta manera las pérdidas de presión se reducirán igualmente. Así mismo, la carga sobre los compresores del salón de producción se reducirá, permitiendo tener realmente un sistema de stand-by funcional que garantice la disponibilidad del sistema.

## **BIBLIOGRAFÍA**

ARISTIZÁBAL RESTREPO, Sergio. Curso de extensión Neumática Industrial. Principios y aplicaciones. Memorias. Medellín: Universidad EAFIT, 1988

CARNICER ROYO, E. Aire Comprimido. Teoría y Cálculo de las Instalaciones. Barcelona. Gustavo Pili S.A. 1977. ISBN: 84-252-0662--6

CHADID SIERRA, Juan Carlos. "Diseño de Redes de Aire Comprimido". Medellín. 1988, 152p. Trabajo de Grado (Ingeniero Mecánico). Universidad EAFIT. Escuela de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Mecánica.

LANDIS, Scott. The Workshop book: a craftsman's guide to making the most of any work space. Estados Unidos de América: Taunton Press, 1998. ISBN 09-423-9137-3

LEVY, Sydney M. MEP Databook. Estados Unidos de América: McGraw-Hill Professional, 2000. ISBN 00-713-6020-4

LÜTTGENS, Günter y WILSON, Norman. Electrostatic Hazards. Estados Unidos de América: Butterworth-Heinemann, 1997. ISBN 07-506-2782-4.

VELASQUEZ R., Juan Guillermo. "Propuesta de diseño para un sistema de empacado para pollos enteros en Friko planta Norte y rediseño de la red de aire comprimido". Medellín. 1996, 108p. Trabajo de Grado (Ingeniero Mecánico). Universidad EAFIT. Escuela de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Mecánica

VAN DIJEN, F. S. G. "Mecanización Neumática". Zaragoza. Distresa S.A. 1982. ISBN: 84-7087-197-8

COMPRESSED AIR@

Página con información de equipos y accesorios para redes neumáticas [en línea] [Citado Marzo 2008]. Disponible en Internet. <http://www.ecompressedair.com/accessories/leakdetector.shtml>

MINTRANS@

Página del Ministerio de Transportes de Colombia [En línea] [Citado Noviembre 2007] Disponible en Internet. <http://www.mintransporte.gov.co/Servicios/Estadisticas/home.htm>

MONOG@

Página con Generalidades y Elementos Constitutivos de una red de aire comprimido [En línea] [Citado: Octubre 2007] Disponible en Internet. <http://www.monografias.com/trabajos16/redes-de-aire/redes-de-aire.shtml>

PFC@

Página con generalidades y clasificación de compresores. [En línea] [Citado: Noviembre 2007] Disponible en Internet. <http://www.proyectosfindecarrera.com/tipos-compresores.htm>

PREVOST@

Página principal de proveedor de sistemas de transporte de aire comprimido en aleación de PVC [En línea] [Citado: Febrero 2008] Disponible en Internet. <http://www.prevost.eu/>

SOFASA@

Página Principal de SOFASA [En línea] [Citado Octubre 2007]. Disponible en Internet. <http://www.sofasa.com.co/sofasa/Default.aspx>

SOLOMTTO@

Portal de Mantenimiento industrial [En línea] [Citado Febrero 2008] Disponible en Internet. <http://www.solomantenimiento.com/diccionario.htm>



# IMPLEMENTACIÓN DE PLAN PILOTO DE TPM EN UNA INDUSTRIA DE CERÁMICA

DIEGO LUIS PINTO LÓPEZ

dpintolo@eafit.edu.co

Departamento de Ingeniería Mecánica

JUAN FERNANDO MESA VELÁSQUEZ

jmesavel@eafit.edu.co

Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS

MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

ASESOR PRINCIPAL

JUAN PABLO AGUDELO

SECTOR BENEFICIADO

UNIVERSIDAD EAFIT



## RESUMEN

El propósito de este proyecto es realizar una implementación de los cuatro primeros pilares del TPM en una zona piloto en una industria cerámica. También se quiere medir la efectividad del TPM en la empresa monitoreando los indicadores de disponibilidad, rendimiento y calidad para ver el comportamiento de la Efectividad Global de la Zona seleccionada en la empresa.

## ABSTRACT

The purpose of this project is to conduct an implementation of the first four pillars of TPM in a pilot area in a ceramic industry. It also wants to measure the effectiveness of TPM in the company to monitor indicators of availability, performance and quality to see the behavior of the overall effect of the zone selected in the company.

## PALABRAS CLAVES

Disponibilidad: Condición de que la máquina se encuentre apta para funcionar.

Rendimiento: Cantidad de producto realizado por la máquina en un tiempo determinado.

Calidad: Estado en el que la máquina entrega el producto después de realizar el proceso.

EGZ: Efectividad Global de la Zona piloto, se halla con la multiplicación de la disponibilidad, rendimiento y calidad.

## KEY WORDS

Availability: Requirement that the machine is safe to operate.

Performance: Quantity of product made by the machine at a time.

Quality: State in which the machine delivers its product after the process.

EGZ: Overall effect of the Pilot Zone, is the multiplication of availability, performance and quality.

## **INTRODUCCIÓN**

La competitividad nacional y mundial es una variante en crecimiento diario que exige a las empresas dar o prestar servicios de muy buena y alta calidad. En otras palabras, si se quiere ser competitivo se, necesita de calidad y para la calidad se necesita del proceso, los cuales son inseparables.

De la misma forma que la calidad y los procesos, estos últimos son inseparables de los equipos, con lo cual se llega a concluir que todo comienza desde la máquina.

El Mantenimiento Total Productivo (TPM) se encarga de enfrentar los problemas desde la fase más incipiente en la que se puedan presentar, lo que demuestra que la implantación de un modelo como este en cualquier industria, sin importar el tamaño de la empresa, da paso a un nuevo mundo de competitividad.

En Colombia la implantación de este modelo ha comenzado a tomar auge debido a los resultados que se han dado a conocer por otras empresas en el mundo. Muchas de las empresas que han dado testimonio de su experiencia dicen que han alcanzado una Efectividad Global de Planta (EGP) superior al 85%.

## **PROPUESTA DEL PROYECTO**

Este proyecto tiene dos motivaciones principales: realizar la implementación de un plan piloto del TPM en la zona de prensa en una industria de cerámica, verificando y evaluando su ejecución, y siguiendo el cronograma de actividades que se planearon para la implementación de este en la empresa, se llevará a cabo la aplicación de los 4 primeros pilares del TPM (mejoras enfocadas, mantenimiento autónomo, mantenimiento planeado, educación y entrenamiento), como también analizar los resultados obtenidos en las actividades ejecutadas de dicho plan piloto. Todo esto tiene como finalidad ver y evidenciar la efectividad del TPM en las industrias y mejorar en especial la ejecución de éste en la empresa.

## **MODELO DE IMPLEMENTACIÓN**

Con base en el diagnóstico inicial realizado a toda la zona piloto y equipo de trabajo, se pudieron obtener las siguientes necesidades de la empresa frente al desempeño del proyecto:

- Mejoramiento de la relación hombre máquina, la disponibilidad y la productividad de la zona.
- Eliminación o reducción de las pérdidas relacionadas con la producción.
- Eliminar o reducir las fuentes de contaminación.
- Identificación de los conocimientos que debe tener cada uno de los integrantes del equipo de trabajo acerca de los objetivos, metas y pasos del TPM.

## **ESTRUCTURACIÓN ESTRATÉGICA**

Las actividades, que son delegadas a las personas, son monitoreadas semanalmente por parte de los encargados; estos seguimientos se hacen de manera informal con retroalimentación verbal y se lleva un registro de los pendientes, los cuales son publicados en la cartelera del TPM.

## **CAPACITACIÓN Y ENTRENAMIENTO**

La capacitación del personal estuvo a cargo de los organizadores del proyecto. Las primeras capacitaciones fueron totalmente teóricas, y se basaron en las generalidades del TPM y en las herramientas que se usarían durante el proceso de implementación del plan piloto. Después de haber realizado la sensibilización del equipo de trabajo se comenzaron las capacitaciones teóricas prácticas.

La metodología que se utilizó para la capacitación teórica práctica en la zona piloto, consistía en una introducción al tema y luego se indicaba la forma como se iba a realizar cada actividad en la zona.

## METAS DEL PLAN

Las metas del plan de implementación del proyecto en la empresa son:

- Disminuir la cantidad de desperdicio de pasta en la zona.
- Incrementar la calidad del producto en prensa.
- Incrementar la efectividad global de la zona. (EGZ)
- Disminuir las pérdidas en la zona de prensa.

FIGURA 1  
Indicadores y metas

Indicador	Promedio mensual	Meta
Calidad	95%	97%
Disponibilidad	89%	91%
Rendimiento	73%	85%

## PILARES RELACIONADOS CON EL PROYECTO

Es imposible pensar que se puede implementar un solo pilar del TPM sin que se vea en evidencia la presencia

de otro de los mismos, esto se debe a que el TPM se fundamenta en estos pilares y son la columna vertebral de la implementación, creando así una dependencia entre ellos. Los pilares relacionados con el mantenimiento autónomo son el pilar de educación y entrenamiento, seguridad y medio ambiente y mejoras enfocadas.

## SEGURIDAD EN LA ZONA

Con ayuda del departamento de riesgos profesionales en la empresa se pudo recolectar toda la información que incumbe a la zona de prensa en la seguridad industrial. Se consiguieron los manuales de seguridad de los preneros, mecánicos y electricistas de dicha zona. El indicador que se lleva en la zona piloto mostro que no hubo accidentes durante la ejecución del proyecto.

## MANTENIMIENTO AUTÓNOMO

### Las 5 eses

Lo primero que se realizó en esta parte fue la creación del formato de la tarjeta roja que se ve en la siguiente figura2. Además se creó una zona de desalojo para todos los elementos que se necesiten retirar de la zona piloto después de haber realizado el trabajo de las 5 "s".

FIGURA 2. Tarjeta roja

TARJETA ROJA		
<b>CATEGORIA</b> <input type="checkbox"/> Materiales <input type="checkbox"/> Máquinaria <input type="checkbox"/> Semiprocesado <input type="checkbox"/> Httas y suministros <input type="checkbox"/> Producto terminado <input type="checkbox"/> Otros, cual:		<b>RAZON DESALOJO</b> <input type="checkbox"/> Obsoleto <input type="checkbox"/> Sin programa <input type="checkbox"/> Defectuoso <input type="checkbox"/> No pertenece a la máquina <input type="checkbox"/> Duplicado <input type="checkbox"/> Otros, Cual:
<b>NOMBRE DEL ELEMENTO</b>		<b>COD.</b>
		<b>CC</b>
<b>CANTIDAD</b>		<b>VALOR \$</b>
<b>Vo. Bo. (FIRMA Y FECHA)</b>		<b>DESTINO FINAL</b>

Con la implementación de la demarcación de los implementos de aseo se pudo disminuir un poco el tiempo de limpieza de los equipos, ya que se redujo la duración de la búsqueda de los elementos de aseo aproximadamente en 2 minutos por turno, y gracias a su ubicación estratégica, la cual es cercana a cada equipo. Esta implementación se transforma en un ahorro; para la empresa, de 6 minutos diarios es decir de 180 minutos mensuales lo que equivale a \$11.250 mensuales que corresponde a \$135.000 al año.

## DESARROLLO DE MANTENIMIENTO AUTÓNOMO

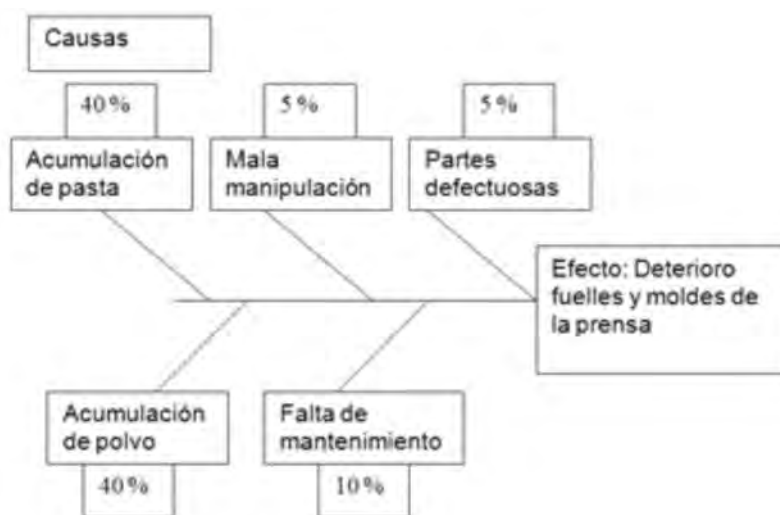
El inicio de este pilar se puede soportar con actividades antes realizadas en las 5'S. El primer paso para el mantenimiento autónomo que se trató en el proyecto fue el de limpieza inicial con carácter de inspección, y fue realizado por cada miembro del equipo de trabajo, en las máquinas especificadas por el superintendente de la zona.

Se creó un estándar de limpieza para la implementación consecutiva de estos pasos del pilar. Se detectó un área de difícil acceso en la prensa. El problema de la acumulación de pasta y polvo en esta zona con tan difícil acceso es el

“deterioro acelerado de los fuelles y moldes de la prensa”, asegura el operario y mecánico de la misma.

El diagrama muestra que las principales causas que llevan al deterioro de los fuelles y los moldes de la prensa son la acumulación de pasta y de polvo que suman el 80% aproximadamente de dichas causas. Ya que dichos componentes de la prensa son críticos y de difícil acceso, se debe mejorar la succión en la zona para mantener limpias todas las partes del equipo incluyendo las mencionadas anteriormente. Al disminuir la acumulación de pasta y polvo se aumenta la vida útil de estos componentes, y además se reduce el tiempo de intervención de mantenimiento de la prensa.

FIGURA 3  
Análisis de espina de pescado



## MEJORAS ENFOCADAS

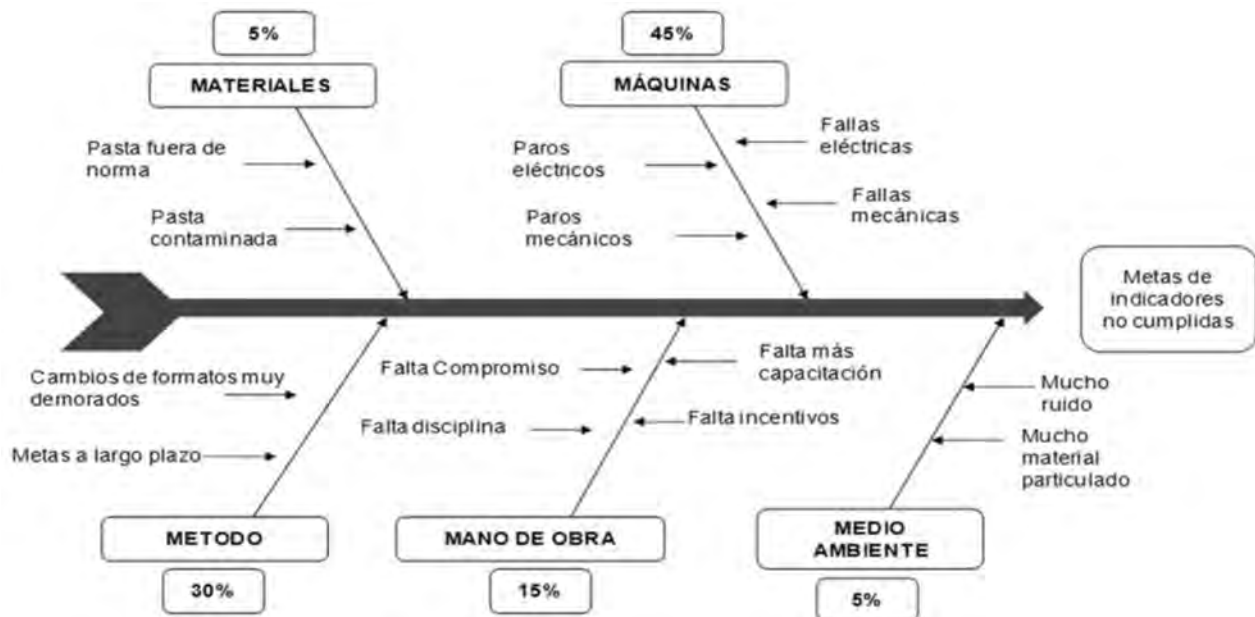
Después de haber comenzado a implementar los conceptos iniciales del TPM dio un pequeño paso al pilar de las mejoras enfocadas, dando a conocer el significado de este pilar al equipo de trabajo, y también realizando un ejercicio de reconocimientos y uso de las mismas mejoras enfocadas en la zona piloto.

Un buen ejemplo fue dado a conocer por parte de un mecánico. En donde muestra algunas mejoras que se realizó a la prensa en los meses pasados.

## PROBLEMAS EN LA IMPLEMENTACIÓN

Los problemas de implementación que repercutieron en el incumplimiento de las metas propuestas se pueden observar en el siguiente análisis de espina de pescado.

FIGURA 4  
Problemas en la implementación



## RECOMENDACIONES

Los indicadores de son de vital importancia para la correcta implementación del TPM; por lo tanto, se debe guardar un registro histórico de cada uno de los datos con los que se calculan dichos indicadores.

Asignar tareas más amplias al ingeniero coordinador del software de mantenimiento para que tenga una participación más activa en el proceso de implementación del TPM en la empresa.

## CONCLUSIONES

Implementar un plan piloto del TPM en 20 semanas es muy ambicioso dado que se tienen diferentes variables (registro de datos, capacitación de personas, ejecución de tareas y otros), que conlleva a superar diversos tropiezos, los cuales reducen la velocidad de avance del proyecto.

Los indicadores de calidad, disponibilidad y rendimiento se optimizaron durante los primeros meses de ejecución del proyecto, permitiendo de este modo obtener resultados reales de la zona evaluada.

Se evidenciaron varios casos de mejoras en la zona piloto, lo que puede servir como ejemplo y carta de presentación para la gerencia, de que el TPM realmente funciona y puede ofrecer una ventaja a la empresa en la optimización de procesos y procedimientos en general.

Los resultados de los indicadores no fueron los esperados, debido a que la disponibilidad y el rendimiento de la zona tuvieron una tendencia a disminuir durante los meses evaluados, sin embargo la calidad tiene una tendencia a mejorar, lo que es de gran importancia puesto que es una señal de mejoramiento en los procesos y el mantenimiento de los equipos.

## **BIBLIOGRAFÍA**

K. HODSON WILLIAM. MAYNARD, Manual del Ingeniero Industrial. Tomo II. Cuarta edición. Mac Graw Hill, México, Septiembre de 2001.

JAPAN INSTITUTE OF PLANT MAINTENANCE. TPM en industrias de Procesos. Versión en español por TGP Hoshin, Madrid, España. 1995.

SEIICHI NAKAJIMA. Introducción al TPM, Mantenimiento Productivo Total. Versión en español, Madrid, España. 1991.

ALVAREZ LAVERDE, Humberto. Kobetu Kaizen: un primer paso para introducir TPM. Disponible en: [http:// www.ceroaverias.com/centroTPM/ articulospublicados/2002-4.htm](http://www.ceroaverias.com/centroTPM/articulospublicados/2002-4.htm)[www.lean-6sigma.com](http://www.lean-6sigma.com)

TPM Mantenimiento Total Productivo, su definición e historia [en línea]. 1999 [citado 4 de Abril de 2002] disponible en Internet: <<http://tpmonline.com/articles.htm>.

GAVIRIA DUQUE, Daniel y RESTREPO ARISTIZABAL, Juan José. Selección de las variables que tiene relación de causalidad directa o estructural con la implantación del TPM: Revisión del caso SOFASA. Medellín (Colombia), 2005, Trabajo de grado (Ingeniero Mecánico). Universidad EAFIT. Departamento de ingeniería mecánica.

OCHOA MARIN, Carolina y LEON OSPINA, Juan Camilo. Análisis de resultados de implementación de TPM en las empresas de Medellín y el valle de Aburra. Medellín (Colombia), 2002, Trabajo de grado (Ingeniero Mecánico). Universidad EAFIT. Departamento de ingeniería mecánica.

# **DISEÑO DEL SISTEMA DE UN BLOQUE MOTOR 2 TIEMPOS PARA MODELISMO DE COMBUSTIÓN INTERNA**

ALEJANDRO URREGO LOPERA

aurregol@eafit.edu.co

Departamento de ingeniería mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS

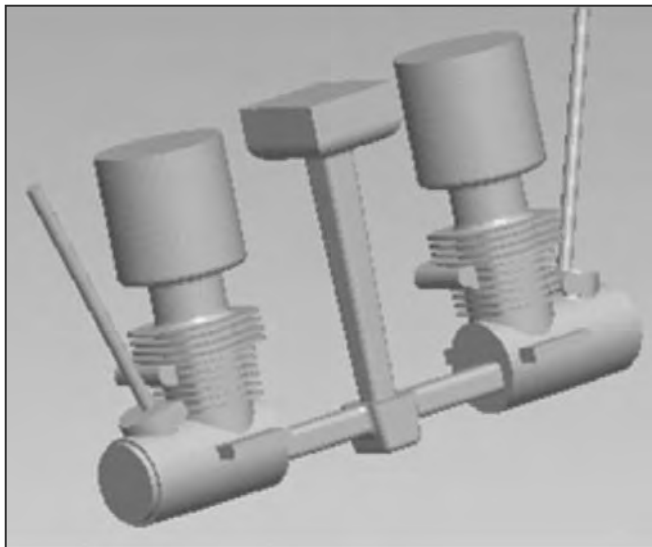
DISEÑO DE SISTEMAS TÉCNICOS

ASESOR PRINCIPAL

GABRIEL JAIME PÁRAMO BERMÚDEZ

EMPRESA

UNIVERSIDAD EAFIT



## **RESUMEN**

Para mostrar la forma en que se desarrolla un molde de fundición de aluminio por coquilla, primero se comienza describiendo como se realiza el proceso de producción. Posteriormente, se citan las consideraciones a tener en cuenta para desarrollar correctamente un molde, para luego entrar a la etapa de modelación.

## **ABSTRACT**

In order to show the way in which a gravity aluminum mold casting is developed, the beginning would be to describe how the production process is made. Later, the considerations for developing a mold in the best way are mentioned to follow into the modeling stage.

## **INTRODUCCIÓN**

En este artículo se encontraran como diseñar un molde para la fundición de un bloque motor por medio de coquillas, antes de realizar el diseño del molde se mostraran las bases que se encuentran actualmente para la fabricación de moldes para tener las mejores decisiones al momento de diseñar el molde, se apoyara después del diseño en base a una simulación computacional para comprobar el comportamiento de este y así estar más seguros de los resultados encontrados.

## **PROCESO DE FUNDICIÓN DE ALUMINIO POR COQUILLA**

Se vierte metal fluido en un molde permanente, fabricado de hierro o acero, se efectúa la fundición en coquillas. Este método tiene una ventaja importante en comparación con la fundición en arena; se puede fundir con la

pieza misma, roscas exteriores mayores, agujeros, etc. Las piezas coladas en coquillas tienen una superficie pareja y limpia por lo que, generalmente, no es necesario un trabajo posterior de acabado. La exactitud de la medida es mucho más grande que la fundición de arena; pero menor que cuando se funde por inyección.

## CONSIDERACIONES PARA LA FABRICACIÓN DE LOS MOLDES DE COQUILLA

Es importante tener varios aspectos importantes a la hora de diseñar un molde de coquilla para fundición, estos requieren de todos los conocimientos que se puedan obtener de la ingeniería para obtener resultados congruentes con los datos suministrados para tener resultados óptimos.

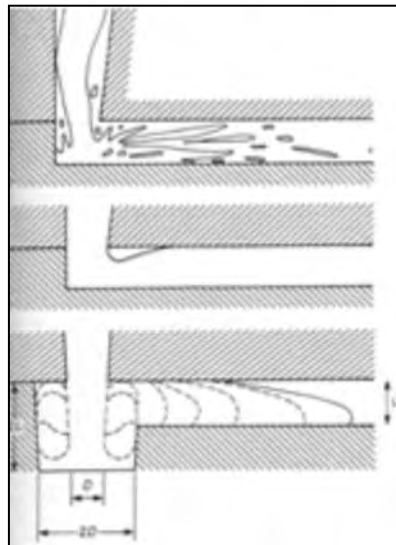
## MATERIALES PARA LA FABRICACIÓN DEL MOLDE DE COQUILLA

Un punto vital para la manufactura de las piezas son la duración de los moldes debido al desgaste que pueden sufrir por la abrasión de las coladas que con el tiempo van desgastando los canales por donde fluye el material, otro aspecto a tener en cuenta son los cambios bruscos de temperatura que se generan al calentar los moldes al recibir la colada ya que esta a su vez proviene con un grado de temperatura mucho más elevado generando un choque térmico que debe ser absorbido por el material. Al estar expuesto a estos cambios el material debe ser resistente a las tensiones que se generan en su estructura y no fracturarse porque se perdería el molde, también debe mantener su forma y no dilatarse en gran forma, ya que la pieza obtenida no tendrá las dimensiones adecuadas, en la práctica el material más utilizado para la fabricación de moldes de coquilla son aceros de herramientas el más apropiado es el AISI H13 que posee propiedades óptimas para la fabricación de moldes ya que soporta perfectamente los choques térmicos y su fácil maquinabilidad mejora su capacidad para la modelación de piezas complejas en su geometría, también este material posee buena capacidad para el templeado.

## PRINCIPIOS PARA LOS CANALES DE ALIMENTACIÓN (COLADA)

Velocidad de llenado del molde. Los canales de alimentación son vitales para el buen terminado al llenado del molde y su buen acoplamiento de la aleación de aluminio con el molde, es importante comprender como un fluido se comporta en circunstancias controladas, el llenado de este molde será por presión atmosférica, es más la experiencia en muchos casos del moldeador que entrega el metal líquido al molde, las velocidades recomendadas para el llenado del molde con aluminio son de 0.2m/s a 0.5m/s para un buen llenado, si se tienen velocidades menores a las descritas pueden generar que las piezas salgan con imperfecciones por el material.

FIGURA 1  
Fuentes para flujos del material fundido con el molde



## EVACUACIÓN DE GASES

Las entradas de los canales no son suficientes para la evacuación del aire y los gases, por lo que se requiere de respiraderos principalmente en la parte superior de la cavidad del molde que tengan un espesor tal que no le permita al aluminio salirse por estos.



## CONTRACCIONES

Al tamaño original se le debe multiplicar por un factor de contracción debido a que al solidificarse el aluminio, la pieza se encoje.

## DISEÑO DEL MOLDE BLOQUE MOTOR POR COQUILLA

En primera instancia debemos hacer una modelación para la pieza que deseamos hacer el molde, para esto utilizamos programas computacionales CAD siglas de Computer Assisted Design en este caso se utilizara Autodesk Inventor 2008, se decidió hacer una reingeniería de un bloque motor existente para tener un bloque comercial con medidas estándares y así poder hacer una pieza que es funcional para motores de combustión interna de 2 tiempos.

FIGURA 2

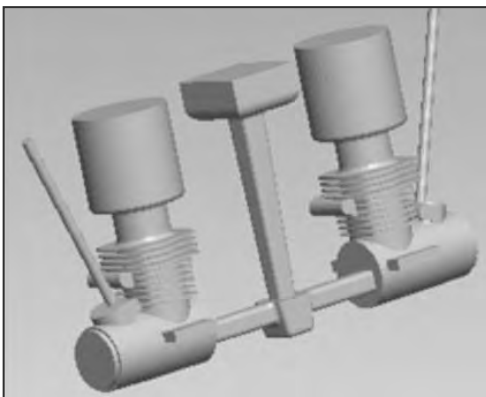
Render del bloque motor en isométrico



URREGO, 2008

FIGURA 3

Render del sistema del molde



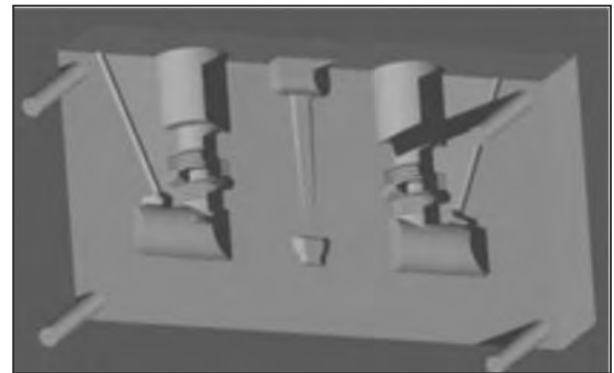
URREGO, 2008

## CAVIDAD DEL MOLDEO

En este molde se aprecia parte del canal de la colada pero solo hasta la bajada al pozo, esto es para que el molde en la parte inferior donde se encuentran las compuertas se desgasten menos en este molde, contiene la parte compleja del desfogue del bloque motor como se ve en la figura 4.

FIGURA 4

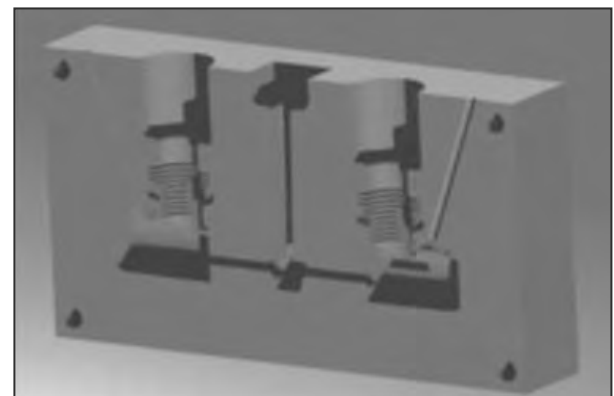
Render molde izquierdo del bloque motor



URREGO, 2008

FIGURA 5

Render molde derecho del bloque motor



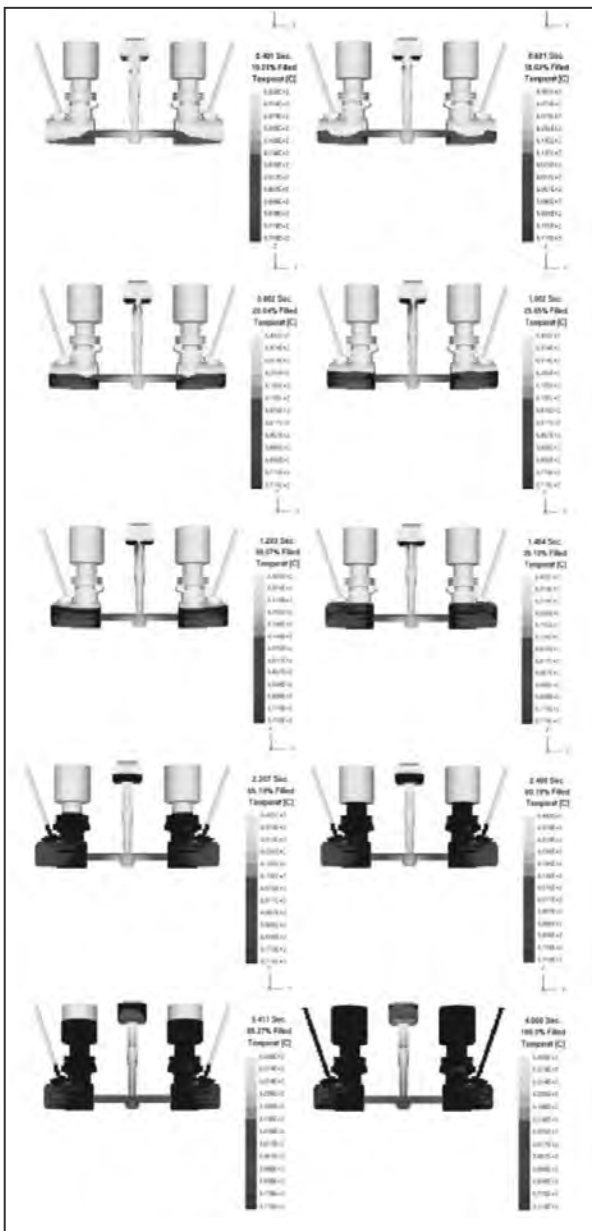
URREGO, 2008

## RESULTADOS OBTENIDOS DE LA SIMULACIÓN

Se Observa como SOLIDcast hace las simulaciones de llenado del molde con cambios de temperaturas a medida

que el molde se va llenando, se puede notar que entre más alta sea la temperatura más amarillo se pone el gráfico y la azul es todo lo contrario mucho más fría, es importante anotar que entre más caliente quede el modelo puede generar rechupes en la pieza generando imperfectos graves en el bloque, en la simulación muestra que estos puntos solo se quedan en los canales de alimentación de la colada mejorando su calidad de enfriamiento.

**FIGURA 6**  
Temperaturas de llenado por medio de SOLIDcast

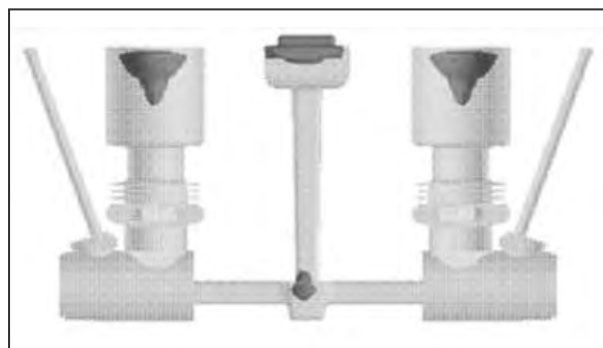


Después de observar las temperaturas tenemos las velocidades de llenado del molde que es una variable importante para el buen llenado de toda la pieza, antes se había calculado la velocidad del llenado del molde dando como resultado una velocidad de 354mm/s a la entrada del molde para un llenado de 4 segundos, en las simulaciones se tuvo unos datos muy acordes a los calculados anteriormente ya que las imágenes que veremos a continuación demuestran que el flujo entro a una velocidad de entre 3mm/s a 5mm/s después de estabilizar el flujo se mantiene en una velocidad más baja de entre 2mm/s y 4mm/s estando más en la velocidad optima de llenado. En las siguientes imágenes veremos el llenado con sus velocidades todo estos videos se encuentran en los anexos.

### DEFECTOS DE LA FUNDICIÓN

Después de ver la secuencia de llenado se ve como llena de forma completa el molde sin dejar espacios o burbujas de aire dentro del molde, dando una idea de que el aire que tenía el molde fue bien evacuado de el por las salidas superiores ya sean por donde están los alimentadores o por la salida que esta encima del bloque en la sección del carburador que por su geometría muestra que por gravedad puede ocultar aire en el llenado del molde, en siguiente la figura podemos observar como el terminar la solidificación no se presentan daños graves en la pieza como lo son las contracciones o rechupes.

**FIGURA 7**  
Defectos de la solidificación



SOLIDcast, 2008

## **CONCLUSIONES**

La ingeniería dispone de herramientas que facilitan la labor, pero es imprescindible una buena fundamentación teórica respaldada con experiencia.

La selección del proceso de coquilla, con base en el producto, se realizó debido a su facilidad de operación y de infraestructura dentro de los recursos que dispone la Universidad EAFIT.

Se deben tener claros los procesos para realizar los moldes de coquilla como son los cálculos de partes importantes del molde, estos son los alimentadores de la colada y los respiraderos o mazarotas, al tener estos requerimientos listos se proceden a diseñar el molde.

Se hacen simulaciones para ver el comportamiento del diseño propuesto del molde y se obtienen los resultados para dicho modelo, como se mostr se puede obtener un modelo de buena calidad eso si aclarando que el programa no puede simular las salidas de los gases de la aleación.

Es vital alejar los puntos más calientes de la fundición para que no genere zonas de alta temperatura y al momento de enfriarse estas, generalmente logran dañar las piezas por dilataciones o rechupes.

Las herramientas CAD CAE CAM y en especial en las simulaciones se puede observar virtualmente cómo se comporta el producto-proceso y nos permiten como herramientas un mayor acercamiento a la realidad.

# **DISEÑO DE UNA MÁQUINA AGLUTINADORA DE POLIOLEFINAS PARA EL TALLER DE PLÁSTICOS DE LA UNIVERSIDAD EAFIT**

**JULIANA MEJÍA HENAO**

jmejahe@eafit.edu.co

Departamento de Ingeniería Mecánica

**JULIÁN RAMÍREZ HENAO**

jramir32@eafit.edu.co

Departamento de Ingeniería Mecánica

**ÁREA DE ÉNFASIS**

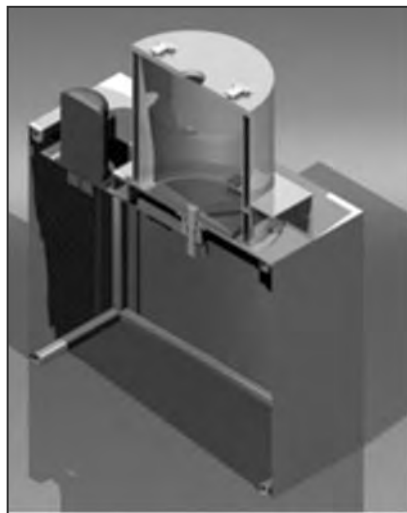
DISEÑO DE SISTEMAS TÉCNICOS

**ASESOR PRINCIPAL**

LUIS SANTIAGO PARIS LONDOÑO

**SECTOR BENEFICIADO**

UNIVERSIDAD EAFIT



## **RESUMEN**

Una máquina aglutinadora es un artefacto que reduce el tamaño de las partículas plásticas, dándoles una forma de crispeta a partir de una transformación física.

En este artículo se presentan las generalidades del proceso de diseño de una máquina para aglutinar poliolefinas, tales como: investigación, diseño conceptual, modelos de cálculo, experimentación y resultados obtenidos.

## **ABSTRACT**

An agglutinator machine is a device that reduces the size of plastic particles; it gives them a pop corn shape through a physical transformation.

In this article is presented an overview about the design process to agglutinate polyolefins; such as: research, conceptual design, calculations, experimentations and final results.

## **PALABRAS CLAVE**

Poliolefinas, polímeros, reciclaje de plásticos, máquina aglutinadora, metodología de diseño VDI 2222.

## **KEY WORDS**

Polyolefins, polymers, plastic recycling, agglutinator machine, VDI 2222 design methodology.

## **INTRODUCCIÓN**

Los polímeros se clasifican en tres grandes grupos: termoplásticos, termoestables y elastómeros. Los termoplásticos se componen de largas cadenas producidas al unir moléculas pequeñas y típicamente se comportan de una manera plástica y dúctil, por lo que se pueden reciclar con facilidad.

La principal aplicación de las poliolefinas se encuentra en la industria del empaque. Se comercializa una buena cantidad de polietileno de baja densidad en forma de rollos de plástico transparente para envolturas. El polietileno de alta densidad se usa para películas plásticas más gruesas, como las que se emplean en las bolsas de basura. Se utilizan también en el proceso de empaque: el polipropileno, el poliestireno, el policloruro de vinilo (PVC) y policloruro de vinilideno.

El crecimiento intempestivo de la industria del empaque, el empleo masivo de bolsas, películas y cubiertas plásticas en productos de diversos tipos trae consigo una problemática ambiental que básicamente consiste en el siguiente cuestionamiento: ¿Cómo reprocesar estos plásticos para disminuir el impacto sobre el medio ambiente?.

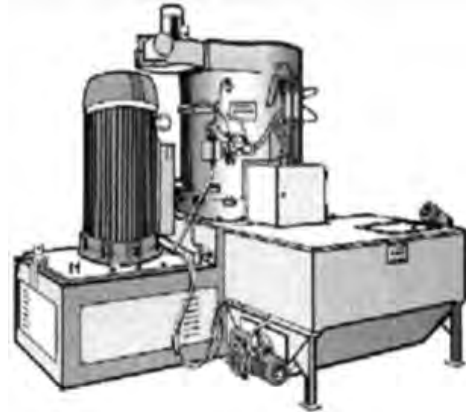
El objetivo de este proyecto, es estudiar las variables relacionadas con las máquinas aglutinadoras de poliolefinas, con el fin de desarrollar una propuesta de ingeniería que le permita al Taller de Plásticos de la Universidad EAFIT llevar a cabo la construcción de un modelo que sirva para la experimentación en el ámbito académico, y adicionalmente sea el punto de partida para posteriores investigaciones que motiven la conformación de grupos de diseño que asesoren las iniciativas empresariales en el sector del reciclaje de plásticos.

## INVESTIGACIÓN

Ante la falta de literatura acerca de las máquinas aglutinadoras de poliolefinas, se hizo una investigación de campo en empresas locales de reciclaje de plásticos en

los cuales se obtuvo información respecto a los modelos comerciales existentes y a las características técnicas de procesamiento y operación.

FIGURA 1  
Máquina aglutinadora



## DISEÑO CONCEPTUAL

El objeto de diseño consiste en una máquina para aglutinar poliolefinas, la metodología empleada corresponde a la norma de diseño alemana VDI 2222. Inicialmente se elabora el conjunto de requerimientos mínimos, fijos y deseos del usuario, conocido como PDS, cuyas especificaciones son:

- Conexiones eléctricas bajo la normatividad colombiana.
- Estructura rígida que minimice la vibración.
- Resistente al golpeo.
- Partes comerciales de consecución local, entre otros.

FIGURA 2. Caja negra

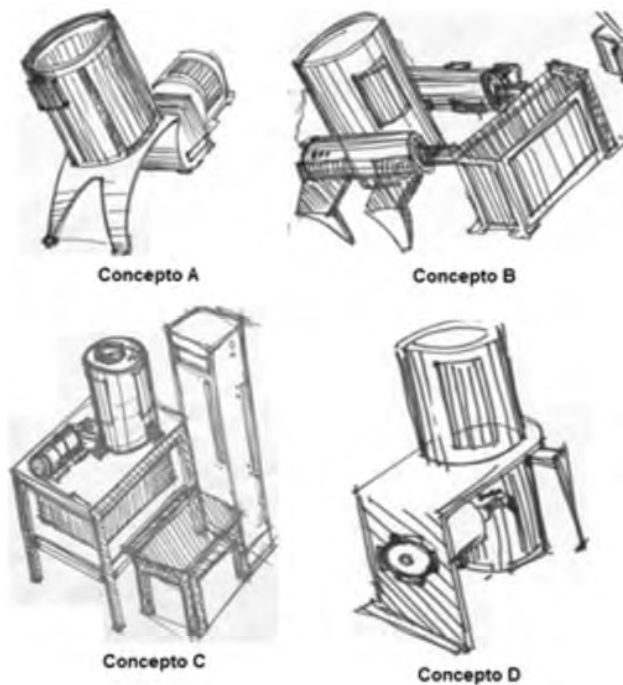


Luego, para realizar la abstracción de la función total se realiza un análisis del sistema que es objeto de estudio y se establece que se debe desarrollar una máquina, que permita cortar material plástico, reduciendo su tamaño original.

Posteriormente el conjunto de funciones parciales expresadas bajo el concepto de caja negra permiten abstraer el conjunto de elementos constitutivos de la máquina y a su vez establecer las interacciones entre los flujos de materia, información y energía.

Se llevan a cabo las estructuras de funciones parciales, la búsqueda de principios solución, la combinación de principios físicos de solución y es así como cada una de las fases de la metodología permite la concepción de un conjunto de propuestas de diseño que satisfacen de una u otra forma los requerimientos establecidos en el PDS.

**FIGURA 3**  
Conceptos de diseño



El concepto de diseño de solución escogido se expone a los parámetros de cálculo y se desarrolla completamente como propuesta de diseño.

## CÁLCULOS

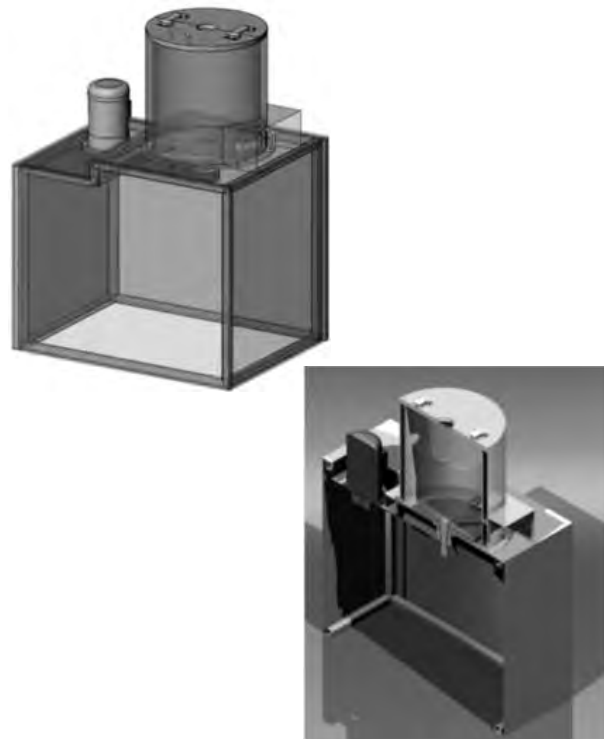
Se realizan los cálculos del sistema de transmisión de potencia bajo el análisis de cargas estáticas del sistema, siendo los principales: selección del motor, transmisión por correa, estimación de la fuerza de corte del polietileno, cargas de los rodamientos, eje de transmisión y volante de inercia.

## PROPUESTA DE DISEÑO

La propuesta de diseño consta de un sistema de transmisión de potencia que incluye una volante de inercia para evitar el sobredimensionamiento de las fuentes motrices, que traen consigo considerables pérdidas energéticas.

Adicionalmente, cuenta con un sistema de cuchillas, desmontable, fácil de mantener con el fin de mejorar las condiciones de afilado y el mantenimiento. El sistema de cuchillas consta de cuchillas fijas y móviles, las primeras ubicadas dentro del recipiente de almacenamiento y las segundas que giran conjuntamente con la volante, cuyos ángulos de corte buscan optimizar la calidad del corte.

**FIGURA 4**  
Propuesta final de la máquina aglutinadora

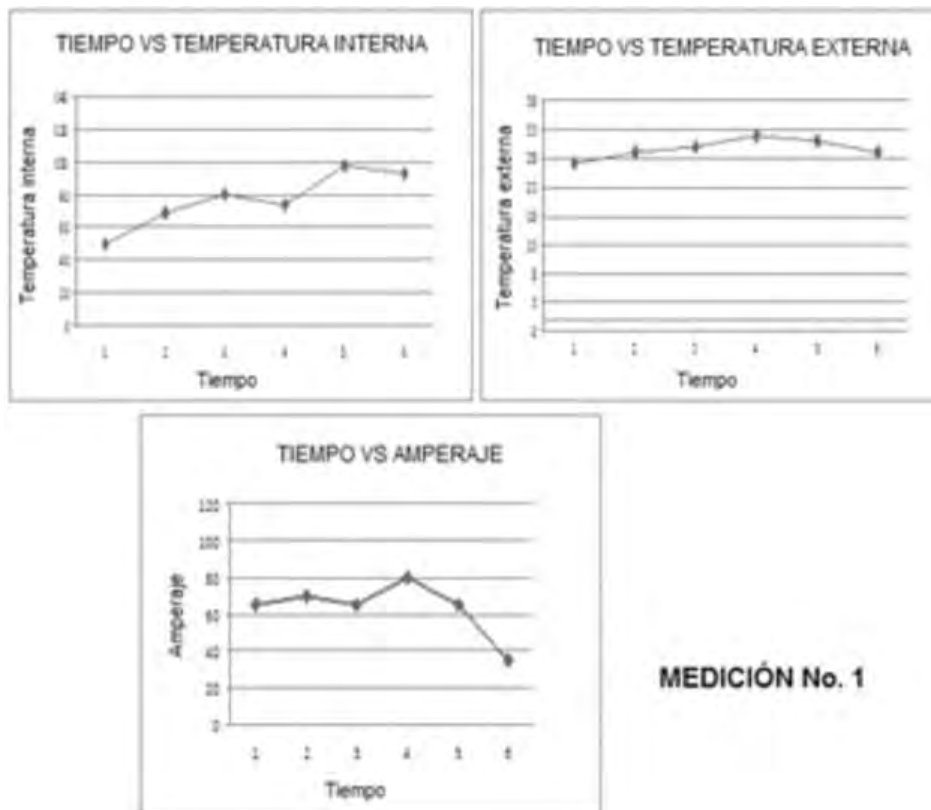


## MONITOREO DE LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN

La incipiente literatura disponible en la actualidad sobre máquinas aglutinadoras, hace que el trabajo de campo sea una actividad idónea para la recolección de datos e información.

El análisis de las principales variables que afectan la operación de las máquinas aglutinadoras es el resultado de un monitoreo sencillo que se lleva a cabo en una de las empresas de reciclaje de la ciudad, en las que se monitorean las variables de temperatura y amperaje durante un ciclo de procesamiento de material post-consumo.

FIGURA 5  
Monitoreo del procesamiento de una máquina aglutinadora



## **CONCLUSIONES**

Ante la falta de antecedentes históricos, esta propuesta de diseño es un buen inicio para profundizar sobre el papel de las máquinas aglutinadoras en el proceso del reciclaje de plásticos.

El diseño está encaminado a proveer a los estudiantes de la universidad un contacto directo con la máquina dentro del taller de plásticos, éste se realizó dentro de los requerimientos mínimos de las aglutinadoras comerciales analizadas.

## **BIBLIOGRAFÍA**

ABIA L. Jose. ELEMENTOS DE DIBUJO MECÁNICO Y DISEÑO. COLOMBIA: Universidad nacional de Colombia

ASKELAND R Donald CIENCIA E INGENIERIA DE LOS MATERIALES. CHILE: Internacional Thomson, 1998. ISBN 0-534-93423-4

ASOCIACIÓN DE INGENIEROS ALEMANES. METODOLOGÍA DEL DISEÑO, CONCEPCIÓN DE PRODUCTOS TÉCNICOS. NORMA VDI 2222. 1977

HAMROCK J. Bernard, JACOBSON Bo y SCMID Steven R. ELEMENTOS DE MAQUINA. MEXICO: McGraw Hill, 1999. ISBN 0-256-19069-09

SHIGLEY E. Shigley, MISCHKE E Charles. DISEÑO EN INGENIERIA MECÁNICA. MEXICO: McGraw Hill, 2002. ISBN 0-07-365939-8



# **DISEÑO DE UN SISTEMA TÉCNICO PARA LAVADO DE PET POST-CONSUMO**

**HENRY ARANGO ECHAVARRÍA**

harangoe@eafit.edu.co

Departamento de Ingeniería Mecánica

**ANDRÉS FELIPE CRUZ RESTREPO**

acruzres@eafit.edu.co

Departamento de Ingeniería Mecánica

**ÁREA DE ÉNFASIS**

DISEÑO DE SISTEMAS TÉCNICOS

**ASESOR PRINCIPAL**

LUIS SANTIAGO PARÍS LONDOÑO

**SECTOR BENEFICIADO**

UNIVERSIDAD EAFIT



## **RESUMEN**

El reciclaje es una de las actividades humanas que se han convertido en prioridad debido a los beneficios que entrega a la sociedad reutilizar los recursos que pueden impactar negativamente el medio ambiente.

El PET en particular proveniente principalmente de envases, se recicla en nuestro medio para ser usado en productos de inferiores características.

El reto que enfrenta el diseño de un sistema para el lavado de PET es encontrar soluciones técnicas que se adapten a las necesidades del medio y usando componentes de fácil consecución, este proyecto muestra todo el derrotero que se sigue desde la definición de una idea fundamental, hasta encontrar un sistema óptimo que cumpla con las necesidades. El experimento realizado permite encontrar la combinación de aditivos más conveniente para extraer al máximo la suciedad que acumula el PET durante todo su proceso post-consumo. Este diseño se convierte en un incentivo a la industria local la cual trabaja con maquinas que carecen de muchas cualidades técnicas que permitan en proceso eficiente, controlado y estándar.

## **ABSTRACT**

The recycling is one of the human activities that have turned into priority due to the benefits that it delivers to the society to re-use the resources that can impact negatively the environment.

The PET comes especially from bottles, it is used in low characteristics products.

The challenge that faces the design of a system for PET's washing is to find technical solutions

that can be adapted to the local needs using components of easy attainment, this project shows the whole course that follows from the definition of a fundamental idea, up to finding an ideal system that satisfy all needs.

The experiment allows to find the most suitable mixture of additives to extract to the maximum the dirt that the PET accumulates during its all process post-consume. This design turns into an incentive to the local industry which works with machines that lack many technical qualities to allow an efficient process, controlled and standard.

## **PALABRAS CLAVE**

PET, reciclaje, diseño, plástico, lavado, prelavado, escama, tubería, boquillas, enjuague.

## **KEYWORDS**

PET, recycling, design, plastic, wash, pipeline, plastic flakes spray nozzles, rinsing.

## **INTRODUCCIÓN**

En Colombia se tiene un errado concepto sobre la maquinaria, nuestra cultura ha incorporado la filosofía de que todas las maquinas deben ser fabricadas en el extranjero para que sean de buena calidad, no obstante hay empresas que se han aventurado al diseño con muy buenos resultados en el país. Este proyecto impulsa ese espíritu emprendedor y pretende entregar a Colombia una máquina de calidad internacional y que pueda cumplir con las tareas para la que se diseñó con los mejores resultados, incluso mejor que las importadas.

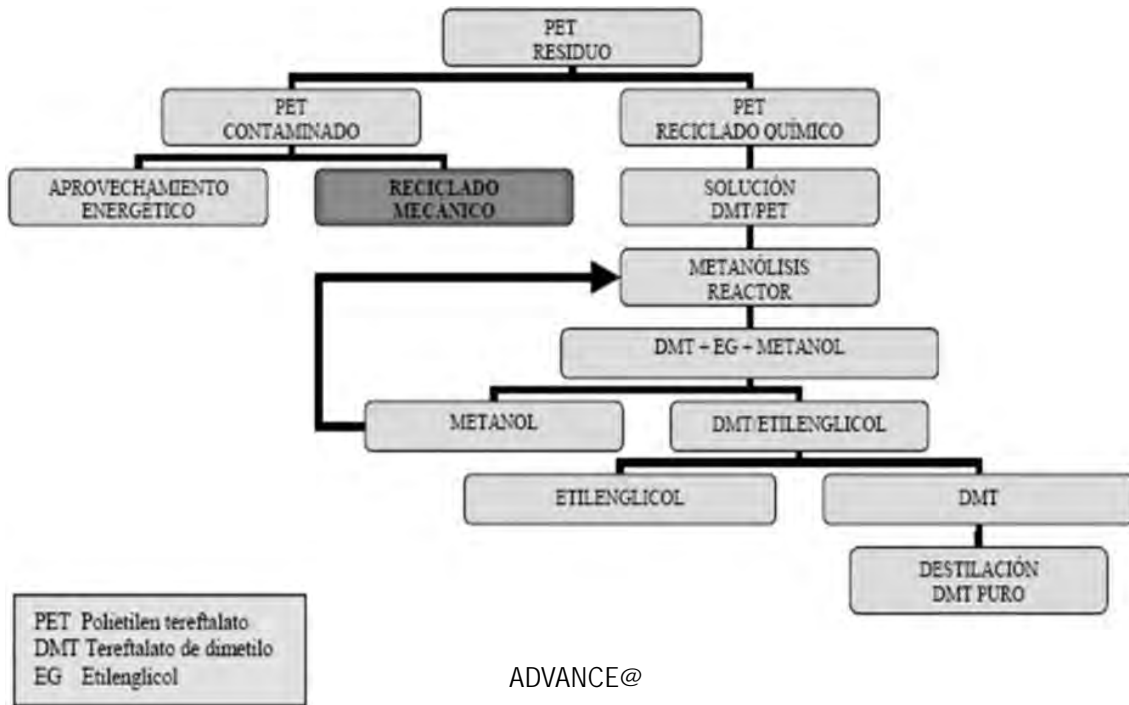
Igualmente se presenta el reto de dar un manejo viable a los residuos plásticos por los volúmenes de residuos de esta naturaleza que se generan por el hombre en los últimos años, lo que ha causado complicaciones ambientales, algunas de ellas irreversibles.

En el ámbito local aproximadamente entre el 25% y el 35% de la totalidad de residuos inorgánicos no son comercializados, queriendo decir que no son reciclados y por lo tanto encuentran su destino en los rellenos sanitarios. Una de las causas de que estos residuos no sean comerciales y reciclados es que ya han tenido previamente contacto con alimentos o con otras sustancias como sangre, incrementando la complejidad del proceso de reciclaje, en algunos casos imposible de hacer. (INGENIEROAMBIENTAL@)

## **PROCESO DE RECICLAJE DEL PET**

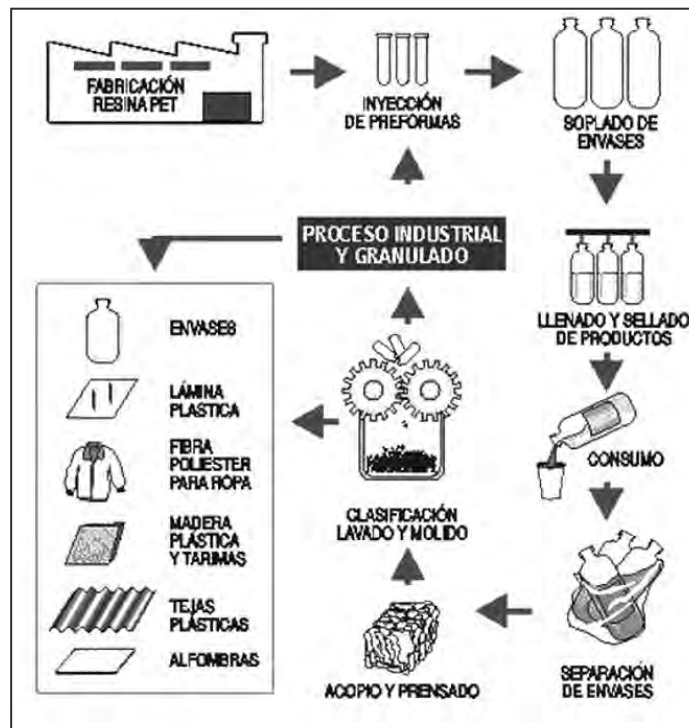
Hay tres maneras de aprovechar los envases de PET una vez que terminó su vida útil: someterlos a un reciclaje mecánico, a un reciclaje químico o a un aprovechamiento energético empleándolos como fuente de energía. En la figura 1 se puede observar un resumen de las diferentes alternativas de tecnologías aplicables en el reciclaje de PET.

FIGURA 1. Alternativas para reciclado de PET



El PET se utiliza en gran variedad de industrias, en la Figura 2 se muestra un esquema con los usos iniciales, los procesos de reciclaje y las aplicaciones del PET reciclado.

FIGURA 2. Ciclo de vida del PET



## RECICLAJE ACTUAL EN COLOMBIA

En las plantas de reciclaje generalmente realizan la limpieza de los plásticos a mano. El lavado se realiza en piscinas de hormigón o ladrillo o en tanques de plástico grandes como se venden comercialmente para almacenar el agua.

Las lavadoras para el reciclaje de plástico surgen de la necesidad de dar mayor valor agregado al proceso; El precio del plástico es mucho más elevado para material limpio. Muchos talleres que procesan el plástico no disponen de equipo para limpiarlo y deben contratar el lavado del material o prefieren comprar plástico limpio, dando una ventaja económica.

Existen varias tecnologías para limpiar los plásticos. La más sencilla es el lavado manual como es descrito anteriormente. En las plantas de reciclaje de mayor capacidad se puede considerar el lavado mecanizado:

- Lavado de trozos grandes en una lavadora de plástico.
- Trituración mecánica de los plásticos con lavado sucesivo.

Una imagen de una lavadora de PET en la industria local se muestra en la Figura 3, este es el método usado actualmente en todas las empresas de la región y consiste en una cuchilla si afilar que tiene la función de golpear el PET y procurar que se separen todos los residuos. La imagen es de una planta ubicada en Itagüí (Antioquia).

FIGURA 3

Lavadora actual de PET (Planta en Itagüí –Antioquia)



La Figura 4 muestra una lavadora de plástico fabricada en un taller local en Loja (Ecuador), la Figura 5 y 26 muestran la implementación del lavado mecanizado de trozos pequeños en una planta recicladora de plástico en Turquía.

FIGURA 4

Lavadora actual de PET (Municipio de Loja (Ecuador))



## REALIZACIÓN DEL EXPERIMENTO PARA MEDIR LA CANTIDAD DE SUCIEDAD QUE SE RETIRA EN EL LAVADO DE PET

Hipótesis a comprobar: El objetivo principal de este experimento es cuantificar la cantidad de suciedad que se puede retirar de una muestra de PET reciclado sucio, mediante el lavado usando las diferentes alternativas que son usadas hoy en la industria nacional.

Variable independiente: La variable independiente que utilizaremos durante nuestro experimento será la concentración de las sustancias o agentes de limpieza que se utilizan en el lavado y esta se medirá en porcentaje de masa respecto al volumen del líquido en el que se sumerge.

Metodología del experimento: Para cada uno de los agentes de limpieza se utilizarán unas concentraciones fijas definidas inicialmente por las investigaciones hechas dentro de la industria local, Según esta investigación se obtuvo que los agentes de limpieza utilizados son la Soda Caustica (NaOH) y el detergente.

Se define que se utilizarán estos dos componentes de manera separada y conjunta para medir su efecto inmediato sobre el PET en proceso de reciclaje. De manera comparativa también se usará el agua sola para observar sus propiedades iniciales de limpieza y así poder comparar el verdadero efecto de uno u otro aditivo.

Además dentro del experimento de lavado se insertarán dos variaciones que pueden influir ostensiblemente en el resultado final de la medición. Estas variables son el aumento de temperatura y la acción mecánica llamada agitación ejercida sobre el PET mientras está en contacto con los agentes de limpieza.

Sujetos sobre los que se va a realizar la medida: La medición se realizará sobre las muestras contenidas en un Beaker, en el que se combinan el agua con los agentes de limpieza para después adicionarle el PET que se encuentra sucio después de ser recuperado en una planta de reciclaje. Este PET tiene una presentación que es conocida como escama (Figura 5). Además el Beaker estará sobre una plancha de calentamiento la cual elevará la temperatura y agitará el material según sea el caso.

Variable dependiente: La variable dependiente a medir es el peso de las partículas de suciedad que quedan después del lavado, para lo cual se utiliza papel filtro el cual será pesado antes y después para observar las diferencias.

**FIGURA 5**  
Escama de PET en proceso de reciclaje



## DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO

Para la realización del experimento se toma una muestra de PET pesada previamente, se adicionan cantidades de aditivos según la tabla de muestras aleatorias que se definió. Ver Figura 7 después de mezclado se filtra el agua sobrante, el papel de filtro se pesa antes y después de la filtración, esta diferencia de medida nos entrega la cantidad de mugre que se extrajo en la prueba.

**FIGURA 6**  
Procedimiento para el experimento



FIGURA 7. Pruebas realizadas

TEMPERATURA	AYUDA MECANICA	COMPONENTES DE LAVADO	DE PRUEBA N.	PESO INICIAL PAPEL FILTRO (gr.)	PESO FINAL PAPEL FILTRO (gr.)	CANTIDAD DE SUCIEDAD REMOVIDA (gr.)	PORCENTAJE DE SUCIEDAD RETIRADO DEL PET (gr_sucied/gr_inic_PET)*100
TEMPERATURA AMBIENTE	SIN AGITACION	Agua	1	0,6	0,69	0,09	0,45%
		Agua + detergente	2	4,2	5,15	0,95	4,75%
		Agua + detergente + soda	3	4,8	6,36	1,56	7,80%
		Agua + Soda	4	4,8	5,42	0,62	3,10%
	CON AGITACION	Agua	5	4,6	4,71	0,11	0,55%
		Agua + detergente	6	4,6	5,7	1,10	5,50%
		Agua + detergente + soda	7	4,4	6,08	1,68	8,40%
		Agua + Soda	8	4,7	5,58	0,88	4,40%
TEMPERATURA 60°C	SIN AGITACION	Agua	9	4,9	5,09	0,19	0,95%
		Agua + detergente	10	4,5	5,59	1,09	5,45%
		Agua + detergente + soda	11	4,9	6,70	0,80	9,00%
		Agua + Soda	12	4,8	5,75	0,95	4,75%
	CON AGITACION	Agua	13	0,6	0,81	0,21	1,05%
		Agua + detergente	14	4,6	5,89	1,29	6,45%
		Agua + detergente + soda	15	4,4	6,80	2,40	12,00%
		Agua + Soda	16	4,8	6,13	1,33	6,65%

FIGURA 8. Resultados obtenidos



Conclusión principal: Según estos resultados cuantitativos la solución de limpieza para lavar PET debe contener soda caustica y detergente en una proporción para ambos del 3%, debe contar con un medio de agitación mecánica y debe ser calentada entre 50°C y 70°C.

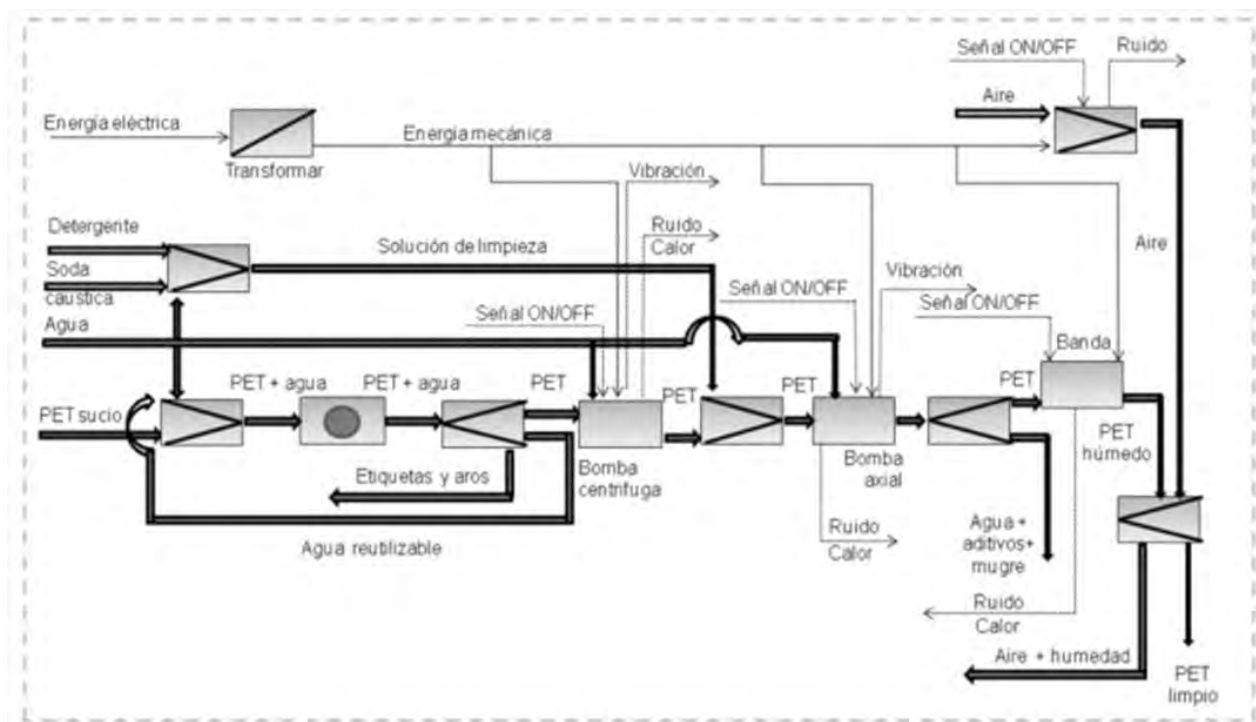
## DISEÑO DE UN SISTEMA DE LAVADO PARA PET RECICLADO

### Estructura de funciones parciales o elementales

El conjunto de funciones parciales expresadas bajo el concepto de caja negra permiten abstraer el conjunto de elementos constitutivos de la máquina y a su vez establecer las interacciones entre los flujos de materia, información y energía. La representación más detallada de la caja negra

con todas las operaciones que ocurren dentro del sistema se presenta en la lustración 7. En la estructura funcional se observa que las entradas del proceso están claramente definidas: detergente, soda caustica, energía eléctrica, agua y PET sucio. Las salidas son: agua mezclada con suciedad, calor, etiquetas, tapas, y ruido en general. Todo este proceso que se espera diseñar se centra en la función principal del proceso, separar toda la mugre e impurezas que posee el PET después de su utilización primaria, por tanto la salida principal del sistema debe ser el PET limpio y listo para ser reutilizado en nuevos productos.

FIGURA 9. Estructura de funciones parciales

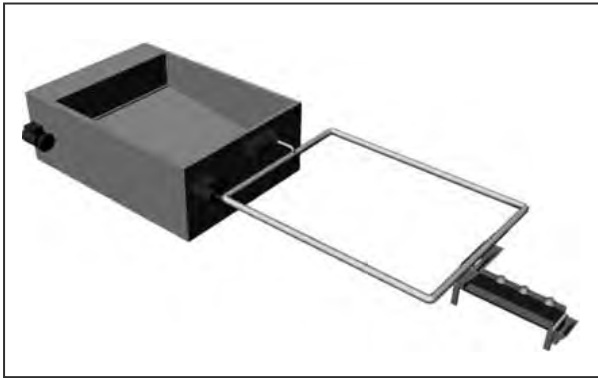


### SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

EL proceso de diseño según Norma VDI222 conduce encontrar tres alternativas que pueden ser posibles soluciones, ya queda a criterio del diseñador basado en su experiencia y conocimientos encontrar aquella que sea más eficiente y económicamente viable.

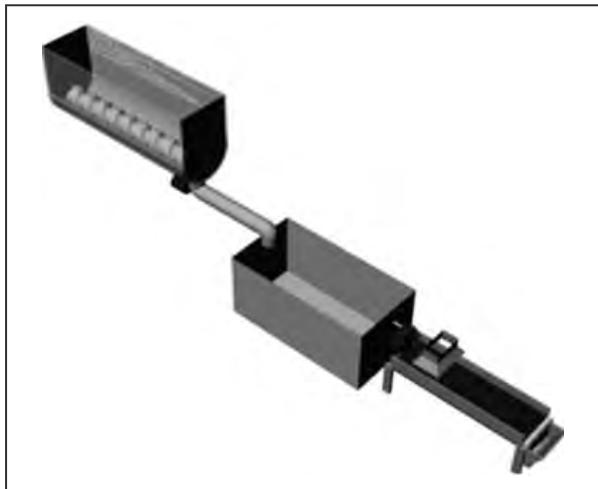
Después de evaluar las alternativas posibles se selecciona la alternativa numero 1 (Figura 10) como la más adecuada para este proyecto, se espera que este sistema sea más eficiente a la hora de extraer el suciedad debido a la alta recirculación que tendrá el PET por la tubería lo que permite mejor exposición a los agentes de limpieza.

**FIGURA 10**  
Figura alternativa de solución 1



Se descartan las alternativas 2 y 3 principalmente por costos, estas requieren tornillos sin fin o ejes sumergidos en agua con soda cáustica, lo que requiere una fuerte inversión en los accesorios involucrados. (Ilustraciones 11 y 12).

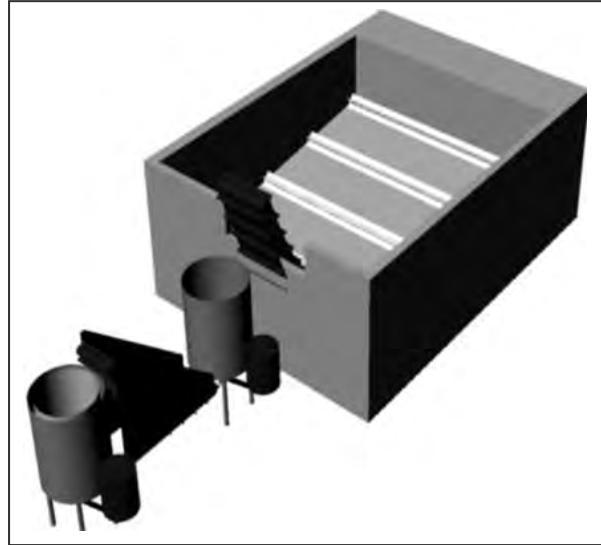
**FIGURA 11**  
Figura alternativa de solución 2



Todos los sistemas cuentan con una tina de flotación en la cual etiqueta y aro flotan, por tener densidades menores a las del agua y el PET se va al fondo. En este caso los materiales son impulsados por chorros de agua tanto en la parte superior como en la inferior. De aquí el PET pasa a un sistema cerrado de tubería con bomba impulsora, en el cual se realiza el lavado, el golpeteo es el responsable de retirar la suciedad con ayuda de agua, detergente y soda cáustica. De aquí pasa al enjuague, un sistema de banda

de transporte en la cual se ubican boquillas con chorros de agua y ventiladores que ayudan tanto a secar el material como a retirar restos de etiqueta.

**FIGURA 12**  
Figura alternativa de solución 3



En este caso en la tina de flotación se ubica un tornillo sin fin, el cual se encarga de hacer circular el material PET, aquí se realiza el proceso de prelavado, de éste pasa a un tanque de lavado en el cual la concentración de jabón y soda en el agua con ayuda de agitadores ayudan a retirar la suciedad. De aquí pasa al enjuague, igual que en el sistema anterior por medio de banda transportadora con boquillas y chorros de agua. Pero el secado se realiza por medio de quemadores de gas.

En esta alternativa se involucran en la tina de flotación aspas, que al rotar impulsan el material para ser trasladado de ciclo, por medio de banda transportadora y así pasar al enjuague. En el ciclo de enjuague se utiliza un tanque vertical, que tiene un motor con sistema de poleas, el cual hace rotar unas cuchillas sin filo en el fondo del tanque, las cuales por ayuda del golpeteo, chorros de agua y los demás aditivos mencionados en las alternativas anteriores ayudan a retirar la suciedad que contenga el material; se realiza un enjuague en el mismo tanque mediante chorros de agua y por medio de banda transportadora pasa a un sistema centrífugo en el cual se realiza secado y se retira residuos de etiqueta.



## DISEÑO DEFINITIVO

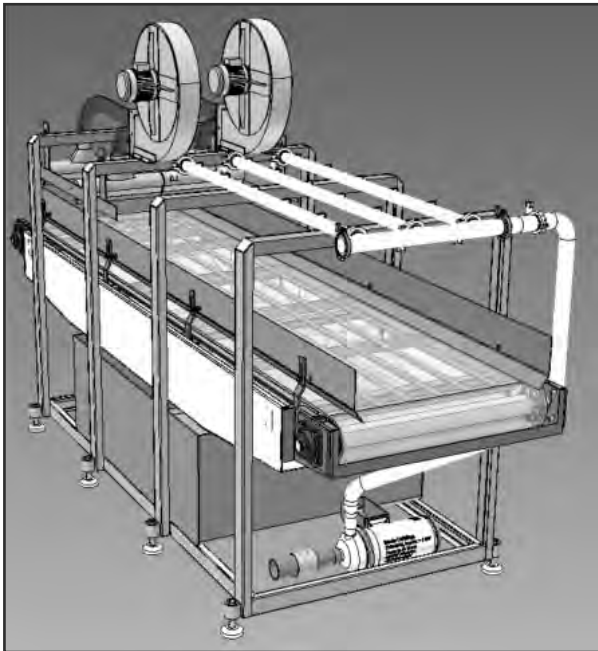
Después de elegir la alternativa más conveniente se procede a diseñar el sistema de lavado, generando un modelo computarizado en el cual se expresan todas las características técnicas del equipo, para este diseño definitivo se deben tener en cuenta aspectos como: materiales, procesos de fabricación, facilidades de montaje, mantenibilidad, costo y se debe hacer énfasis en materiales que sean comerciales y de fácil consecución.

En la figura 14 se muestra el sistema de prelavado y el lavado, el tanque está fabricado en lamina A/C, la tubería también es A/C con dimensiones comerciales en pulgadas, el sistema de lavado se conforma de un circuito por el cual se re-circula la solución impulsada por una bomba de

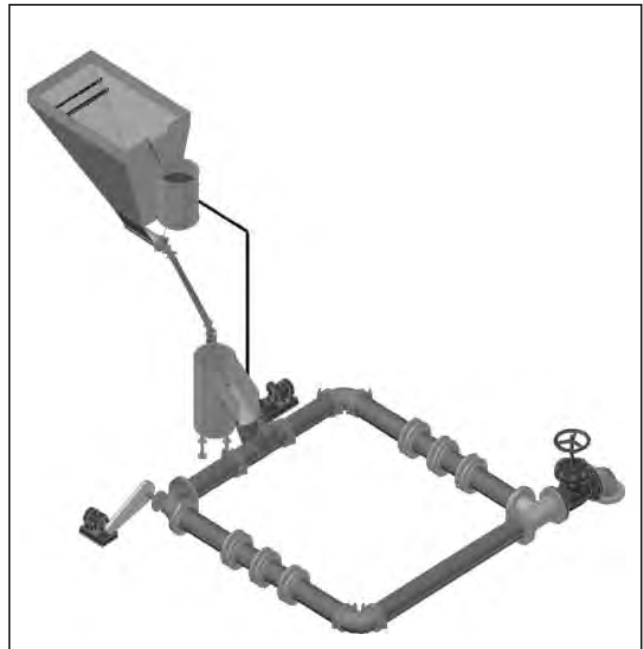
flujo axial, esta bomba es muy importante porque permite manejar caudales altos a bajas presiones a diferencia de las bombas centrífugas que tienen un comportamiento inverso, la descarga se hace mediante una válvula de compuerta fabricada en de acero al carbono.

En la Figura 13 se muestra el sistema de enjuague final, este sistema se compone de una banda comercial perforada fabricada inoxidable 304, esta banda es impulsada por un motoreductor del tipo Sinfín corona, Se compone de una serie de 18 boquillas las cuales se encargan de remover los residuos de detergente y soda que queden después del lavado, al final de la banda se ubican 2 ventiladores que tienen como finalidad secar la humedad que trae el PET de todo el proceso, el material de fabricación del sistema de enjuague final es Acero Inoxidable del tipo 304, para evitar su deterioro causado por la humedad.

**FIGURA 13**  
Enjuague final



**FIGURA 14**  
Lavado y prelavado



## CONCLUSIONES

El experimento realizado permitió observar cuantitativa y cualitativamente los efectos del calentamiento, la agitación, la soda cáustica y el detergente en las diferentes formas de lavado del material PET que encontramos en el mercado.

Según los resultados experimentales se puede observar el impacto positivo que tiene el calentamiento en la calidad del lavado, ayudando a desprender de manera más efectiva la contaminación que contenga el material (ver pruebas N°9-16).

El experimento también reveló que las muestras lavadas con agitación constante, presentaron un mejor resultado que las similares realizadas estáticamente (ver pruebas de N° 5-8 y N° 13-16).

Basados en la información recolectada en la industria local e internacional y las pruebas realizadas, se define que el proceso de lavado de PET se debe realizar en tres subprocesos principales, definidos como: prelavado, lavado y enjuague. Por tanto el sistema técnico de lavado se divide en tres subsistemas que cumple cada uno, una de las tareas definidas.

La norma alemana VDI 2222, con base en la cual se diseño el sistema, permite evitar al máximo los errores y generó tres opciones diferentes de diseño, lo que permite encontrar la que más se adapta a nuestras necesidades descritas por las exigencias del cliente y basadas en los resultados experimentales encontrados.

El análisis financiero muestra que la máquina trabajando a su capacidad normal puede entregarle a su dueño unas ganancias que cubren los costos de fabricación del proyecto y le genera unas utilidades importantes.

Por medio de la norma alemana VDI 2222 y con base en las pruebas realizadas, queda confirmado que tanto la ingeniería como la fabricación del sistema técnico para lavado de PET puede ser realizado nacionalmente.

## **BIBLIOGRAFÍA**

MOTT, Robert L. "Diseño de elementos de maquinas". México: Prentice Hall Hispanoamericana, 1995. Edición 2. ISBN 968885750. 782p.

SHIGLEY Joseph E., MISCHKE Charles R. "Diseño en Ingeniería mecánica"

México: McGraw Hill, 2002. Edición 5. ISBN 9684227787. 883p.

HAMROCK Bernard J., JACOBSON Bo y SCMID Steven R. "Elementos de máquinas". México: McGraw Hill, 1999. ISBN 970102799X. 926p

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. "Documentación. Presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación". Bogotá-Colombia: ICONTEC, 2005. 37p. (NTC 1486).

ASOCIACIÓN DE INGENIEROS ALEMANES. "Metodología del diseño concepción de productos técnicos" Norma VDI-2222 - 1977

INGENIEROAMBIENTAL@. Maquinas para reciclaje [En línea] [Citado Agosto 2007]. Disponible desde Internet: <http://www.ingenieroambiental.com>

AMBIENTEPLASTICO@. Definiciones sobre el PET y demás materiales poliméricos [En línea] [Citado Febrero 2008]. Disponible desde Internet: <http://www.ambienteplastico.com>

ELPRISMA@. Biblioteca virtual [En línea] [Citado Mayo 2008]. Disponible desde Internet: <http://www.elprisma.com>

FREEPATENTS@. Patentes gratis [En línea] [Citado Septiembre 2008]. Disponible desde Internet: [www.freepatentsonline.com](http://www.freepatentsonline.com)

INTEREMPRESAS@. Canal de información sobre equipos industriales [En línea] [Citado Mayo 2008]. Disponible desde Internet: <http://www.interempresas.net>

MONOGRAFÍAS@. Centro de documentación y publicaciones [En línea] [Citado Mayo 2008]. Disponible desde Internet: <http://www.monografias.com>

WIKIPEDIA@ Enciclopedia Virtual - [En línea] [Citado Mayo 2008]. Disponible desde Internet: <http://es.wikipedia.org>

EUROTECHNO@ Maquinaria para reciclaje [En línea] [Citado Mayo 2008]. Disponible desde Internet: <http://www.eurotecno.com/>

ADVANCE@ Reciclaje de PET. [En línea] [Citado Julio 2008]. Disponible desde Internet: <http://www.advance.com.ar/usuarios/eupages/e-rc-pet.html>

# MODELACIÓN PARAMÉTRICA Y MANUFACTURA DE MEZCLADORES PARA EXTRUSIÓN DE TERMOPLÁSTICOS UTILIZANDO SISTEMAS CAD-CAM

JUAN SEBASTIÁN MARÍN URREGO

jmarinur@eafit.edu.co

Departamento de Ingeniería Mecánica

LUÍS FELIPE ROMERO ESCOBAR

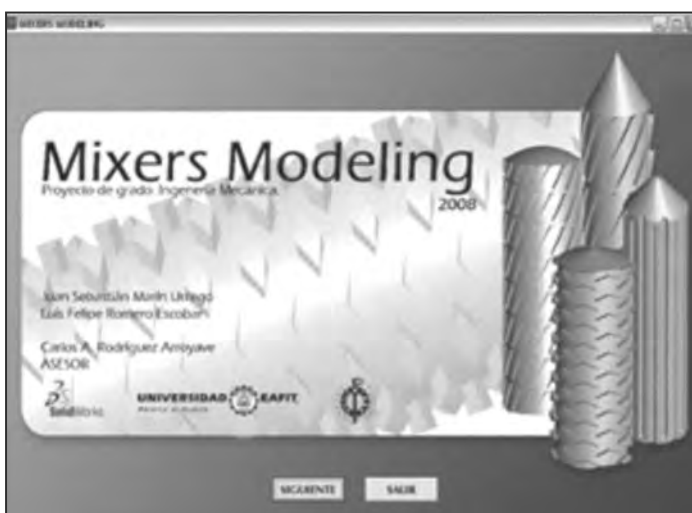
lromeroe@eafit.edu.co

Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS  
PLÁSTICOS

ASESOR PRINCIPAL  
CARLOS ARTURO RODRÍGUEZ

SECTOR BENEFICIADO  
SECTOR PROCESAMIENTO DE POLÍMEROS



## RESUMEN

El proyecto comprende el diseño, desarrollo y la evaluación de una aplicación para la modelación paramétrica de mezcladores para extrusión de polímeros termoplásticos. En una primera etapa se reúne toda la información pertinente para escoger los tipos de mezcladores más estándares y de mayor uso en el mercado, para luego verificar su diseño y geometría con el fin de proceder a realizar la interfase entre Visual Basic y el software CAD elegido.

Durante el desarrollo de este trabajo se elabora un prototipo en resina de un mezclador a partir del diseño obtenido por dicha aplicación. Este prototipo sirve como criterio de evaluación para el proyecto.

## ABSTRACT

This Project includes the design, development and the evaluation of a programme for the modeling of extrusion mixers. In the first stage the whole information about the standard mixers is assembled to check parameters of design and geometry to proceed with the construction of the interface between Visual Basic and the software CAD.

A prototype of a mixer is developed from the modeling. This prototype is an evaluation criteria for this project.

## PALABRAS CLAVES

Extrusión, termoplásticos, mezclador, Solid Works, API (Interfaz para la programación de aplicaciones), Visual Basic.

## KEYWORDS

Extrusion, thermoplastics, mixer, SolidWorks, API (Application Programming Interface), Visual Basic.

## **INTRODUCCIÓN**

En la fabricación de ciertos productos mediante el proceso de extrusión es necesario agregar aditivos para obtener unas características determinadas de apariencia y resistencia. El proceso de mezclado es realizado generalmente por el tornillo extrusor, sin embargo, existen casos en los cuales debido a las características de la mezcla se requieren elementos adicionales para homogenizarla. En estos casos se emplean mezcladores, ya sean de tipo distributivos o dispersivos.

A pesar de haber patentados varios tipos de mezcladores, la industria desconoce su uso, por lo tanto ignora sus grandes beneficios. Debido a esto, no se ha prestado mayor interés en el tema y los desarrollos tecnológicos son mínimos, por lo que no se encuentran actualmente aplicaciones que permitan modelar de forma rápida y simplificada dichos accesorios, como si se ha hecho con los tornillos de extrusión.

## **EXTRUSIÓN DE TERMOPLÁSTICOS**

Los plásticos se clasifican según su estructura interna en; termoplásticos, termoestables y elastómeros. Los polímeros termoplásticos son aquellos que se ablandan con el calor, pudiéndose moldear con nuevas formas que se conservan al enfriarse. Lo anterior es debido a que las macromoléculas están unidas por débiles fuerzas que se rompen con el calor.

La extrusión es un proceso industrial, que consiste en forzar a un material a pasar a través de una abertura denominada cabezal, por medio de un sistema de empuje que generalmente corresponde a un tornillo que gira concéntricamente en una cámara a temperatura controlada para obtener un perfil predeterminado. En la figura 1 se pueden observar las diferentes partes de una extrusora convencional.

## **GENERALIDADES DE LOS MEZCLADORES**

### **Definición**

El mezclado se define como un proceso para reducir la no uniformidad de una composición cuyo mecanismo básico es provocar el movimiento físico de los ingredientes. Los tipos de movimientos que pueden ocurrir son; difusión molecular, movimiento turbulento y movimiento convectivo. Los dos primeros movimientos se limitan esencialmente a gases y a líquidos de baja viscosidad. El movimiento convectivo predomina en líquidos de alta viscosidad, como polímeros fundidos. Los polímeros fundidos no tienen la capacidad de realizar un movimiento turbulento debido a su alta viscosidad; el movimiento es siempre de tipo laminar (RAUWENDAAL, 1994, 322).

### **Tipos de mezclado**

Si los componentes que van a ser mezclados son fluidos y no exhiben un punto de cedencia, el mezclado es distributivo, o más comúnmente llamado mezclado extensivo. El proceso de mezclado distributivo puede ser descrito por la extensión o tensión de deformación, a la cual son expuestos los elementos del fluido. Los esfuerzos involucrados en este proceso son irrelevantes en la descripción del mezclado distributivo. Si la mezcla contiene componentes que exhiben un punto de cedencia, entonces los esfuerzos involucrados en el proceso llegan a ser muy importantes. Si los componentes que exhiben dicho punto de cedencia son sólidos se conoce como mezclado dispersivo o también como mezclado intensivo. En el mezclado dispersivo, el elemento sólido necesita ser desintegrado, pero para desintegrarlo el esfuerzo de cedencia debe ser excedido. Si el componente es un líquido el proceso de mezclado se conoce como homogenización, un ejemplo de mezclado dispersivo es la fabricación de un color concentrado donde la desintegración de los pigmentos aglomerados por debajo de cierto tamaño crítico es de crucial importancia (RAUWENDAAL, 1994, 322).

El mezclado distributivo y dispersivo no está físicamente separado. En el mezclado dispersivo siempre está presente

el distributivo. El caso contrario no siempre se cumple. En el mezclado distributivo, puede estar el mezclado dispersivo solamente si está presente un componente sólido con un punto de cedencia y si el esfuerzo que actúa sobre el componente excede dicho esfuerzo (HENSEN, 1988, 567).

FIGURA 1. Mezclas



MORTON, 1993,78

## MEZCLADORES DISTRIBUTIVOS

Adicional a las características generales deseables para las secciones de mezclado, existen algunas características importantes para los mezcladores distributivos. Estas características son:

- El plástico fundido debe estar sujeto a un esfuerzo cortante significativo.
- El flujo debe ser fracturado constantemente con reorientación de los elementos del fluido (RAUWENDAAL, 1994, 84).

La fractura y reorientación es crítica para alcanzar un mezclado distributivo efectivo, porque la capacidad de mezclado se puede incrementar exponencialmente debido a estos fenómenos.

Los mezcladores distributivos pueden dividirse en varios grupos principales: mezcladores de cavidad, mezcladores de aletas, mezcladores de pines, mezcladores de profundidad de canal variable y mezcladores de ancho de canal variable (RAUWENDAAL, Ibid,85).

## MEZCLADORES DISPERSIVOS

Las siguientes características son deseables para este tipo de mezcladores:

- El mezclador debe tener una región donde el material este sujeto a un alto valor de esfuerzo, preferiblemente esfuerzo de elongación.
- La región donde se somete el material a un alto valor de esfuerzo, debe ser diseñada de manera que sea corta, mientras la exposición al esfuerzo de elongación es maximizada.
- Todos los elementos del fluido deben pasar a través de las regiones de esfuerzo muchas veces para alcanzar una efectiva acción de mezclado dispersivo.
- Todos los elementos del fluido deben pasar a través de las regiones de esfuerzo el mismo número de veces para lograr un mezclado uniforme.

Los mezcladores dispersivos pueden dividirse en varios grupos principales: Mezcladores de Anillo Blister, estriados, de engranajes, y CRD (RAUWENDAAL, 1994, 90).

## DESARROLLO DE LA APLICACIÓN

Para la modelación paramétrica de mezcladores para extrusión de termoplásticos, se utiliza un software especializado en diseño mecánico que permite modelar complejas geometrías en 3D, llamado SolidWorks 2007 en su versión educativa.

Esta poderosa herramienta con la cual se pueden diseñar piezas y ensambles de manera muy versátil fue escogida, entre muchas otras opciones, debido a dos razones principales:

El primer motivo es porque SolidWorks 2007 ofrece la posibilidad de ser programado a través de una herramienta

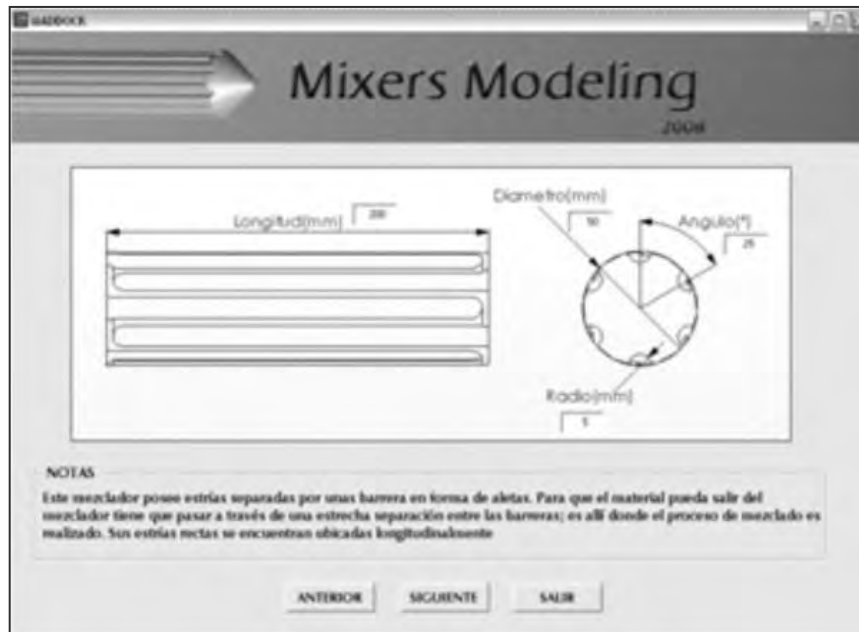
denominada API (Application Programming Interface), la cual no es más que una interfase de programación para dicho software que contiene cientos de funciones que pueden invocarse desde Visual Basic (VB) y Visual Basic for Applications (VBA), proporcionando al usuario un acceso directo a las funcionalidades de SolidWorks mediante el uso de macros.

La segunda razón es debido a que el presente trabajo es la continuación de proyectos anteriores titulados "Modelación paramétrica y manufactura de tornillos para extrusión de termoplásticos utilizando sistemas CAD-CAM-CAE" y "Aplicación de una herramienta de ingeniería asistida por computador para el análisis unidimensional de tornillos de extrusión de termoplásticos", los cuales fueron desarrollados bajo esta plataforma.

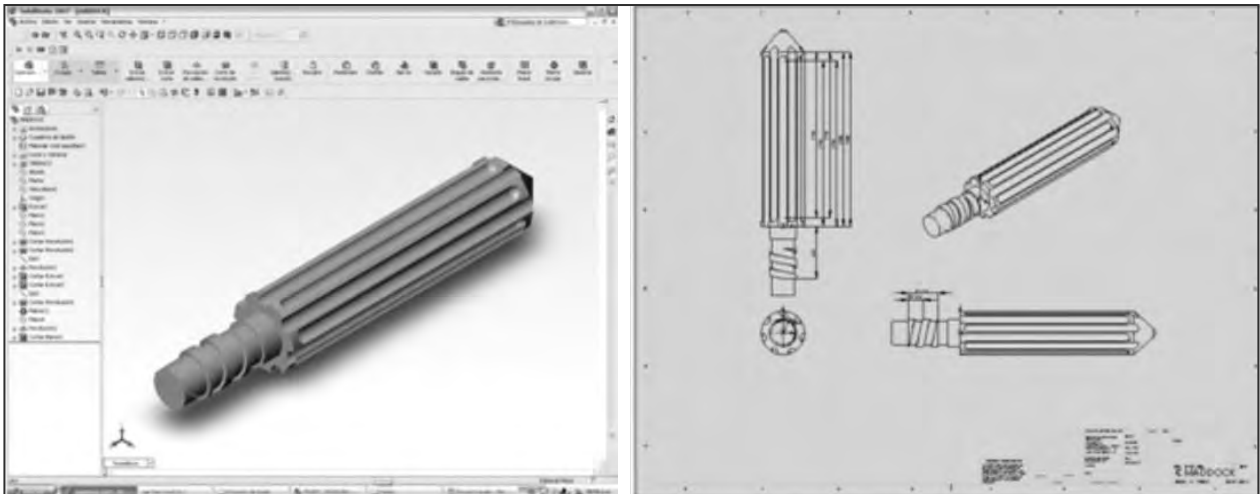
El procedimiento llevado a cabo para la programación de la aplicación consiste en modelar cada mezclador individualmente. Luego mediante la herramienta de macros incorporada en el software CAD seleccionado, se graban las respectivas acciones para finalmente en el editor de Visual Basic analizar, modificar y depurar el código. La estructura de la aplicación, consta de una serie de formularios y subrutinas que se relacionan entre sí.

La herramienta computacional permite la modelación paramétrica de mezcladores para extrusión de termoplásticos. Como resultado permite obtener un modelo del mezclador seleccionado con su respectivo plano de fabricación.

FIGURA 2  
Pantalla de opciones Mezclador Maddock



**FIGURA 3**  
Modelación y plano de mezclador Maddock



### MAQUINADO DEL PROTOTIPO

El material elegido para la fabricación del prototipo es Poliacetil, el cual es un polímero cuyas propiedades de maquinabilidad son las adecuadas, además que proporciona un excelente acabado superficial. El tipo de accesorio elegido es un mezclador distributivo de romboides simétricos, más conocido con el nombre de "piña", cuyas características geométricas para el modelado se enumeran a continuación:

- Diámetro externo: 50mm.
- Profundidad del canal: 5mm.

- Longitud de la zona de mezcla: 200mm.
- Ancho del canal: 7mm.
- Paso del canal: 50mm.
- Punta cónica con redondeo.

La herramienta utilizada para el maquinado es una fresa de punta redonda con un diámetro de 5mm. La duración aproximada del proceso de maquinado es de 1.5 horas. El husillo de la máquina gira a una velocidad de 6000RPM, las operaciones de desbaste se realizan con un paso de 2mm y una profundidad de corte de 2mm, y durante el acabado se utiliza un paso de 0,5mm y una profundidad de corte de 1mm.

**FIGURA 4**  
Prototipo de mezclador maquinado



## RECOMENDACIONES

El uso de los mezcladores es común en los procesos de extrusión de termoplásticos, y aunque existen una gran cantidad de diseños, los detalles del comportamiento del flujo y la efectividad del mezclado no son bien comprendidos. Dado que la aplicación desarrollada en este proyecto no se encarga propiamente del análisis de los mezcladores se recomienda que a partir de esta se desarrolle una nueva encargada de comparar mediante análisis computacionales como el BEM (3-Dimensional boundary element method) las distintas geometrías de acuerdo a la eficiencia, presión y consumo de energía. Además, se recomienda recopilar en una sola aplicación, todos los asistentes computacionales realizados a partir de proyectos de grado anteriores y de los trabajos de la materia extrusión de polímeros.

## CONCLUSIONES

A pesar de que el proceso de extrusión, en especial el diseño y el comportamiento del tornillo, es un tema en constante investigación y desarrollo, obtener los conceptos, parámetros y variables relacionadas con los mezcladores es bastante complejo, puesto que la bibliografía sobre este tema es escasa y restringida.

La aplicación desarrollada, "Mixers Modeling", permite modelar paramétricamente mezcladores para extrusión de termoplásticos de una manera rápida y didáctica, de tal forma que el resultado obtenido cumple con los requerimientos del usuario.

Para el desarrollo del software no fueron utilizados modelos matemáticos ni ecuaciones que relacionan variables y parámetros geométricos, debido a que en la bibliografía encontrada los autores no proporcionaban dichos recursos, lo que implica que la persona que desee utilizar la aplicación debe tener algunos conocimientos básicos sobre los mezcladores que le permitan obtener la geometría más eficiente según las características del proceso.

La herramienta CAD elegida para el desarrollo de la aplicación, SolidWorks 2007, y la plataforma de

programación, Visual Basic, ofrece excelentes alternativas debido a su fácil manejo y gran compatibilidad, además, permiten vincular este proyecto, no solo con otros realizados anteriormente, sino también con futuros trabajos que impulsen a la Universidad EAFIT a ser líder en investigación e innovación en materiales poliméricos.

El mezclador prototipo fabricado mediante el uso de un software CAM llamado Matercam, permitió evaluar el desempeño de la aplicación, puesto que a partir de la geometría obtenida fue posible generar la superficie necesaria para programar el código de maquinado.

En la industria local no se tiene la suficiente conciencia acerca de la importancia que tiene el invertir en grupos de trabajo y tecnología para la investigación y el desarrollo de nuevas tendencias productivas que brinden una mayor calidad a sus productos y servicios sin afectar la productividad, lo anterior, debido a que muchos procesos aún se manejan de forma empírica, sin herramientas tan útiles y versátiles como esta aplicación computacional, por el simple hecho de que solo se tienen en cuenta los altos costos que estas demandan y no los grandes beneficios que se pueden alcanzar.

## BIBLIOGRAFÍA

ARISTIZÁBAL BOTERO, Santiago; SÁENZ AGUDELO, Daniel y VALENCIA ESTRADA, Francisco. Modelación paramétrica y manufacturera de tornillos para extrusión de termoplásticos utilizando sistemas CAD/CAM/CAE. Medellín, 2005. P.V.p. Trabajo de grado (Ingeniería de Producción). Universidad EAFIT.

BERNAL SIERRA, Luis Felipe. Aplicación de una herramienta de Ingeniería asistida por computador para el análisis unidimensional de tornillos de extrusión para termoplásticos. Medellín, 2005. P.V.p. Trabajo de grado (Ingeniería Mecánica). Universidad EAFIT.

HENSEN, Friendhelm. Plastics extrusion Technology. Munich : Hanser, 1988. 738p. ISBN 3446145893.

RAUWENDAAL, Chris. Polymer extrusion. 3 ed. Cincinnati: Hanser, 1994. 568p. ISBN 1569901406.



SPENS, Mike. Automating SOLIDWORKS 2004 using macros. S. L.: SDC, 2004. 196p. ISBN 158503164X.

TADMOR, Zehev y KLEIN, Imrich. Engineering principles of plasticating extrusion. New York : Van Nostrand Reinhold, 1970. 500p.

MORTON-JONES, D. H. Procesamiento de plásticos : Inyección moldeo hule PVC. MEXICO : LIMUSA, 1993. 302p. (.). ISBN 9681844343

ACOPLÁSTICOS@ Información de procesamiento de polímeros en general – Visitado en mayo de 2007. [http://www.acoplasticos.com/info/recursos\\_educativos/plasticos\\_s\\_xx.pdf?id\\_sesion=](http://www.acoplasticos.com/info/recursos_educativos/plasticos_s_xx.pdf?id_sesion=)

PLASTICS TECHNOLOGY@ Tecnología del plástico - Visitado en Abril de 2007. <http://www.ptonline.com/articles/199907fa2.html>

RAUWENDAAL EXTRUSION ENGINEERING@ Ingeniería de procesamiento de polímeros - Visitado en mayo de 2007. [http://www.rauwendaal.com/FEATURE\\_VIP.htm](http://www.rauwendaal.com/FEATURE_VIP.htm)

RDRAY@ Patentes de tornillos y mezcladores de extrusión - Visitado en mayo de 2007. <http://www.rdray.com/extruder.htm>

UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE@ Oficina de patentes de los Estados Unidos – Visitado en Junio de 2007.

# ELABORACIÓN DE UNA TAPA DE ALCANTARILLA CON MATERIALES COMPUESTOS

ÁLVARO PERDOMO MORA

aperdomo@eafit.edu.co

Departamento de Ingeniería Mecánica

LUKAS JARAMILLO VELÁSQUEZ

ljaram17@eafit.edu.co

Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS

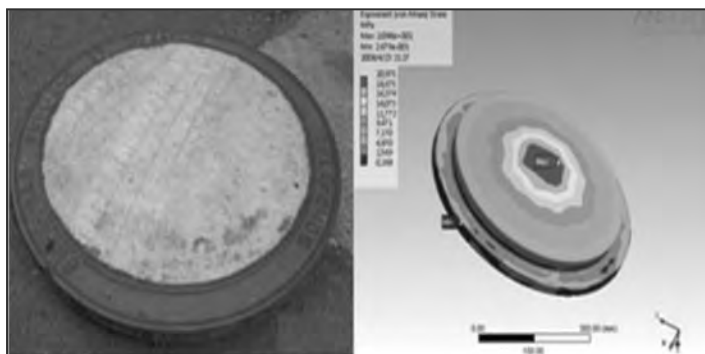
PLÁSTICOS

ASESOR PRINCIPAL

LUIS SANTIAGO PARÍS LONDOÑO

SECTOR BENEFICIADO

UNIVERSIDAD EAFIT



## RESUMEN

En este proyecto se muestra la elaboración de una tapa de alcantarilla de materiales compuestos (fibra de vidrio y resina) analizando los factores de diseño y proceso. Se exploraron las técnicas de manufactura por Moldeo manual y la de RTM Light para la fabricación de la tapa.

Debido a las dimensiones del producto se seleccionó la combinación de resina y fibra de vidrio con un material inorgánico de relleno, el cual cumplía con las condiciones de trabajo con las que trabaja la tapa. Para esto se realizaron pruebas mecánicas a probetas o sándwiches de acuerdo a normas relacionadas con los materiales compuestos. Una vez obtenido el compuesto a utilizar se realiza la simulación de la tapa con sus condiciones de trabajo, mediante la utilización de un programa de elementos finitos, permitiendo obtener los esfuerzos, deformaciones y cargas que soporta la tapa.

Una vez construida la tapa se le realizó ensayos mecánicos según la norma relacionada con el tema y así ser comparados con los resultados de la simulación, lo cual indicó que el producto cumple con las características técnicas y de seguridad.

## ABSTRACT

In this project appears the elaboration of a manhole cover of composites materials (fiberglass and resin) analyzing the factors of design and process. The technologies of manufacture that were explored are Mold manual and RTM Light for the manufacture of the manhole cover.

Due to the size of the product was selected the combination of resin and fiberglass with an

inorganic material filling, which complies the conditions of the manhole cover. These mechanical tests were realized to specimens or sandwiches in agreement to procedure related to the composites materials. Once obtained the composite to using realizes the simulation of the manhole cover with its conditions of work, by means of the utilization of a program of finite elements, allowing to obtain the stress, deformations and loads that the manhole cover supports.

Once built the manhole cover was performed according to standard mechanical tests and thus be compared with the simulation results, which indicated that the product complies with the technical specifications and security.

## **PALABRAS CLAVE**

Fibra de vidrio, resina, moldeo manual, Transferencia de resina al molde (RTM Light), sandwich, relleno, tapa de alcantarilla.

## **KEY WORDS**

Fiberglass, resin, manual mold, resin transfer moulding light (RTM light), sandwich, core, manhole cover.

## **INTRODUCCIÓN**

Las tapas de alcantarillas son estructuras empleadas comúnmente en calles, unidades residenciales, parqueaderos y sitios donde se encuentre una red de alcantarillado público o en casos son utilizadas también para el acceso a líneas telefónicas; estando sometidas así a grandes cargas debido a la circulación de vehículos y condiciones de intemperie exigentes.

En el presente trabajo se diseña y elabora un prototipo de tapa de alcantarilla en un material compuesto, es decir mediante la combinación de una resina con un refuerzo de fibra o conocido como PRFV (poliéster reforzado con fibra de vidrio), la cual posee iguales o mejores propiedades mecánicas que las tapas hechas con los materiales anteriormente descritos y con el valor agregado de que estas no se podrían reciclar, permitiendo así a las empresas

publicas que prestan el servicio de alcantarillado y teléfono optar por esta alternativa para la disminución de los robos.

Existen diferentes tipos de procesos de manufactura para la elaboración del material compuesto reforzado con fibra de vidrio, tales como Moldeo manual. Resin Transfer Molding RTM, Resin Transfer Molding Light LRTM y muchos más; donde cada uno de estos tiene propiedades y características que los diferencian y que se utilizan de acuerdo a la geometría, peso y calidad de la pieza.

En el presente trabajo se utiliza el moldeo manual como técnica base y se explorará en forma practica el proceso de RTM Light, que es una técnica complementaria al de RTM (Moldeado de Transferencia de Resina) la cual utiliza moldes más livianos lo que permite un manejo más rápido y por lo tanto unos tiempos de producción más bajos. También se utiliza este proceso debido a que se utilizaron los equipos del laboratorio de materiales compuestos de la universidad.

## **DISEÑO DE LA TAPA**

De acuerdo a la norma NTC 1393 del 2007, la cual está relacionada con la normatividad y especificaciones con las que debe contar las tapas de acceso a pozos, estas pueden ser construidas de diversas formas. Indiferente sea el proceso de fabricación de las tapas en Poliéster reforzado con fibras de vidrio presentan beneficios en comparación con las elaboradas en materiales convencionales.

## **GEOMETRÍA**

Las tapas de alcantarilla son estructuras circulares que están soportadas en un anillo de su mismo diámetro, permitiendo así soportar las cargas por las cuales fueron diseñadas.

El prototipo a fabricar es una estructura circular que consta de dos discos concéntricos de diámetros de 58 cm el exterior y con un espesor de 2.5 cm y un disco interior de 47.5 cm y con un espesor de 4 cm que reposan sobre un anillo de las mismas dimensiones. Estas dimensiones tanto de la tapa como del anillo de reposo, corresponden a las dimensiones utilizadas para los dispositivos de acceso que tienen las empresas de telefonía en la ciudad de Medellín.

**FIGURA 1**  
Tapa y apoyo de la alcantarilla



## DISEÑO ESTRUCTURAL

La selección del material que se utilizó para la tapa se analizó mediante el programa ANSYS de elementos finitos y un programa para determinar las propiedades de materiales compuestos laminados llamado "Laminator", el que cual arroja las propiedades del sándwich construido y estos valores son ingresado al programa de elementos finitos para realizar la simulación.

Debido a que la tapa posee un espesor 65 mm, se busco obtener la combinación de fibra de vidrio y resina con un de relleno como el balsa, que le diera cierta inercia a la tapa y que a su vez permitiera minimizar la utilización de altas cantidades de fibra y resina que posiblemente producirían reacciones exotérmicas y contracción de la pieza dentro del molde.

La tapa se simulo inicialmente en Pro/ENGINEER, la cual se exporta al programa de elementos finitos para iniciar el análisis. Todos los resultados arrojados por "laminator" se ingresan en el programa de elementos finitos, para este caso ANSYS Workbench 10.0.

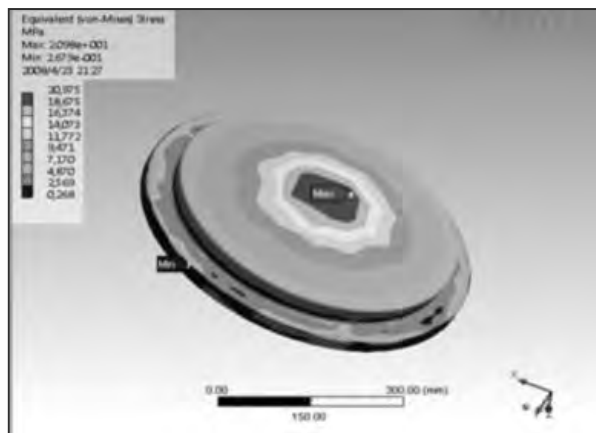
Para la aplicación de fuerzas y apoyos en la tapa, se utilizo la Norma Técnica Colombiana (NTC 1393 tercera actualización) la aplicación de esta carga se debe realizar mediante la utilización de un punzón de 15 cm de diámetro, y la aplicación de la carga se debe efectuar en el centro de la tapa. Con respecto a los apoyos, debe estar apoyada en la parte inferior y perimetralmente sobre la pestaña, la fuerza que se le debe poner al punzón debe ser de 98000 N.

Después de definir las condiciones de frontera y las propiedades del material se realiza el análisis de la tapa, con los cuales se demuestra que la tapa resiste las propiedades de carga a las cuales va a estar sometida, los resultados obtenidos se pueden ver en la siguiente tabla, donde se observan los esfuerzos máximos, mínimos y la deformación en la tapa.

**TABLA 1**  
Resultados ANSYS Máximos y Mínimos

Nombre	Mínimo	Máximo
Esfuerzo Equivalente (Von Misses)	0.27 Mpa	20.98 Mpa
Deformación Total	0.0 mm	1.43 mm

**FIGURA 2**  
Esfuerzo Equivalente



En las gráficas anteriores se observa como los esfuerzos máximos se producen en la zona donde se aplica la carga, y van disminuyendo a medida que se alejan de este del centro.

## CONSTRUCCIÓN DEL MOLDE

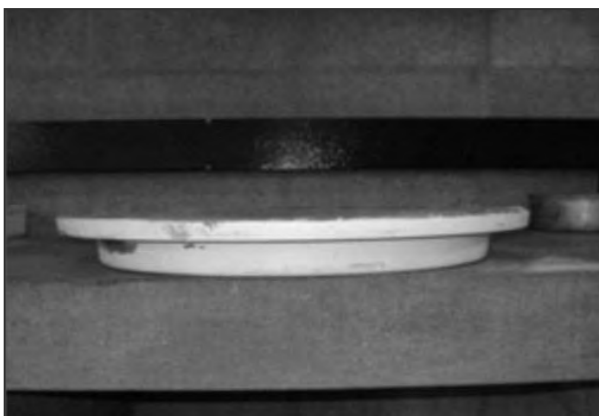
De acuerdo al análisis de costo y tiempo, el molde que se presupuesto construir es uno de idénticas medidas a las de una tapa de alcantarilla que permite el acceso a redes telefónicas. Este molde es cerrado por medio de dispositivos mecánicos (pernos y tuercas) y consta de un punto de inyección en el centro de la hembra y un punto de vacío en el centro del contra molde. La elección de este diseño del molde se dio debido a que la pieza a fabricar consta de un espesor de 65 mm que es alto a comparación de lo que se trabaja en la técnica de RTM Light y también porque este no estaría diseñado para una demanda de producción.

## FABRICACIÓN DE LA TAPA

El prototipo de la tapa de alcantarilla se intento lograr mediante dos procesos me manufactura, moldeo manual y RTM light.

La fabricación por Moldeo Manual se realizo en la cavidad del molde que realizamos, donde se pusieron las fibras y se impregnaron de resinas mediante la laminación con rodillos, dejando un tiempo de curado y se repitió el proceso hasta obtener el espesor de la tapa. En la siguiente figura se muestra el prototipo final elaborado por el proceso.

FIGURA 3. Tapa Terminada

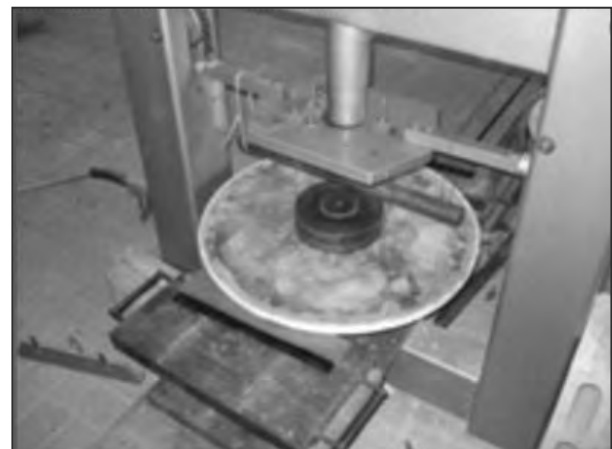


## ENSAYOS MECÁNICOS

Basándonos en la Norma Técnica Colombiana (NTC 1393 tercera actualización), realizamos los ensayos de flexión a la cual está sometido la tapa, aquí se evalúa un solo método de prueba, en la cual se aplica una carga puntual en el centro del prototipo. Los ensayos de flexión de la tapa se realizaron en el laboratorio de sismo resistencia de la Universidad EAFIT empleando la máquina para ensayos de flexión en estructuras.

La carga final que soporto la tapa fue de 50.4 KN y es la carga maxima que se puede obtener mediante la utilizacion de la máquina universal. Luego de terminada la prueba y detallar el estado final de la tapa, se observo que la tapa tenía problemas de laminado, ya que había cierta cantidad de resina que no había curado, esto se dio posiblemente a que se impregno resina en orificios del material de relleno (balso), la cual posiblemente no curo bien y por ende es un factor por la cual la tapa podría fallar. El montaje de la prueba se observa en la siguiente figura

FIGURA 4  
Pruebas y Ensayos



## CONCLUSIONES

La elaboración del proyecto permite observar que la inclusión de los materiales de PRFV reemplaza o modifica el uso de los materiales como acero, concreto y plástico reciclado con la que se están haciendo hoy en día las tapas de alcantarilla en el medio, ya que se demostró que las

propiedades del prototipo final soporta las condiciones tanto de carga e intemperie con las que debe estar diseñadas las tapas en el país.

Debido a que en el proyecto se reproduce un prototipo de tapa de alcantarilla, las dimensiones con las que cuenta la tapa son iguales a las encontradas hoy en la ciudad, las cuales poseen espesores altos (65 mm) para lo que se trabajan en fibra de vidrio. Esto permite exponer que si se escoge la alternativa de producir las tapas de alcantarilla por medio de materiales compuestos, se deben considerar una reducción en espesores de la pieza, realizar el molde para una producción en masa y utilizar una técnica que este altamente dominada y que permita unos tiempos de producción bajos, poca intervención de mano de obra, permitiendo así maximizar la relación beneficio – costo para poder competir con las tapas convencionales.

A nivel local se observó que la fabricación de tapas de alcantarilla se realiza de una forma no tan tecnificada, es decir que se utiliza el moldeo manual o el vaciado.

En los procesos de manufactura, se observó que la utilización de la técnica de RTM Light se recomienda utilizar para espesores de aproximadamente 20 mm como máximo, lo que garantice que la inyección del producto se realice, además se deben considerar la ubicación de punto de inyección y puntos de asistencia de vacío, la permeabilidad que se debe manejar en la cavidad del molde, consideraciones para la óptima utilización de la técnica. En el moldeo manual se observa que la no inclusión de burbujas en el laminado, le otorga al compuesto mejores propiedades mecánicas al prototipo final, además que se deben utilizar herramientas que permitan reproducir el proceso. Además otro problema presentado en las técnicas de manufactura trabajadas es el posicionamiento de los tejidos de fibra en la cavidad del molde, ya que por la forma de la superficie de trabajo se hace complejo realizar el laminado y por ende tiene influencia en la calidad final y las propiedades del producto terminado.

Es importante resaltar las razones por las cuales no salió la inyección mediante RTM Light, ya que son patrones de guía para próximos trabajos relacionados con los materiales compuestos y más específicamente en la fabricación de

productos con PRFV. Se debe contar con experiencia para la fabricación del molde, ya que este es el punto de partida para la inyección y es el que le dará la calidad a la pieza final. También se debe contar con las limitaciones que cuenta la máquina con las que se está trabajando, a que en nuestro caso al trabajarse con un espesor tan grande, la presión de llenado, el vacío y los pulsos de la máquina se realizaron de una forma cuidadosa y prevenida, en los que la máquina no corriera ningún peligro de daño.

Se realizó el prototipo de la tapa por medio del moldeo manual, ya que se exploraron técnicas como el RTM Light y se observaron que se presentan problemas de operación, ya que esta técnica es relativamente nueva y que en el laboratorio no se había trabajado antes piezas de ese espesor. Esto se hace para demostrar que la técnica aunque minimizaría la utilización de materias primas, de mano de obra y de tiempo, se tendría que manejar de la mejor forma posible para la puesta en marcha de producción de tapas de alcantarilla; tanto en conocimiento, experiencia y puesta en marcha de los equipos.

La tapa fabricada por moldeo manual se le realizaron pruebas en los laboratorios de materiales de la universidad EAFIT y se demostró que resiste las cargas a las que está expuesta en su uso diario; también fue analizada por elementos finitos donde se estimaron los esfuerzos y deformaciones, por este método tampoco presento ningún inconveniente, permitiéndonos concluir que el prototipo fabricado cumple con las características necesarias para resistir las cargas y los esfuerzos a los que esta sometidos durante su vida útil.

## **BIBLIOGRAFÍA**

ANTEQUERA, P. MIRAVETE, A. JIMÉNEZ, L. Los materiales compuestos de fibra de vidrio. Secretariado de Publicaciones Universidad de Zaragoza. Zaragoza. España 1996. ISBN 84 7733 264 9. Pág. 315 - 345.

BARBERO, Ever J. Introduction to Composite Materials Design. Primera edición. Editorial Taylor & Francis Group. Filadelfia. Estados Unidos. 1998. ISBN 1 56032701 4. Pág. 336 - 342.

CARVALHO, A. Fiberglass x Corrosao. Associacao Brasileira do Plastico Reforcado. Sao Paulo. Brasil. 1992. Pág. 441 - 448.

CASSIS Frank a, TALBOT Robert c, Fiberglass Reinforcement. Handbook of composites. Segunda edición. Editorial Chapman & Hall. Londres. Inglaterra. 1998. ISBN 0 412 54020 7. Pág. 34 – 47.

JONES, Robert M. Mechanics of composite materials. Segunda edición. Filadelfia. Estados Unidos. Editorial Taylor & Francis Group. 1998. Pág. 519.

MIRAVETE, Antonio. Materiales Compuestos I. Primera edición. Publicado por INO Reproducciones S.A. Zaragoza. España. 2000. ISBN 84 92149 76.

REINHART, Theodore. Fiberglass Reinforcement. Handbook of composites. Segunda edición. Editorial Chapman & Hall. Londres. Inglaterra. 1998. ISBN 0 412 54020 7. Pág. 21 - 33.

VAUGHAN, Denniss. Fiberglass Reinforcement. Handbook of composites. Segunda edición. Editorial Chapman & Hall. Londres. Inglaterra. 1998. ISBN 0 412 54020 7. Pág. 131 – 155.

EFA 2000. Dosificado de Multicomponentes, moldes y tecnología de RTM. [Madrid, España] Disponible en: <[www.composites-rtm.com](http://www.composites-rtm.com)> [Consulta: 22 Octubre 2007].

ESP@CENET. Base de datos de la Oficina de Patentes Europea. [Londres, Inglaterra] Disponible en: <[www.espacenet.com](http://www.espacenet.com)> [Consulta: 10 Octubre 2007].

JHM TECHNOLOGIES. Resins transfer Molding systems tooling, solutions and accessories. [Michigan, USA] Disponible en: <[www.rtmcomposites.com](http://www.rtmcomposites.com)> [Consulta: 5 Noviembre 2007].

MANIFIBER. Constructora de Moldes para inyección en fibra de vidrio [Alicante, España] Disponible en: <[www.manifiber.es](http://www.manifiber.es)> [Consulta: 22 Octubre 2007].

NETCOMPOSITES. Global research, consultancy and online media company [Chesterfield, Inglaterra] Disponible en: <[www.netcomposites.com](http://www.netcomposites.com)> [Consulta: 3 Noviembre 2007].

PLASTECH. Plastech Termoset Tectonics. [Londres, Inglaterra] Disponible en: <[www.plastech.co.uk](http://www.plastech.co.uk)>. [Consulta: 2008].

SGV. Sait Gobain Vetrotex. [Sao Paulo, Brasil] Disponible en: <[www.saint-gobain-vetrotex.com.br](http://www.saint-gobain-vetrotex.com.br)>. [Consulta: Febrero de 2008].

# **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA DE RENAULT TWINGO**

**NICOLÁS MEJIA LOTERO**

nmejialo@eafit.edu.co

Departamento de Ingeniería Mecánica

**SEBASTIÁN GARCÍA CEBALLOS**

sgarcia3@eafit.edu.co

Departamento de Ingeniería Mecánica

**ÁREA DE ÉNFASIS**

MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

**ASESOR PRINCIPAL**

ADALBERTO GABRIEL DÍAZ



## **RESUMEN**

La construcción del banco de pruebas, es una propuesta de diseño que se realizó para la Universidad EAFIT, con el fin de crear un semillero y grupo de investigación en el área de control automotriz y posteriormente implementar un laboratorio donde se puedan realizar ensayos tanto en los aspectos teóricos, como los prácticos. El sistema completo está compuesto por una estructura que soporta el motor, un panel de instrumentos para la medición de diversas variables y un motor de cuatro tiempos de Renault Twingo con todos los accesorios necesarios para su correcto funcionamiento. Todos estos elementos interrelacionados entre sí conforman el denominado banco de pruebas. Este banco de ensayos en un principio funciona para la medición de variables como son la temperatura del motor, temperatura del aceite, presión de aceite, amperaje, voltaje, r.p.m. y un reloj horometro. Posteriormente a este sistema será implementado un sistema de adquisición de datos, un freno mecánico y un sistema de gas vehicular natural, entre otros.

## **ABSTRACT**

The construction of the proving stand, it is a design proposal that we made for the EAFIT University, with the purpose to create an investigation group and to implementing a laboratory where tests can be made as much in the theoretical aspects and practical, The complete system is composed of one structure that supports the engine, an instrument panel for the measurement of diverse variables, and a Renault Twingo's engine of four times with all the necessary accessories for its correct operation. All these interrelated elements conform the denominated proving stand, which at first works for the measurement of variables like temperature of the engine, oil temperature, oil pressure, amperage, voltage, r.p.m, and a meter of time. Later to this system will be



implemented an acquisition data, a mechanical brake and a natural gas system to vehicular, among others

## **PALABRAS CLAVE**

Motor de combustión interna (M.C.I); Estructura; Panel de instrumentos; Solid Works; Cosmos Works.

## **KEY WORDS**

Engine of Internal combustion; Structure; Instrument Panel; Solid Works; Cosmos Works.

## **INTRODUCCIÓN**

Todos los motores de nueva construcción son sometidos a una larga serie de mediciones alternadas con severas pruebas de durabilidad y de carga, que se repiten hasta que tras una precisa puesta a punto, se alcanzan unos resultados previstos. Por lo tanto estas pruebas se hacen necesarias no solo en motores nuevos sino también en motores usados, con el fin de corroborar y verificar que las variables medidas estén dentro del rango y límites de un motor nuevo.

Las pruebas secundarias, ajenas a este proyecto, son las que sirven para obtener los valores relativos al par motor, la presión media efectiva, la potencia desarrollada, presiones, caudales, temperaturas, consumo específico de combustible, los diferentes rendimientos así como la composición de los gases de escape y la eficiencia del motor.

## **CÁLCULOS**

Modelación Geométrica. Para el desarrollo del cálculo estructural se importó el modelo del chasis a una función que trae SOLIWORKS llamada COSMOSWORK el cual es un paquete que realiza las soluciones con elementos finitos. Para la modelación geométrica con COSMOSWORK se realizaron los siguientes pasos:

- Exportar la modelación de la estructura al módulo de COSMOSWORK.
- Selección del tipo de material a emplear en toda la estructura. El tipo de material que se le asigna al chasis es tubería cuadrada de 1.5 por 1.5 pulgadas calibre 14 AISI 1020. A continuación se muestra en la tabla 8 los valores cuantitativos de las propiedades mecánicas de este material.

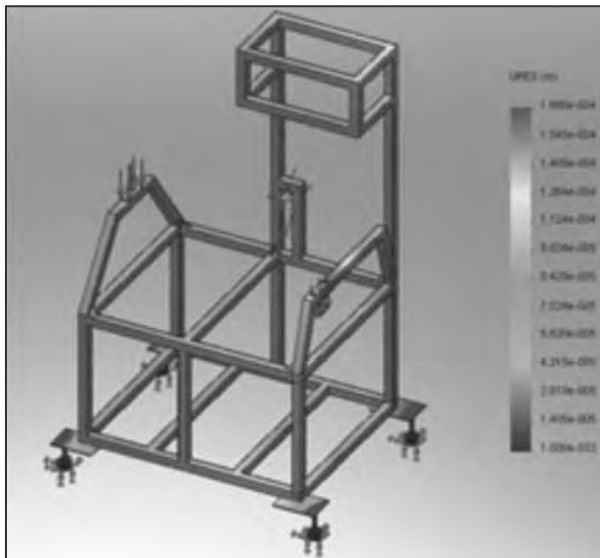
**TABLA 1. Propiedades del material**

PROPIEDADES	VALOR	UNIDADES	TIPO DE VALOR
Módulo elástico	2,00E+11	N/m <sup>2</sup>	Constante
Coefficiente de Poisson	0.29	NA	Constante
Módulo cortante	7.7e+010	N/m <sup>2</sup>	Constante
Densidad	7900	kg/m <sup>3</sup>	Constante
Límite de tracción	4,21E+12	N/m <sup>2</sup>	Constante
Límite elástico	3,52E+12	N/m <sup>2</sup>	Constante
Coefficiente de dilatación térmica	1.5e-005	/Kelvin	Constante
Conductividad térmica	47	W/(m.K)	Constante
Calor específico	420	J/(kg.K)	Constante

- Aplicación de cargas y restricciones. Se realiza el proceso de definición de las cargas aplicadas al chasis, en este caso, el peso del motor. Además se define el tipo de apoyo de la estructura respecto al suelo.
- Definición de fuerzas. El peso del motor y de la caja se divide en tres soportes, que están empotrados en el chasis. El peso total del motor y la caja es de 250kg distribuidos en tres puntos, equivalentes a los soportes del motor.

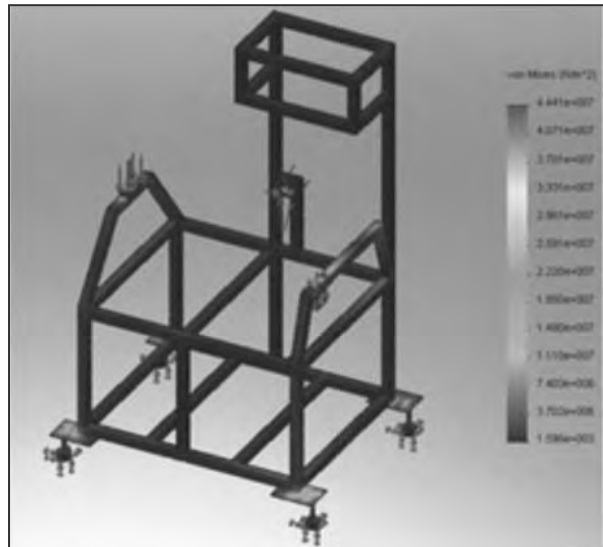
- Condiciones de fronteras. Los elementos restringidos en este análisis son los apoyos de los tornillos de empotramiento los cuales se restringen en todos sus grados de libertad.
- Mallado. COSMOSWORKS permite crear una malla combinada de elementos y es generada por el programa automáticamente.
- Análisis estático lineal. El análisis estático lineal calcula los desplazamientos, las deformaciones unitarias, las tensiones, mostrando los valores máximos en cada nodo.
- Desplazamientos. A continuación se presenta la gráfica de la estructura deformada. Los valores de los desplazamientos varían entre  $(1.6860 \times 10^{-4}$  y  $1.00 \times 10^{-33}$ )m.

**FIGURA 1**  
Desplazamientos de la estructura



- Deformaciones unitarias. Los valores de la deformación unitaria varían entre  $(1.9100 \times 10^{-4}$  y  $6.863 \times 10^{-9})$ .
- Resistencia de la estructura. Se aplica al sistema una carga de 250 Kg., peso del motor y demás componentes. Los resultados de los esfuerzos de Von Mises se ilustran a continuación.

**FIGURA 2**  
Resultado tensiones de Von Misse por colores sobre el chasis



- El resultado de las tensiones de Von Mises representa cuando la estructura empieza a ser flexible en un punto, cuando la tensión alcanza el límite elástico del material.
- Factor de seguridad. COSMOSWORK utiliza la tensión máxima de Von Mises para calcular la distribución del Factor de seguridad. Este criterio manifiesta que un material dúctil empieza a ser flexible cuando la tensión equivalente (tensión de Von Mises) alcanza el límite elástico del material. De acuerdo con el criterio de fallo Von Mises, el factor de seguridad mínimo del modelo es 6.5.

**TABLA 2**  
Resultados máximos y mínimos de las tensiones, desplazamientos y deformaciones unitarias

Nombre	Tipo	Mín.	Ubicación	Máx.	Ubicación
Tensiones	VON: Tensión de Von Misses	1596.01 N/m <sup>2</sup>	(-89.2606 mm,	4.44084e+007 N/m <sup>2</sup>	(421.904 mm,
		Nodo: 50164	824.903 mm,	Nodo: 120188	-810.097 mm,
			-258.305 mm)		404.05 mm)
Desplazamientos	URES: Desplazamientos resultantes	0 m	(513.835 mm,	0.000168587 m	(423.804 mm,
		Nodo: 126481	-946.047 mm,	Nodo: 107	-52.2467 mm,
			394.502 mm)		204.105 mm)
Deformaciones unitarias	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	6,67E-04	(-89.7356 mm,	0.000155264	(418.154 mm,
		Elemento: 27482	824.428 mm,	Elemento: 12327	-807.953 mm,
			-254.349 mm)		404.05 mm)

### **BANCO DE ENSAYOS DE MOTOR 4 TIEMPOS D7F 700 Y CAJA DE CAMBIOS JB1**

El equipo autónomo de pruebas, consta de un motor a gasolina de Renault Twingo D7F 700 que permite a los estudiantes de diversas áreas de la ingeniería, investigar una serie de características de rendimiento y operación del motor. Además posee una caja de cambios JB1 de cinco velocidades original de este motor.

La unidad está diseñada para realizar mediciones de diferentes variables relacionadas con el funcionamiento y el desempeño del motor. Este sistema se suministra con un panel de instrumentos los cuales permiten la medición de dichas variables.

### **CARACTERÍSTICAS DESTACADAS**

- Caja de 5 velocidades JB1
- Refrigeración del agua del motor mediante intercambiador de calor
- Medición de la temperatura del aceite del motor con reloj digital
- Medición del voltaje de la batería con reloj análogo
- Medición del amperaje entregado por la batería con reloj análogo
- Medición de la presión del aceite del motor con reloj análogo
- Medición de las revoluciones por minuto del motor con reloj análogo
- Medición de la temperatura del motor con reloj análogo
- Reloj horometro análogo que indica el tiempo de operación del motor
- Enclavamientos de seguridad
- Sistema de ruedas para su transporte
- Espacio para montar una pipeta de gas natural vehicular y otros elementos
- Palanca de aceleración manual.
- Sistema de escape de gases con silenciador y catalizador.

- Motor tipo automóvil de cuatro cilindros Renault Twingo D7F B700

- Switch de encendido ON / OFF con llave computarizada.
- Opción de implantar un dinamómetro y su sistema de software para medición de curvas de rendimiento.
- Opción de instalación de un freno en la caja de cambios.
- Tanque de combustible con bomba sumergida
- Batería de 12 voltios
- Radiador con motoventilador

### **ACCESORIOS OPCIONALES QUE PUEDEN SER INSTALADOS POSTERIORMENTE Y DESARROLLOS A FUTURO**

El banco de pruebas D7F B700 viene acondicionado con los elementos mencionados previamente, aunque se pueden realizar modificaciones y agregar nuevos elementos que contribuyan a otros estudios del funcionamiento del motor y la caja. Los estudiantes pueden producir sus propios mapas característicos y comparar el rendimiento del motor con los datos del fabricante. Se mencionan a continuación algunos sistemas y accesorios que pueden ser implementados.

- Freno mecánico o hidráulico
- Dinamómetro
- Sistema de control mediante un software computacional
- Indicadores de la operación del motor
- Sistema de combustible GNV (Gas Natural Vehicular)
- Control de ignición e inyección
- Medición de gases de escape
- Implementación de técnicas predictivas de mantenimiento

### **PESO Y DIMENSIONES**

- Altura Total: 170 cm.
- Anchura: 97.8 cm.
- Profundidad: 80 cm.
- Volumen: 1.33 m<sup>3</sup>.
- Peso Bruto: 275 Kg

### **RECOMENDACIONES**

Este sistema debe ser manipulado por personas capacitadas para su utilización y con habilidades de enfrentar cualquier situación anormal de funcionamiento. El sistema debe ser operado por personal autorizado y capacitado; ya que se está enfrentando a un sistema donde hay elementos en movimiento y a altas temperatura.

Se debe realizar siempre el mantenimiento preventivo según lo especificado por el fabricante para prolongar la vida del motor. Antes de encender el motor, revise que el nivel de aceite del motor este en la posición adecuada. Además de esto verifique el nivel de líquido refrigerante.

Revisar periódicamente fugas de aceite, combustible, líquido refrigerante y aire en el motor. Cuando sea detectada una de estas, detenga de inmediato el motor e infórmelo al personal encargado

Cuando el motor sea encendido, utilice siempre los tornillos de anclaje al suelo, ya que si este se opera con las ruedas, se está en riesgo de ocasionar daños debido a los desplazamientos causados por la vibración.

### **CONCLUSIONES**

Los bancos de ensayos para motores son sistemas que arrojan unas variables de salida en función de unas variables de entrada predeterminadas. Tales variables de salida se observan en los bancos de ensayos tales como las que se presentan en este proyecto; pero además de esto se encuentran las de torque r.p.m. y potencia mediante programas de adquisición de datos para la medición de variables. Esto quiere decir que hay un amplio campo de acción para continuar este proyecto.

Mediante el análisis realizado de los esfuerzos y las deformaciones, se puede apreciar que es una estructura muy resistente y con la carga aplicada, ésta no se deformara ni colapsara. Esto mientras se opere bajo las condiciones y parámetros establecidos en este análisis.

Se pudo apreciar durante toda la construcción del banco de pruebas, que éste generaba una gran expectativa en

una gran cantidad de personas que lo observaban. Es de esta manera como se despierta un gran interés, por parte de los estudiantes, en el área de mecánica automotriz en la universidad, generando una gran expectativa acerca del tema de motores.

En un banco de ensayos se pueden realizar tantas pruebas como sea posible. Esto va ligado y en función proporcional al capital necesario para invertir en estos nuevos proyectos. Pero esto se contrarresta con ensayos y pruebas nuevas e innovadoras que pueden otorgar resultados positivos en diversas áreas de conocimiento, de los cuales se puede sacar un provecho de crecimiento tanto económico como personal.

## **BIBLIOGRAFÍA**

ARISTIZABAL, Sergio. Memorias de Clase y material académico. Medellín, Colombia. Diseño Metódico. Universidad EAFIT. 2008

RENAULT TWINGO. Manual de uso, mantenimiento y utilización : Mantenimiento : Colombiana, Abril 2006.

SELECCIONES DEL READER'S DIGEST. El libro del automóvil : Indicadores y testigos luminosos que ayudan al conductor. México : El autor, 1975. p. 166-167.

DEPARTAMENTO DE MOTORES Y MAQUINAS TÉRMICAS. Banco de pruebas. [En línea]. MILLAN, José A. San Sebastián (España) : Universidad del país Vasco, 20 mayo de 2001, "actualizado en Enero 1 de 2008". Disponible en Internet: <http://www.sc.ehu.es/nmwmigaj/bancomot.htm>

FERRASA S.A. Tuberías : Tubería estructural cuadrada. [En línea]. Colombia, 2005. Disponible en Internet: <http://www.ferrasa.com/content.aspx?cid=16>

MANUALES DE MECANICA. Manual de taller del Renault Twingo : Motor D7F B700. [En línea]. 22 Nov de 2007. Disponible en Internet: [http://www.manualesdemecanica.com/component?option,com\\_remository/Itemid,4/func,fileinfo/id,68/](http://www.manualesdemecanica.com/component?option,com_remository/Itemid,4/func,fileinfo/id,68/)

MOTOR. Para qué sirve el sistema de refrigeración. [En línea]. El tiempo, 2006. Disponible en Internet: [http://www.motor.com.co/noticias\\_precios/mecanica/refrigeracin/ARTICULO-WEB-NOTA\\_INTERIOR\\_MOTORV2-1972903.html](http://www.motor.com.co/noticias_precios/mecanica/refrigeracin/ARTICULO-WEB-NOTA_INTERIOR_MOTORV2-1972903.html)

# **ESTUDIO DE LAS CONDICIONES DE RECICLABILIDAD DE LAS BOLSAS BIODEGRADABLES**

**EDWIN ESCOBAR VÉLEZ**

eescoba1@eafit.edu.co

Departamento de Ingeniería Mecánica

**PEDRO JOSÉ MARTÍNEZ**

pmartin1@eafit.edu.co

Departamento de Ingeniería Mecánica

**ÁREA DE ÉNFASIS**

PLÁSTICOS

**ASESOR PRINCIPAL**

LUIS ALBERTO GARCIA

**SECTOR BENEFICIADO**

UNIVERSIDAD EAFIT



## **RESUMEN**

El propósito de este proyecto es el estudio de las condiciones de reciclabilidad de las bolsas plásticas biodegradables.

Por medio de ensayos en la industria y pruebas de laboratorio se determinara si los procesos utilizados actualmente son los más aptos para el reciclaje de desechos post industriales de bolsas biodegradables y si estos pueden ser utilizados nuevamente como materia prima para fabricar bolsas plásticas.

## **ABSTRACT**

This Project study the conditions to recycling the biodegradable plastic bags. By industry and laboratory tests it will determine whether the processes currently used are suitable for the recycling and biodegradable bags. Another objective is to determine if they can be used again as raw material for manufacturing plastic bags

## **PALABRAS CLAVES**

**TDPA:** Aditivos plásticos totalmente degradables.

**EPI:** Empresa productora de aditivos para productos plásticos biodegradables

**Symphony Environmental:** Empresa productora de aditivos para productos plásticos biodegradables.

**D2W:** Nombre comercial del aditivo de la empresa Symphony Environmental

**Plástico Oxi-Biodegradable:** Plástico que se degrada en dos pasos oxidación y biodegradación.

**Residuo Post-industrial:** Residuos que queden luego del proceso industrial

## INTRODUCCIÓN

Algunos fabricantes y consumidores de bolsas plásticas en Colombia se han ido acoplado a nuevas tecnologías en el sector plásticos, el ingreso de las bolsas biodegradables está dando un golpe fuerte tratando de disminuir el impacto ambiental negativo que generan las bolsas comunes de polietileno.

Esta investigación está enfocada a la problemática que actualmente se presenta en cuando a la reciclabilidad de las bolsas y el nuevo concepto de bolsa biodegradable.

Actualmente la limitación más notoria es la falta de información sobre el tema puesto que este es relativamente nuevo y los desarrollos obtenidos aun siguen siendo mínimos.

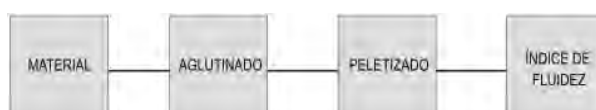
## PROPUESTA DEL PROYECTO

Este proyecto nace impulsado por el constante crecimiento de la demanda de productos biodegradables, enfocado primordialmente en las bolsas biodegradables y en los grandes almacenes de cadena en Colombia.

La necesidad existente de comprobar si las bolsas biodegradables mezcladas con las bolsas de polietileno común son efectivamente reutilizables, sumando a esto verificar si los procesos de recuperación que se están utilizando para obtener materia primas sacadas de desechos post industriales son los correctos.

## DISEÑO DE LA METODOLOGÍA

FIGURA 1  
Metodología de trabajo para el desarrollo del proyecto



Luego de recuperar toda la información y tener los conceptos claros se paso a recolectar el material a estudiar, la empresa plásticos Correa suministró los residuos post industriales con los cuales se desarrollarían todas las pruebas de laboratorio

En el medio los almacenes de cadena vienen introduciendo este tipo de empaques a continuación se muestra una tabla con esta información

TABLA 1  
Grandes superficies y tipos de bolsas que emplean

NOMBRE	BIODEGRADABLE		ADITIVO
	SI	NO	
EXITO	X		TDPA
CARREFOUR		X	
CONSUMO	X		d2w
BOOM		X	
EURO		X	
CARULLA	X		TDPA
MERCADOS MADRID		X	
POMONA	X		TDPA
OLIMPICA		X	
LEY	X		TDPA
EL BARATILLO		X	

Teniendo el material el proceso a seguir seria el aglutinado y posterior pelletizado de las muestras a evaluar distribuidas de la siguiente forma.

TABLA 2  
Material recopilado para la prueba

MATERIAL OBTENIDO (en kilos)	
BIODEGRADABLE	NO BIODEGRADABLE
30	14

TABLA 3  
Muestras desarrolladas para pruebas de laboratorio

MUESTRA	MUESTRAS	
	BIODEGRADABLE	NO BIODEGRADABLE
1	14	0
2	5	5
3	3	7
4	8	2

Teniendo las mezclas ya pelletizadas se paso a realizar el análisis de índice de fluidez el cual se realizo en el laboratorio de materiales de la Universidad de Antioquia arrojando como resultado.

**TABLA 4**  
Resultados de las pruebas MFI para cada una de las muestras

INVESTIGACION BOLSAS PLASTICAS USADAS EN LOS GRANDES SUPERMERCADOS			
NOMBRE	BIODEGRADABLE		ADITIVO
	SI	NO	
EXITO	X		TDPA
CARREFOUR		X	
CONSUMO	X		d2w
BOOM		X	
EURO		X	
CARULLA	X		TDPA
MERCADOS MADRID		X	
POMONA	X		TDPA
OLIMPICA		X	
LEY	X		TDPA
EL BARATILLO		X	

Los resultados se obtuvieron según la norma ASTM D1238. Los parámetros usados según esta son los siguientes:

Peso usado para la prueba, teniendo en cuenta el tipo de polímero, 2,16 kg.

Temperatura usada, fue de 190 grados centígrados.

Estos parámetros fueron usados para todas las muestras, exceptuando la muestra 5, la cual con los parámetros estandarizados no fluyó. Por lo tanto se modificó el peso usado para que la muestra fluyera; por esto este índice de fluidez no se muestra en esta tabla, este fue calculado con parámetros diferentes a los requeridos por la norma. El parámetro diferente para esta muestra fue el peso. La muestra fluyó con un peso de 3,8 kg y su índice de fluidez fue de 0.340 g/10min.

Teniendo como base índices de fluidez para procesos de conformación mostrados a continuación se pueden sacar conclusiones del análisis realizado a estas 5 muestras.

**TABLA 5**  
Índice de fluidez requerido para algunos procesos

MFI PARA ALGUNOS PROCESOS	
PROCESO	MFI
ROTOMOLDEO	0,5-1,0
SOPLADO	1,0-2,0
EXTRUSION	2,0-5,0
INYECCION	7,0-3,0

Con estos resultados y pruebas físicas en planta, se puede verificar que una bolsa biodegradable puede ser reutilizar como materia prima para otro producto luego de ser sometida a un proceso de recuperación previamente elaborado.

## CONCLUSIONES

Los pasos para el reciclado de las bolsas plásticas oxo-biodegradables, son básicamente los mismos que se utilizan actualmente para bolsas no biodegradables. Es importante controlar la cantidad de material biodegradable que se usa en el reciclaje de las bolsas plásticas, ya que como se vio entre mas porcentaje de bolsas oxo-biodegradables se tengan, el índice de fluidez aumenta.

Actualmente, las bolsas biodegradables son mezcladas con las no biodegradables, en los procesos de reciclaje en bajos porcentajes, ya que su introducción al mercado ha sido lenta. Esto no es un indicativo negativo, simplemente el ofrecer al mercado una bolsa biodegradable no es fácil; ya que es necesario someterlas a procesos de certificación, emitidos por entidades especializadas y bajo rigurosas pruebas; estos parámetros no pueden ser cumplidos por cualquier fabricante de bolsas.

Es importante definir correctamente, la velocidad del tornillo extrusor a la hora de elaborar el pelletizado, para evitar deteriorar el material. Esto se debe al rompimiento



de las cadenas y enlaces del polímero las cuales se ven afectadas por la fuerza de cizalladura producida en el cabezal del tornillo.

Las bajas velocidades del tornillo, evitan el rompimiento de las cadenas y los enlaces. En los ensayos realizados al material reciclado, tomado como referencia para el estudio del comportamiento de varias mezclas, se usó una extrusora de laboratorio la cual maneja unas velocidades de tornillo muy bajas y por ende tales resultados son comparativos y se convierten en una base para los procesos industriales.

En los ensayos, se nota un pequeño aumento en el índice de fluidez cuando en la mezcla aumenta el material biodegradable, sin embargo cualquiera de estas mezclas es apta para trabajarse nuevamente en el proceso de extrusión-soplado, según datos experimentales y posterior producción de una bolsa industrialmente. Se debe tener en cuenta que el material analizado son muestras limpias, residuos postindustriales de fabricación de bolsas, tanto biodegradables como no biodegradables. Debe tenerse en cuenta, que en procesos muy exigentes tales como el rotomoldeo el cual requiere materiales con unos índices de fluidez muy bajos, estos se pueden ver en la tabla 5, es importante, realizar a una muestra de la materia prima, ensayos del índice de fluidez; con el fin de garantizar un proceso estable y un producto final que se adapte a los requerimientos del cliente, asegurando su vida útil.

En el proceso de pelletizado otro parámetro importante es la velocidad de enfriamiento, cuanto menor sea esta, menos ordenadas son las cadenas y enlaces; esto se ve reflejado en dos aspectos, la cristalinidad del producto final y la reducción del índice de fluidez. El choque térmico, producido por el enfriamiento brusco, impide el correcto agrupamiento de tales cadenas, reduciendo notablemente las propiedades mecánicas del polímero.

La maquinaria utilizada es parte de un buen proceso de reciclaje, entre menos expuesto este el material a cambios constantes de temperatura y a prolongados ciclos, mayor será su vida útil como polímero; un correcto pelletizado

garantiza un proceso de fabricación sin complicaciones. Es necesario utilizar extrusoras para el pelletizado con desgasificadores, para evitar presencia de material deteriorado en el producto final. Las bolsas plásticas en su mayoría, contienen material impreso y por ende, tintas que se degradan y evaporan a menor temperatura, sin desgasificación; estas tintas que contienen materiales volátiles y disolventes hacen combustión y producen degradación del polímero.

Se puede concluir que el proceso de reciclaje, elaborado con los parámetros correctos, no afecta el proceso de producción al que se someterá posteriormente; es necesario evaluar las condiciones del material recuperado, con el fin de elegir el proceso que mejor se adapte y así garantizar que el producto elaborado sea viable.

En cuanto a los procesos de producción de bolsas, en el cual se enfoca el proyecto, existen datos sobre el uso, que en promedio se les da a tales empaques; el tiempo de uso no es mayor a cinco minutos y el tiempo en bodega no es mayor a un año, con esto se concluye que tiempos cortos en los ciclos, garantizan que el material recircule al menos 1 vez por el proceso; además mezclado con material virgen (material que no ha sido reprocesado, en otras palabras reciclado) el contenido de material biodegradable es mínimo.

Se puede observar que el comportamiento de la mezcla de polímeros con aditivos y polímeros sin aditivos depende sin duda de la cantidad de material biodegradable que tenga la mezcla.

A pesar de que el índice de fluidez es muy importante para cualquier proceso de transformación, no es el único parámetro a tener en cuenta a la hora de producir una bolsa. Por esta razón se puede decir que este proyecto de grado es un primer paso en el camino. A partir de éste se pueden realizar otras pruebas para soportar mejor la teoría. Entre las pruebas que se pueden realizar a partir de este proyecto se encuentran: pruebas de tensión, sellabilidad de la bolsa, pruebas de impacto y dureza.

## BIBLIOGRAFÍA

A.M.C. "Plásticos degradables". [En línea] Disponible en: <[www.degradable.com.co/plasticos/index](http://www.degradable.com.co/plasticos/index)>.

CARREFOUR "Pagina principal Carrefour" [En línea] Disponible en: <[www.carrefour.es](http://www.carrefour.es)>

D2W "Degradable Plastics" [En línea] Disponible en: <[www.degradable.net](http://www.degradable.net)>

EL EMPAQUE "Empaques que regresan al bio-ciclo natural" [En línea] Disponible en: <[www.elempaque.com](http://www.elempaque.com)>

EPI "Oxo-Biodegradable Plastic Additives" [En línea] Disponible en: <[www.epi-global.com](http://www.epi-global.com)>

EUROPEAN BIOPLASTICS "Documento pdf plásticos biodegradables" [En línea] Disponible en: <[www.european-bioplastics.org](http://www.european-bioplastics.org)>

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Trabajos escritos, presentación y referencias bibliográficas. Sexta actualización Bogotá, ICONTEC 2008, 110 p.

INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE ZAPOPAN "Oxo-biodegradación" [En línea] Disponible en: <[www.campus.itszapopan.edu.mx](http://www.campus.itszapopan.edu.mx)>

LAB PLAST "Equipos para pruebas de laboratorio" [En línea] Disponible en: [www.labplast.net/equipos/](http://www.labplast.net/equipos/)

PLASTIVIDA "Biblioteca técnica" [En línea] Disponible en: <[www.plastivida.com.ar](http://www.plastivida.com.ar)>

PROPLAX "Oxo Biodegradables" [En línea] Disponible en: <<http://www.proplax.com/biblioteca/comunicado%20envases%20oxo-biodegradables.pdf>>

QUIMICOS 3 "Símbolos materiales termoplásticos" [En línea] Disponible en: <<http://quimicos3.blogspot.com>>

REVISTA IMPACTO AMBIENTAL "Impacto ambiental" [En línea] Disponible en: <[www.iambiental.cl](http://www.iambiental.cl)>

RAVE, Roberto. Inyección de plásticos, propiedades de los polímeros. Pedro Martínez. Medellín: EAFIT, Agosto de 2007 (Notas de clase).

SCHWARZ, Otto. Ciencia de los plásticos. Montevideo: Grupo Editorial Costa Nogal. 2002. ISBN 3-8023-1815-3.

SEMINARIO MATERIALES PLÁSTICOS. Materiales plásticos. Medellín. ICIPC. 1993.

SYMPHONY ENVIRONMENTAL "Plástico 100% degradable" [En línea] Disponible en: <[www.es.oxibio.net/about/porque%20degradavel](http://www.es.oxibio.net/about/porque%20degradavel)>

TODO EN PLÁSTICO "Reciclaje asunto grande para pequeños" [En línea]. Disponible en: <[www.todoenplastico.com](http://www.todoenplastico.com)>

UNIZAR "Identificación Plásticos" [En línea] Disponible en: <[http://www.unizar.es/actividades\\_fq/identificacion\\_plasticos/documentos/caracteriza\\_plasticos.pdf](http://www.unizar.es/actividades_fq/identificacion_plasticos/documentos/caracteriza_plasticos.pdf)>

# **ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD DEL PROYECTO DE REFRIGERACIÓN DE AGUA HELADA EN LA COMPAÑÍA NACIONAL DE CHOCOLATES**

**FELIPE BRAVO GONZÁLEZ**

fbravogo@eafit.edu.co

Departamento de Ingeniería Mecánica

**LUCAS TIRADO BRAVO**

ltirado@eafit.edu.co

Departamento de Ingeniería Mecánica

**ÁREA DE ÉNFASIS**

**GESTIÓN DE PROYECTOS**

**ASESOR**

**MAURICIO PÉREZ LALINDE**

**SECTOR BENEFICIADO**

**COMPAÑÍA NACIONAL DE CHOCOLATES**



## **INTRODUCCIÓN**

Un proyecto se refiere a un conjunto articulado y coherente de actividades orientadas a alcanzar uno o varios objetivos siguiendo una metodología definida, para lo cual precisa de un equipo de personas idóneas, así como de otros recursos cuantificados en forma de presupuesto, que prevé el logro de determinados resultados sin contravenir las normas y buenas prácticas establecidas, y cuya programación en el tiempo responde a un cronograma con una duración limitada.

El presente estudio pretende evaluar la prefactibilidad de un proyecto de agua helada en la Compañía Nacional de Chocolates. Para esto se realizan los diferentes estudios en el marco de la teoría de evaluación de proyectos, donde se recopila y organiza toda la información requerida para realizar la evaluación financiera. Por tratarse de un estudio de prefactibilidad se presentan y analizan dos alternativas de equipos para la generación de agua helada y se estudian desde el punto de vista financiero y técnico.

## **DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

El proyecto surge de la necesidad que tiene la Compañía en hacer un estudio para la compra de un equipo con tecnología de punta para la generación de agua helada que se va a demandar durante los próximos años, Por tratarse de un estudio de prefactibilidad se presentan y analizan varias alternativas de generación de agua helada y se estudian desde el punto de vista financiero y técnico.

La definición del problema se presenta básicamente debido a que la compañía tiene como situación actual 1000 toneladas de refrigeración repartidas en pequeñas

unidades de enfriamiento, las cuales actualmente están catalogadas en su mayor parte como equipos ineficientes desde el punto de vista energético y también como equipos obsoletos por sus años de vida.

La propuesta básicamente se centra en un estudio que ha tenido la compañía en comprar unidades de mayor capacidad con el fin de hacer una central de agua helada para abastecer todos los procesos dando así ventajas en cuanto al mantenimiento, debido a que solo se va a tener un solo equipo de 500 toneladas, además, la energía va a ser un factor de mucha importancia ya que la eficiencia actual de la Compañía radica en 1.2 Kw. /TR.

## **JUSTIFICACIÓN**

La fuerte contaminación en las principales ciudades, sumado a la tendencia mundial de hacer compatible el crecimiento económico con la protección ambiental, ha provocado la búsqueda por la necesidad que se está presentando a utilizar equipos con eficiencias mucho menores a las actuales y, además, amigables con el medio ambiente. Por ende las ventajas que justifican este proyecto se encuentran centradas dentro de algunos parámetros que la compañía tiene para la adquisición de equipos.

Es claro aclarar que se tiene una factor evidente en este proyecto y es que se presenta una reducción de sus costos debido al concepto de economías de escala, en el cual se tiene, por el hecho de adquirir una unidad centralizada con tecnología de punta, la energía se va a reducir por la eficiencia de estos equipos. El mantenimiento va a tomar un concepto centralizado por ende el número de operarios se

va a ver reducido debido a que es un solo equipo, también en su operación, la cual un solo equipo reemplazaría varios equipos; además, va a ser notable durante la consecución del proyecto que el factor de inversión \$/TON es mucho menor que si la compañía sigue con su situación actual de adquisición de equipos.

Otro factor muy importante tanto para la compañía como para los temas ambientales es que estos equipos tienen certificados con respecto a sus refrigerantes los cuales están certificados por los tratados internacionales como refrigerantes amigables con el ambiente.

## **ESTUDIO SECTORIAL - MACROENTORNO**

### **Dimensión tecnológica**

Dentro de las tecnologías actuales en el uso de compresores para sistemas de refrigeración se encuentran los tipo scroll, tipo tornillo y los compresores centrífugos, los cuales están definidos por su eficiencia (Kw. /TR), y por el tamaño ó capacidad de producción. Las eficiencias correspondientes a cada equipo en promedio son: Scroll (1.1 Kw. /TR.), Tornillo (0.575 Kw. /TR.), y compresor centrífugo (0.46 Kw. /TR). Este análisis se va a centrar en los equipos ó unidades centralizadas con mejores eficiencias, por lo que el mercado determina que los mejores equipos para este tipo de sistemas es tener unidades centrífugas debido a que son utilizadas cuando los requerimientos de mayor tonelaje son exigidos (aproximadamente más de 500 Toneladas), además, es de vital importancia el saber y definir sus ventajas y desventajas

TABLA 1. Ventaja y desventajas

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reducción de costos de mantenimiento</li> <li>• Menores inversiones por cada unidad de frío instalada sobre equipos convencionales.</li> <li>• Eficiencia energética: reducción del consumo de energía aproximadamente del 35% contra un equipo convencional.</li> <li>• Solo una acometida eléctrica.</li> <li>• Mejora la utilización del espacio.</li> <li>• Reducción de ruido.</li> <li>• Un solo circuito de agua fría.</li> <li>• Plan de Contingencia: respaldo en caso de falla de otros equipos.</li> <li>• Actualmente la planta no tiene cómo cubrir los faltantes de agua helada.</li> <li>• Mayor control del impacto ambiental (posibles fugas).</li> <li>• Confiabilidad.</li> <li>• Flexibilidad al controlar la demanda puntual de frío.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requiere Stand-By en un futuro</li> <li>• Alta inversión inicial</li> </ul>

### Tecnologías existentes de compresores

Como se explicó anteriormente son tres tipos de tecnologías que se consideran relevantes para el análisis de este proyecto, debido a que son las más empleadas por la compañía Nacional de Chocolates, las cuales son:

- Compresor tipo Scroll: Son utilizados para sistemas que necesiten de 10 a 60 Toneladas de refrigeración, su medio de condensación es el aire, lo que hace que sean menos eficiente que los compresores centrífugos y de tornillo ver Dimensión económica.
- Compresor de Tornillo: Son utilizados para sistemas que necesiten de 60 a 350 Toneladas de Refrigeración, su medio de condensación puede ser de agua o de aire.

Y como sistema de comparación y de capacidad superior a 500 toneladas se considera el:

- Compresor centrífugo: Este tipo de compresores están diseñados para generar 500 Toneladas de refrigeración en adelante, sus principales ventajas son la eficiencia, la capacidad de control infinitamente

variable (hasta un 10 por ciento de la carga), son más ligeros y ocupan menos espacio para un determinado tonelaje.

### Dimensión económica

Para el análisis de esta dimensión se presentan los indicadores macroeconómicos que se utilizarán para el cálculo de las proyecciones de costos e inversiones para la construcción del flujo de caja del proyecto. Se cuenta con una proyección para varios años, lo cual es útil para el análisis del proyecto. Con base en estos indicadores se puede analizar cuál va a ser la repercusión sobre el proyecto en cuanto a sus variables, el cual puede ser negativa o positivamente, y de acuerdo a esto poder mirar la viabilidad.

### Dimensión política legal

La normatividad que puede ser aplicada para este proyecto es el "ARTICULO 158-2. Subrogado. Ley 788/2002, Art. 78. Deducción por inversiones en control y mejoramiento del medio ambiente. (COMPAÑIA NACIONAL DE CHOCOLATES, 2008).

Esta normativa puede aplicar para el proyecto en caso de seleccionar un equipo de refrigeración con refrigerantes considerados ambientalmente más limpios que los utilizados en equipos tradicionales de refrigeración. Sin embargo, la evaluación financiera se realizará sin considerar estos beneficios por efectos conservadores.

El que más favorece es el 158-3, porque el beneficio total es el 140%, 40% cuando se adquiere la inversión y el 100% vía depreciación en los años de vida útil. (COMPAÑÍA NACIONAL DE CHOCOLATES, 2008).

### **Dimensión del Medio Ambiente**

El estudio del impacto ambiental permite afirmar cuales son las restricciones apreciables en términos del deterioro de la capa de ozono y el calentamiento global, variables que están directamente relacionadas con los refrigerantes, los cuales van a ser usados por los diferentes equipos.

### **NORMAS AMBIENTALES DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS**

El Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial a través de La Unidad Técnica Ozono (UTO), con el apoyo del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo PNUD, Agencia Implementadora del Fondo Multilateral del Protocolo de Montreal, ha iniciado el proceso de conformación de una Red Nacional de Recuperación y Reciclaje de gases refrigerantes, cuyo objetivo es disminuir el impacto que tiene el sector de mantenimiento en refrigeración y aire acondicionado sobre la atmósfera, especialmente sobre la capa de ozono.

Marco de referencia legal: El Decreto 948 del 5 de Junio de 1995 Artículo 1º.- Contenido y Objeto. El presente Decreto contiene el Reglamento de Protección y Control de la Calidad del Aire, de alcance general y aplicable en todo el territorio nacional, mediante el cual se establecen las normas y principios generales para la protección atmosférica, los mecanismos de prevención, control y atención de episodios por contaminación del aire generada por fuentes contaminantes fijas y móviles, las directrices y competencias para la fijación de las normas de calidad del

aire o niveles de inmisión, las normas básicas para la fijación de los estándares de emisión y descarga de contaminantes a la atmósfera, las de emisión de ruido y olores ofensivos, se regulan el otorgamiento de permisos de emisión, los instrumentos y medios de control y vigilancia, el régimen de sanciones por la comisión de infracciones y la participación ciudadana en el control de la contaminación atmosférica.

El presente Decreto tiene por objeto definir el marco de las acciones y los mecanismos administrativos de que disponen las autoridades ambientales para mejorar y preservar la calidad del aire; y evitar y reducir el deterioro del medio ambiente, los recursos naturales renovables y la salud ocasionados por la emisión de contaminantes químicos y físicos al aire; a fin de mejorar la calidad de vida de la población y procurar su bienestar bajo el principio del Desarrollo Sostenible.

### **ESTUDIO DEL MERCADO**

El estudio del mercado es más que el análisis y determinación de la oferta y demanda o de los precios del proyecto. Muchos costos de operación pueden preverse simulando la situación futura y especificando las políticas y procedimientos que se utilizaran como estrategia comercial. Pocos proyectos son los que explican, por ejemplo, la estrategia publicitaria, la cual tiene en muchos casos una fuerte repercusión, tanto en la inversión inicial, cuando la estrategia de promoción se ejecuta antes de la puesta en marcha del proyecto, como en los costos de operación, cuando se define un plan concreto de operación.

El análisis del mercado en este tipo de proyectos no tiene determinación en la compra del equipo, debido a que la razón social de la compañía no es hacer toneladas de refrigeración, por lo que esta inversión es necesaria para poder realizar los productos que la compañía tiene, sea cual sea desde el punto de vista técnico y financiero la alternativa seleccionada.

### **ESTUDIO LEGAL**

Define la constitución legal, los contratos, revisa la normatividad legal, los impuestos, aranceles, licencias,

etc. Se va a utilizar la figura de una aprobación de una oferta mercantil. La compañía Nacional de Chocolates ha decidido utilizar esta figura como política para la compra de activos fijos. Los elementos que se considerarán debe incluir esta oferta mercantil son:

- Tiempo de Entrega
- Forma de pago
- Garantía:
- Entrega (INCOTERMS):
- CIF (Cost, Insurance and Freight) - Costo, Seguro y Flete (puerto de destino convenido).
- FOB (Free On Board) - Libre a Bordo (puerto de carga convenido).

Además se va a considerar las ofertas mercantiles tanto para la instalación como para el servicio de operación de los equipos y el mantenimiento.

## ESTUDIO TÉCNICO

Para el proyecto de agua centralizada se ha decidido evaluar y comparar cuatro alternativas.

- Alternativa 1: Compra de equipos de acuerdo a la demanda año a año. Esta alternativa corresponde a continuar de la misma forma en la que se está procediendo actualmente (ACTUAL).
- Alternativa 2: Sistema agua helada centralizada marca TRANE.
- Alternativa 3: Sistema agua helada centralizada marca CARRIER.
- Alternativa 4: Sistema agua helada centralizada marca VILTER.

En este estudio del proyecto se van a analizar las siguientes variables:

- Necesidades futuras de refrigeración: demanda
- Tamaño de equipos requeridos
- Calculo de inversiones
- Costo y consumo de energía eléctrica
- Costos de mantenimiento
- Tamaño del proyecto desde el punto de vista de la inversión.
- Ingeniería del proyecto.
- Localización del proyecto.

## ESTUDIO FINANCIERO

Se evalúan las cuatro alternativas de inversión:

- Incremento del precio de la energía: IPC+2%.
- Inversiones: se proyectan con el IPC.
- Incremento del costo de la mano de obra de mantenimiento: IPC.
- Depreciación: método de línea recta.
- Vida útil de los activos: 8 años (12,5% anual) ->2 turnos de producción.
- Tasa anual =  $10\% \times 1.25 = 12.5\%$ .
- Horizonte de Evaluación: se estiman 10 años de vida útil de los equipos de acuerdo con información de los proveedores.
- Demanda de refrigeración: explicada en el estudio técnico.
- Tasa de cambio: 1800\$/US\$.

Se utilizará el VPN como el indicador financiero para comparar las alternativas. La alternativa con el mayor VPN será la mejor alternativa. Todas las alternativas son negativas porque solo incluyen costos y ningún ingreso.

Para el cálculo del VPN se calcula el flujo de caja neto proyectado de cada alternativa.

Con este fin se calculan los costos brutos proyectados de cada una de las alternativas presentadas a continuación

## CONCLUSIONES

Las tres alternativas de equipos centralizados son rentables desde el punto de vista financiero. Esto se concluye porque todas las alternativas son mejores a la alternativa de equipos individuales de refrigeración la cual tiene un VPN de M\$ -644.2, que es la situación actual.

La mejor alternativa desde el punto de vista financiero es adquirir el equipo Vilter porque su VPN es de M\$ -331.1

La segunda mejor alternativa es la compra de equipos Trane porque su VPN es de M\$ -372.2

Adquirir equipos Vilter, a pesar de ser la mejor alternativa desde el punto de vista financiera, nos queda la duda si es la mejor opción. Porque es una tecnología que utiliza un refrigerante que puede generar riesgos de seguridad en la operación.

Alternativa 1: Compra de equipos de acuerdo a la demanda año a año. Analizando esta alternativa desde el punto de vista de la seguridad industrial, en el cual se va a utilizar para los equipos el refrigerante R 22, que por su toxicidad e inflamabilidad es permitido en el medio industrial, ya que no son tóxicos y hay propagación nula de llama.

R-22; aunque son muy eficientes y son utilizados en compresores pequeños; son muy dañinos para el calentamiento global y en gran medida a la capa de ozono, además, están según el protocolo de Montreal próximos a salir. Debido a esto es una muy mala elección adquirir este tipo de equipos.

Alternativa 2: Sistema agua helada centralizada marca TRANE. Este equipo centrífugo está considerado en el medio como un equipo ahorrador de energía cumpliendo de esta manera con el objetivo planteado de adquirir equipos que contribuyan con el ahorro de esta.

Analizando este equipo desde el punto de vista de la seguridad industrial, parámetro importante para la compañía, se puede concluir que el refrigerante que ofrece Trane R 123 tiene mayor toxicidad pero en cuanto a su inflamabilidad se estableció que es nula, esto da como resultado que la compañía permita adquirir este tipo de equipo.

Alternativa 3: Sistema agua helada centralizada marca CARRIER. Es viable la opción de adquirir un equipo Carrier desde el punto de vista de seguridad industrial ya que el R 134 a es un refrigerante que por sus contenidos químicos no es tóxico y tampoco inflamable.

El aspecto ambiental es muy importante por lo que se puede decir que este refrigerante (134 a) tiene un potencial

de degradación del ozono igual a cero, y el potencial de calentamiento global es  $GWP = 1300$ . Es claro saber que la contaminación del medio ambiente está controlada pero el calentamiento global no, por lo que este refrigerante no es amigable con respecto al calentamiento global.

Alternativa 4: Sistema agua helada centralizada marca VILTER. Desde el punto de vista de seguridad ambiental el amoniaco refrigerante utilizado por el equipo centralizado Vilter tiene perjuicios de alta toxicidad, pero tiene parámetros de manejo del equipo y alta seguridad en cuanto al mantenimiento que lo hacen menos vulnerable a un suceso en donde el personal de la compañía pueda quedar involucrada; y en cuanto a la inflamabilidad de este refrigerante está determinada en una categoría de poca inflamabilidad, por lo que no es tan malo y puede ser una buena alternativa para la compañía.

El amoniaco refrigerante que no está referenciado en el protocolo de Montreal como perjudicial para el medio ambiente y el calentamiento global, queda como una muy buena opción para este proyecto.

El mantenimiento para las propuestas de los equipos centralizados TRANE, VILTER y CARRIER en términos de economía de escala explica el poder que tiene una empresa cuando alcanza un nivel óptimo de producción para ir produciendo más a menor costo, es decir, a medida que la producción en una empresa crece sus costos por unidad producida se reducen. Cuanto más produce, menos le cuesta producir cada unidad.

El proyecto es viable por cualquier alternativa centralizada, ya que cuesta menos generar una tonelada de refrigeración en el sistema centralizado que en la adquisición de equipos año a año, esto quiere decir que la compañía se ahorrará más. Mirando bien y comprando las alternativas de los equipos centralizados con respecto a la adquisición de equipos año a año se puede observar que el menor VPN (El que se aproxime a cero) financieramente es el mejor, dando como resultado el equipo marca VILTER, después el equipo marca TRANE y por último el CARRIER.



# **DESARROLLO DE UNA METODOLOGÍA PARA UN PLAN DE MANTENIMIENTO DE ACCIONES PREVENTIVAS EN UNA EMPRESA DEL SECTOR METALMECÁNICO**

**JOSÉ GABRIEL BARBIER MAYA**

jbarbier@eafit.edu.co

Departamento de Ingeniería Mecánica

**FELIPE OSPINA CARDONA**

fospinac@eafit.edu.co

Departamento de Ingeniería Mecánica

**ÁREA DE ÉNFASIS**

MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

**ASESOR PRINCIPAL**

JHON ALBERTO BETANCUR MAYA

**EMPRESA**

LÁMINAS Y CORTES



## **RESUMEN**

El proceso de transición y transformación de una empresa que está en crecimiento abre la posibilidad a mejoras en la tecnología de maquinaria, donde se hace importante acciones preventivas que permitan el sostenimiento de la mantenibilidad, disponibilidad y confiabilidad de los equipos que tengan incidencia directa sobre la calidad del producto.

Se desarrolla una metodología para un plan de mantenimiento preventivo el cual se realiza a través del estudio y la fundamentación de los criterios básicos del mantenimiento empresarial, los parámetros que lo optimizan y los puntos susceptibles de mejora que se encuentran en la empresa mediante un diagnóstico a nivel de mantenimiento.

La metodología de mantenimiento da un acercamiento a los equipos determinando y estandarizando sus tolerancias y capacidades de trabajo, junto con aperturas de hojas de vida y registros de reparaciones, creando cultura de mantenimiento en el personal de la empresa.

## **ABSTRACT**

The process of transition and transformation of a company that is growing opens the possibility to improvements in technology, machinery, which makes it important preventive actions to sustain the maintainability, reliability and availability of machines that have direct impact on the quality of the product.

The development of a methodology for a plan of preventative maintenance which is done through study and the merits of the basic criteria of the maintenance business, the parameters that are optimized and points for improvement that are in the company through a diagnostic level of maintenance.

The methodology is an approach to maintenance teams to identify and standardize their tolerances and capabilities of work, along with openings of resumes and records of repairs, creating culture of maintenance in the company staff.

## **PALABRAS CLAVES**

Mantenimiento preventivo, Niveles del Mantenimiento, 5S, Análisis 5W-2H, Lista de Chequeo.

## **KEY WORDS**

Preventive Maintenance, Maintenance Levels, 5S, Analysis 5W-2H, Checklist.

---

## **INTRODUCCIÓN**

Las empresas actualmente se encuentran inmersas en un mundo globalizado regido por la alta competitividad, lo cual exige tener excelente calidad, productividad y rentabilidad en los productos que se ofrecen al mercado. Esto hace que las empresas estén produciendo continuamente y a una mayor velocidad, por lo que se hace necesario mantener en óptimas condiciones los equipos de la producción.

Las averías y los fallos en los equipos causan retrasos, baja productividad e incluso la paralización de las actividades de la empresa, lo cual puede conllevar a importantes pérdidas económicas que pueden ser evitadas con una correcta asistencia técnica y un correcto plan de mantenimiento.

Para el montaje de un plan de mantenimiento en una empresa es necesario realizar un diagnóstico previo para saber las fortalezas y debilidades con las que cuenta la empresa en el momento, con base en esto realizar los estudios y análisis correspondientes para el desarrollo de un plan de mantenimiento que sea óptimo para la empresa.

El proyecto se desarrolla en una empresa comercializadora de láminas de acero, la cual no cuenta actualmente con ningún plan de mantenimiento en su producción.

## **DIAGNÓSTICO DE MANTENIMIENTO**

Se realiza una revisión de cada uno de los niveles de mantenimiento para conocer con que elementos cuenta la empresa en el momento, además se indican cada una de las ideas a introducir según lo especificado en la metodología desarrollada del plan de mantenimiento preventivo.

## **NIVEL INSTRUMENTAL**

Sistema de información (insumos, personal, costos, reparaciones): Se maneja un sistema de información para cartera, facturación y contabilidad pero aún no se cuenta con los módulos de producción los cuales incluyen repuestos insumos y personal.

Para el desarrollo del mantenimiento en la empresa se realizó un formato para las órdenes de trabajo inicialmente en papel, teniendo en cuenta la posibilidad de introducirlo en un sistema de información CMMS, el cual se estudia si es viable implementarlo dentro de la empresa.

Luego de realizar los estudios pertinentes, se encuentra viable el montaje de un sistema de información para el mantenimiento de la empresa, se sugiere luego de comparar programas similares, utilizar el programa Maintenance Assistant el cual es gratuito y es de fácil manejo.

Recursos humanos (capacitación del personal): Se cuenta con operarios con estudios tecnológicos en máquinas y herramientas y soldadura en instituciones como SENA y Pascual Bravo. Algunos de los operarios cuentan únicamente con la experiencia adquirida en trabajos anteriores sin ningún tipo de capacitación especializada en estos campos.

Manejo de inventarios (herramientas, insumos, repuestos): Se lleva un reporte trimestral del material que se tiene en el momento, las herramientas se manejan sin ningún sistema de control simplemente se contabilizan al final del día.

Se pretende realizar un control de las herramientas debido a que se presentan demasiadas pérdidas que incurrir en

gastos para la empresa ya que no es posible determinar el responsable, el sistema de control consta de llevar un registro de lo que se presta a cada uno de los operarios de la planta firmado por estos cada vez que se toma una de las herramientas, además se aseguraron las herramientas guardadas bajo llave y se le asigno a cada una de las máquinas un grupo de herramientas donde el titular de la máquina debe responder por éstas.

FIGURA 1. Orden de trabajo

<b>MAQUINA CIZALLA #1</b>					
<b>Orden de Trabajo</b>					
Orden de Trabajo N°:		Fecha de Inicio:		Fecha Finalización:	
Tipo de actividad:	Correctivo	Emergencia	Preventivo	Predictivo	Otro
Descripción: Problema					
Clasificación del problema:	Eléctrico	Mecánico	Hidráulico	Otro	
Personal a cargo:	Tecnico		Operario		
Nombre:					
Contacto(CEL):					
Herramientas Utilizadas:					
Cantidad:					
Descripción de la reparación:					

Tecnología: Algunas de las máquinas cuentan con tecnología de última generación mientras otras ya llevan largo ciclo de vida funcionando con tecnología antigua.

Se pretende conseguir para el proceso de cizallado una máquina nueva con tecnología CNC la cual mejore la calidad del producto e incremente la eficiencia de la producción.

Espacio físico: El espacio es reducido ya que se encuentra totalmente copado por el crecimiento que ha tenido la empresa y no existe posibilidad de expandirse en el lugar debido a que se limita con otras empresas del sector.

Para seguir creciendo cabe la posibilidad de conseguir una bodega en otro sitio estratégico como Sabaneta donde se encuentra gran parte del mercado.

Control de calidad de los productos: Se cuenta con dos encargados de revisar las piezas terminadas con control de medidas, búsqueda de defectos superficiales, calidad de la soldadura y en algunos casos si el cliente lo requiere se hacen pruebas hidrostáticas las cuales se realizan mediante subcontratación.

Ambiente de trabajo: Actualmente cada operario es responsable de su zona de trabajo y se asignan dos horas a la semana y en promedio tres operarios para que realicen la limpieza y organización de la planta, esto basado en determinaciones personales de quienes las realizan sin tener estándares establecidos para desarrollar dichas tareas.

Con la nueva metodología desarrollada en el plan de mantenimiento preventivo se realiza una lista de chequeo basado en las 5S con lo cual se pretende unificar las tareas para toda la planta y de esta manera ofrecer a los operarios unos parámetros a seguir para mantener en óptimas condiciones su ambiente de trabajo.

Optimización producción (análisis procesos, control fallas, reducir costos): Al momento solo se realizan correctivos en los equipos.

A partir del desarrollo del plan de mantenimiento se inicia con unas rutinas de mejoramiento con las cuales se busca tener un control de las fallas en los equipos de manera que se reduzcan los tiempos de inactividad y se disminuyan los costos.

FIGURA 2. Formato de evaluación 5S

Evaluación 5S						
<table border="1" style="margin: auto;"> <tr> <td style="padding: 2px;">Área evaluada:</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">Equipo Evaluador:</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">Fecha de evaluación:</td> </tr> </table>				Área evaluada:	Equipo Evaluador:	Fecha de evaluación:
Área evaluada:						
Equipo Evaluador:						
Fecha de evaluación:						
CATEGORIA	ELEMENTO	Calificación (1-10)	Comentarios			
Organización	Eliminación de lo innecesario					
	Material restante arreglado en condiciones sanitarias y seguras					
	Corredores y áreas de trabajo limpias y señaladas					
Orden	Lugares específicos para todo marcado visualmente					
	Se ubican las cosas en su lugar después de usarlas					
Limpieza	Se utilizan productos aprobados para la limpieza					
	Equipos en buenas condiciones y limpios					
	Se reconocen fácilmente los productos de limpieza					
Estandarización	Horarios o rutinas de limpieza					
	Asignación visible de las tareas y responsabilidades					
	Basureros con disponibilidad y limpios					
Disciplina	Personal involucrado					
	Realización de inspecciones continuamente					
<b>TOTAL</b>						



Revisión Técnica: Anteriormente no se realizaba ningún tipo de revisión técnica de las máquinas previas a su arranque, solo en algunas ocasiones se realizaban lubricaciones de algunas partes.

En la actualidad se realiza una lista de chequeo que contiene las variables más relevantes de cada máquina las cuales deben ser revisadas por el operario de turno. Con el fin de que este formato sea efectivo se pone la lista de chequeo en un lugar visible de la máquina para que siempre que el operario llegue a su puesto de trabajo pueda observarla y recordar su deber de realizar la inspección de las variables, además se tendrán formatos en papel para que el operario registre sus revisiones y pueda realizar sugerencias y comentarios encontrados durante la inspección.

FIGURA 4. Lista chequeo equipos

Lista de Chequeo			
		Máquina:	
		Evaluador:	
		Fecha:	
VARIABLES	SI	NO	Comentarios
Inspección visual, acústica y al tacto			
Vigilancia de temperaturas			
Control de la corrosión			
Resistencia eléctrica			
Lubricación, engrase y aceites			

### NIVEL OPERACIONAL

Acciones correctivas (desvare y reparación de las máquinas): Es la base del mantenimiento actual de la empresa, donde se lleva a cabo un mantenimiento exhaustivo a máquinas críticas.

Acciones modificativas (mejorar diseño de equipos para eliminar fallas): En el momento la empresa no realiza cambios en los diseños de los equipos ya que por política siempre se busca mantener la originalidad de estos, además este tipo de acciones representan altos costos.

Dentro del plan de mantenimiento a desarrollar se deben tener en cuenta este tipo de acciones, aunque no se pretendan aplicar a corto plazo si se consideran como medida de mejoramiento a futuro.

Acciones preventivas (búsqueda y ajuste de fallas potenciales): No se realizan inspecciones periódicas de los equipos ni revisión de los elementos de alto desgaste, se trabajo a la espera de fallas para realizar el mantenimiento.

Con el desarrollo de la lista de chequeo se busca generar inspecciones rutinarias de los equipos y corregir estas falencias.

Se realiza la lubricación del aceite en las máquinas pero no se tiene establecido un formato donde se especifique claramente las rutas de lubricación, se hace esporádicamente la revisión de visores de los niveles de aceite de las máquinas sin tener una periodicidad establecida, la cual se pretende determinar para reducir el riesgo de fallas en las máquinas.

Como medida del nuevo plan de mantenimiento, para una de las máquinas críticas de la producción de la empresa se desarrollan rutas de lubricación para cada uno de sus componentes como medida de prevención.

Acciones predictivas (análisis y monitoreo de los equipos): Los análisis realizados en este tipo de acciones de mantenimiento no aplican para el contexto laboral de la organización debido a los costos tan elevados y al nivel de madures en las actividades de mantenimiento.

## **NIVEL TÁCTICO**

El alcance de este proyecto no se encuentra al nivel alcanzado por las siguientes tácticas de mantenimiento, pero si se tienen en cuenta algunas de sus directrices para tenerlo en el plan inicial que se desea desarrollar en la organización.

## **NIVEL ESTRATÉGICO**

La organización actualmente define los procesos que involucran un trabajo solicitado y los tiempos estimados para tal efecto sin incurrir en pérdidas. La utilidad de realizar un análisis de costos sobre los trabajos realizados es verificar los tiempos (horas máquinas) que se incurren para efectuar el trabajo frente al precio otorgado al cliente por parte del vendedor.

## **PLAN DE MANTENIMIENTO PILOTO**

El plan de mantenimiento preventivo se diseña principalmente para un equipo piloto, es decir se toma la máquina más importante o más crítica de la planta para

efectuar su decisión de implementar este en las demás máquinas, dependiendo de las ventajas y desventajas que ofrece dicho plan.

El plan trata de ofrecer un mejor orden en las frecuencias de verificación de los elementos críticos de los subsistemas ya que en este instante no se tiene, solo se verifica cuando la falla es incipiente o cuando algún elemento presenta cierto desgaste provocando desajustes en la máquina y problemas en la calidad de los productos.

Cualquier plan de mantenimiento requiere de un objetivo y un alcance, para este caso en particular el objetivo es emplear en cada subsistema de la máquina rutinas y frecuencias de mantenimiento.

## **CONCLUSIONES**

A partir del desarrollo de la metodología del mantenimiento preventivo se pudo reordenar y modificar de forma constructiva la gestión que se tenía en el manejo de las máquinas en la empresa de Láminas y Cortes.

La metodología aplicada en este proyecto no pretende ignorar lo que actualmente se tiene en la empresa sino que apoyado en literatura acerca del mantenimiento se pueda conceptualizar y dar coherencia respecto a las necesidades y el alcance en los servicios ofrecidos.

Al conocer la estructura organizacional que tiene la empresa se logra detectar las fortalezas y debilidades en el control de cada uno de los procesos en cuanto al mantenimiento y actividades metrológicas, tanto para máquinas críticas como para los productos ofrecidos a los clientes.

En atención a lo referente al alcance de la organización se determino como inicio seleccionar una máquina crítica y plantear en ella un plan de mantenimiento preventivo discriminado por subsistemas.

El control dimensional como variable crítica dentro del proceso productivo de la organización ha podido dar inicio a la estandarización y claridad en lo relacionado a

especificaciones técnicas de las máquinas y del producto final, como es el caso de las tolerancias, tanto en los procesos de doblado, rolado y corte.

Todo proceso de medición requiere de equipos confiables, y la forma más práctica de hacerlo es mediante la calibración de los equipos, y esta es una de las primicias a desarrollar dentro de las actividades de mejoramiento dentro de la empresa.

Se da inicio a una cultura de mediciones confiables y acordes a la pieza a medir teniendo en cuenta el rango de medición y lectura mínima de los equipos.

El desarrollo de la metodología de mantenimiento sirvió como medio para guiar y motivar el personal de la empresa hacia la realización de una producción más limpia y efectiva.

## RECOMENDACIONES

El desarrollo de este proyecto pueda servir de inicio para la consecución de una certificación de calidad.

Lo desarrollado en la metodología se haga y se escriba para generar historiales de mantenimiento.

Incentivar el personal de la empresa para generar un compromiso con la metodología de mantenimiento garantizando el cumplimiento de las actividades de mantenimiento.

## PROYECTOS FUTUROS

Aplicar el plan de mantenimiento piloto en los demás equipos críticos de la empresa.

Implementar un sistema de información que contenga todas las actividades que se están realizando de mantenimiento.

## BIBLIOGRAFÍA

12MANAGE. Organizaciones. [en línea]. Disponible en Internet: <[http://www.12manage.com/index\\_es.html](http://www.12manage.com/index_es.html)> [citado el 24 de marzo de 2008].

BINGHAM Jr, Frank G. y Raffield III, Barney – Business Marketing Management – International Thomson Publishing – Cincinnati – USA – ISBN: 0-538-83678-4.

CIDEM. Metodología 5S. [en línea]. Disponible en Internet: <[www.cidem.com/cidem/binaris/5S\\_tcm48-8182.pdf](http://www.cidem.com/cidem/binaris/5S_tcm48-8182.pdf)>. [citado el 3 de marzo de 2008].

CONFIABILIDAD. Mantenimiento Productivo Total. [en línea]. Disponible en Internet: <[http://www.confabilidad.net/art\\_05/TPM/tpm\\_02.pdf](http://www.confabilidad.net/art_05/TPM/tpm_02.pdf)>. [citado el 16 de abril de 2008].

DUFFUAA, Salih O. y Campbell, John Dixon – Sistemas de mantenimiento – Editorial Limusa – México DF – México – 2000 – ISBN 968-18-5918-9 – p. 419.

EFUNDA. Propiedades del acero. [en línea]. Disponible en Internet: <[http://www.efunda.com/materials/alloys/stainless\\_steels/show\\_stainless.cfm?ID=AISI\\_Type\\_304&prop=all&Page\\_Title=AISI%20Type%20304](http://www.efunda.com/materials/alloys/stainless_steels/show_stainless.cfm?ID=AISI_Type_304&prop=all&Page_Title=AISI%20Type%20304)>. [citado el 22 de septiembre de 2008].

FING. Mantenimiento Industrial. [en línea]. Disponible en Internet: <[http://www.fing.uncu.edu.ar/catedras/archivos/planeamiento/mant\\_intro\\_07.pdf](http://www.fing.uncu.edu.ar/catedras/archivos/planeamiento/mant_intro_07.pdf)>. [citado el 22 de agosto de 2008].

GONZÁLEZ, Carlos. y Zeleny, José Ramón – Metrología – McGraw Hill - México DF - México – 1995 – ISBN: 970-10-0370-5 – p. 692.

KELLY, Anthony. y Harris, M.J. – Gestión del mantenimiento industrial – Editorial Fundación REPSOL Publicaciones e impreso en Gráficas del mar – Traducido por Gerardo Álvarez Cuervo y equipo de trabajo – Madrid – España – 1998 – ISBN: 84-923506-0-1 – p. 218.



MINTZBERG, Henry – La estructuración de las organizaciones – Editorial Ariel S.A. – Barcelona – España – 1995 – ISBN: 84-344-6102-1 – p. 561.

MITECNOLÓGICO. Organizaciones. [en línea]. Disponible en Internet: <<http://www.mitecnologico.com/>>. [citado el 18 de marzo de 2008].

MONOGRAFÍAS. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. [en línea]. Disponible en Internet: <<http://www.monografias.com/trabajos10/implan/implan.shtml>>. [citado el 2 de abril de 2008].

MORA Gutiérrez, Luis Alberto. – Mantenimiento estratégico para empresas industriales y de servicio, - Editorial AMG. Segunda Edición. – Medellín – Colombia – 2007 – ISBN: 958-33-8218-3 – p. 305.

NEWBROUGH, E. T. – Administración del Mantenimiento Industrial – Editorial Diana. Sexta Edición. – México – México – 1982 – ISBN: 968-13-0666X.

PATTON, Joseph D. Jr. – Preventive Maintenance –The International Society for Measurement and Control - Instrument Society of America – Second Edition – USA – 1995 – ISBN: 1-55617-533-7.

PORTAL.INS. Materiales. [en línea]. Disponible en Internet: <<http://portal.ins-cr.com/AccesoCabezal/Glosario/ASTM.htm>>. [citado el 5 de septiembre de 2008].

REY Sacristán, Francisco – Manual del mantenimiento integral en la empresa – Fundación Confemetal – Madrid – España – 2001 – ISBN: 84-95428-18-0 – p. 465.

SCRIBD. Generaciones de Mantenimiento. [en línea]. Disponible en Internet: <<http://www.scribd.com/doc/2187657/>>. [citado el 5 de abril de 2008].

SIDELPA. Aceros. [en línea]. Disponible en Internet: <<http://www.sidelpa.com>>. [citado el 18 de abril de 2008].

VIRTUAL. Organizaciones. [en línea]. Disponible en Internet: <<http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/manizales/4010014/Contenidos/>>. [citado el 18 de marzo de 2008].

WIKIPEDIA. Laminación. [en línea]. Disponible en Internet: <<http://es.wikipedia.org/wiki/Laminaci%C3%B3n>>. [citado el 22 de marzo de 2008].

WIKIPEDIA. Mantenimiento de Calidad Total. [en línea]. Disponible en Internet: <[http://es.wikipedia.org/wiki/Gesti%C3%B3n\\_total\\_de\\_calidad](http://es.wikipedia.org/wiki/Gesti%C3%B3n_total_de_calidad)>. [citado el 5 de marzo de 2008].

# **IMPLEMENTACIÓN DE METODOLOGÍA SMED EN EL ÁREA DE PRENSAS DE C.I. COLAUTO S.A.**

MARCO ANTONIO BOTERO PUERTA

mboterop@eafit.edu.co

Departamento de ingeniería Mecánica

SANTIAGO MONTOYA CORONEL

smontoy8@eafit.edu.co

Departamento de ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS

GESTIÓN DE PROYECTOS

ASESOR PRINCIPAL

JUAN SANTIAGO VILLEGAS

EMPRESA

C.I. COLAUTO S.A



## **RESUMEN**

Este proyecto consiste en la implementación de cada una de las etapas de la metodología SMED (singular minute for Exchange die) en la compañía C.I. Colauto, metodología que consiste en identificar todas las actividades necesarias para realizar el cambio de herramientas, observar cuales de estas actividades se realizan con la maquina parada y transformar el mayor número posible de las mismas en actividades que puedan efectuarse con la maquina en funcionamiento, para que dicha máquina alcance un mayor grado de productividad.

Lo anterior fundamentado en estudios de disminución de tiempos de producción y en la necesidad que tiene la empresa de eliminar tiempos muertos en el cambio de herramientas, con el fin de aumentar la productividad de la compañía.

## **ABSTRACT**

The aim of this project is the implementation of itch one SMED (singular minute for Exchange die) stages in C.I. Colauto company. This methodology consist on the identification of all necessary activities to make die exchange, observe which of this activities are develop when the machine is out of work and make all possible changes trying that most of those activities can be develop when the machine is working, looking for have more productivity.

The previous statement was based on production time studies and the company needs on reduce dead times on die exchange, and increase the productivity.

## **PALABRAS CLAVES**

SMED, productividad, metodología, tiempos muertos, optimización, herramental

## **KEY WORDS**

SMED, productivity, methodology, dead times, optimization, die

## INTRODUCCIÓN

Los avances tecnológicos del mundo son cada vez mayores y conducen a las empresas a estar en una evolución continua, a generar cambios culturales y a buscar mejores técnicas de producción en donde se aumente la productividad sin dejar a un lado la calidad, con el objetivo de brindar a los clientes mayor cumplimiento y satisfacción.

En la actualidad el mercado demanda mayor calidad y mayor capacidad de respuesta a un menor costo. El cliente es cada vez más exigente, los lotes de producción son cada vez más pequeños y la variedad de productos que hay que tener para poder competir es alta. Esto se convierte en un problema para las compañías ya que es necesario realizar un mayor número de cambios de referencias en los que hay que invertir tiempos que en realidad no están agregando valor sino que son tiempos muertos en producción que se traducen en pérdidas monetarias para las organizaciones.

El problema que se presenta por pérdidas de tiempo en cambio de herramientas no ha sido tratado en forma metódica por la empresa y esto se debe en gran parte a las ideas tradicionalistas que se tienen desde hace mucho tiempo y esos paradigmas que dificultan la implementación de ideas novedosas como las planteadas por la metodología SMED.

Es por esto que se hace necesario aplicar las herramientas de la metodología SMED en la compañía C.I.Colauto, para reducir los tiempos improductivos y mejorar la forma de trabajo al interior de la empresa.

Metodología smed aplicada: Para aplicar la metodología SMED en las prensas de 250 ton. se empezará por identificar las pérdidas de tiempos productivos y todas las actividades requeridas para realizar el cambio de herramental en la etapa preliminar, se pasará luego a la primera fase de esta metodología en donde se identificarán cuales de las actividades observadas en la etapa anterior se realizan con la máquina produciendo y cuales se realizan con la máquina detenida. Luego se procederá a evaluar cuales de las actividades que se realizan con la máquina parada,

se pueden hacer con la máquina en funcionamiento en la segunda fase del SMED, para luego darle paso a la etapa final en donde se buscará optimizar todo el proceso en general.

## ETAPA PRELIMINAR

Lo que no se conoce no se puede mejorar, por lo tanto en esta fase se realiza un análisis detallado del proceso inicial de cambio con las siguientes actividades:

- Registrar los tiempos de cambio:
- Conocer la media y la variabilidad.
- Escribir las causas de la variabilidad y estudiarlas.
- Estudiar las condiciones actuales del cambio:
- Análisis con cronometro.
- Entrevistas con operarios.
- Tomar fotografías.
- Mostrar las fotografías a los operarios.

En las operaciones de preparación tradicionales se producen diferentes clases de pérdida de tiempo. Por ejemplo los productos terminados son transportados hacia el proceso siguiente, o se trae el lote de piezas que vienen para este proceso una vez la máquina está detenida y se pierde un tiempo valioso de producción, aproximadamente entre 10 y 20 minutos en transporte y manejo de material, lo que es inaceptable si se quiere tener un proceso realmente productivo.

### Fase 1. Identificación, análisis y descomposición del tiempo de cambio de útiles, separando preparación interna de externa

El primer paso y quizá el más importante para mejorar el tiempo de preparación, es distinguir las actividades que se llevan a cabo durante la preparación interna y externa.

Consiste básicamente en realizar un profundo análisis mediante el cual se identifiquen en lo posible la totalidad de los tiempos muertos: como por ejemplo el tiempo perdido mientras se espera a que llegue el útil a donde será instalado, el tiempo perdido mientras el ajustador u operario encargado del montaje termina de hacer otra actividad y

llega al sitio de trabajo, la búsqueda de las herramienta que son necesarias para el montaje o desmontaje del útil, pero por alguna razón no está a la mano en el momento del cambio, etc.

### Fase 2. Conversión de tiempos internos en tiempo externos

Al tiempo en el cual el sistema no está produciendo, es decir, no agrega valor a la productividad, se le considera como desperdicio; por lo tanto, se requiere de su eliminación. En esta fase es necesario hacer una revisión minuciosa de las actividades internas, para poder hacer la conversión pertinente y así ganar más tiempo productivo.

Con la conversión de las actividades internas en externas es posible reducir entre un 30 y un 50% los tiempos de preparación. Esta enorme reducción no es, sin embargo, suficiente para alcanzar los objetivos SMED.

### Fase 3. Reducción de los tiempos internos y externos

El objetivo de esta etapa es perfeccionar los aspectos de la operación de preparación, incluyendo todas y cada una de las actividades elementales.

Una vez que los tiempos internos sean bien identificados, su reducción es posible. Normalmente la mayoría de las mejoras se logran en los procesos de ajuste. En ocasiones gracias a dispositivos técnicos que permiten ganar tiempos importantes, sin embargo hay otros más costosos que obligan a elaborar un cálculo de rentabilidad detallado.

Implementación de operaciones en paralelo: Aquellas operaciones que necesitan más de un operario ayudan mucho a acelerar algunos trabajos, puesto que con dos personas, una operación que tarda 12 minutos, no será completada en 6 sino tal vez 4, gracias a los ahorros de movimientos que se obtienen, además del incremento en la seguridad que se genera en cada actividad.

## RESULTADO

Al implementar cada una de las fases que conforman la filosofía SMED, se logró disminuir los tiempos de montaje y desmontaje de herramientas grandes medianos y pequeños de la compañía C.I. Colauto, lo que generó una disminución en los tiempos productivos de 38,9%, 41,3% y 39,7% respectivamente.

FIGURA 1  
Resultado de tiempos en troqueles grandes

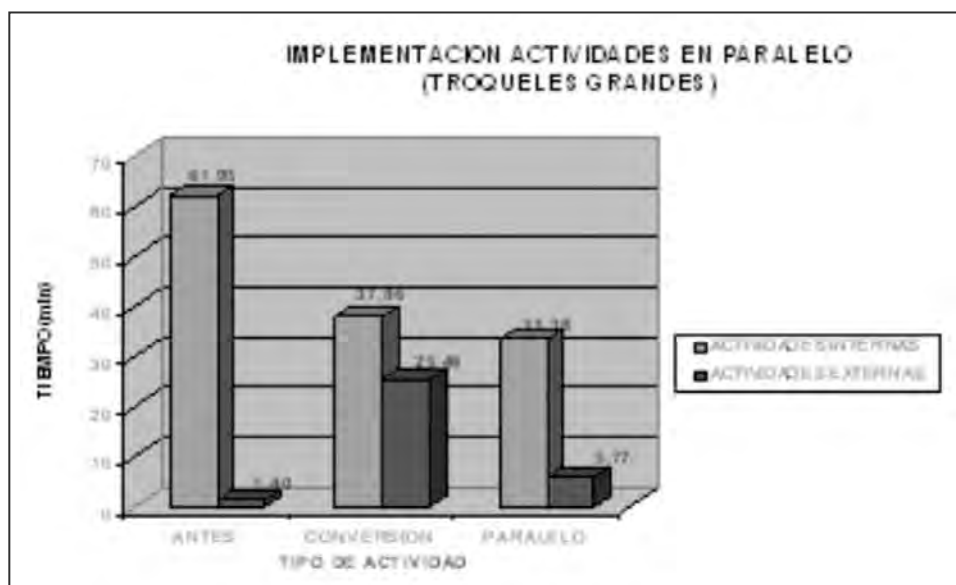


FIGURA 2  
Resultado de tiempos en troqueles medianos

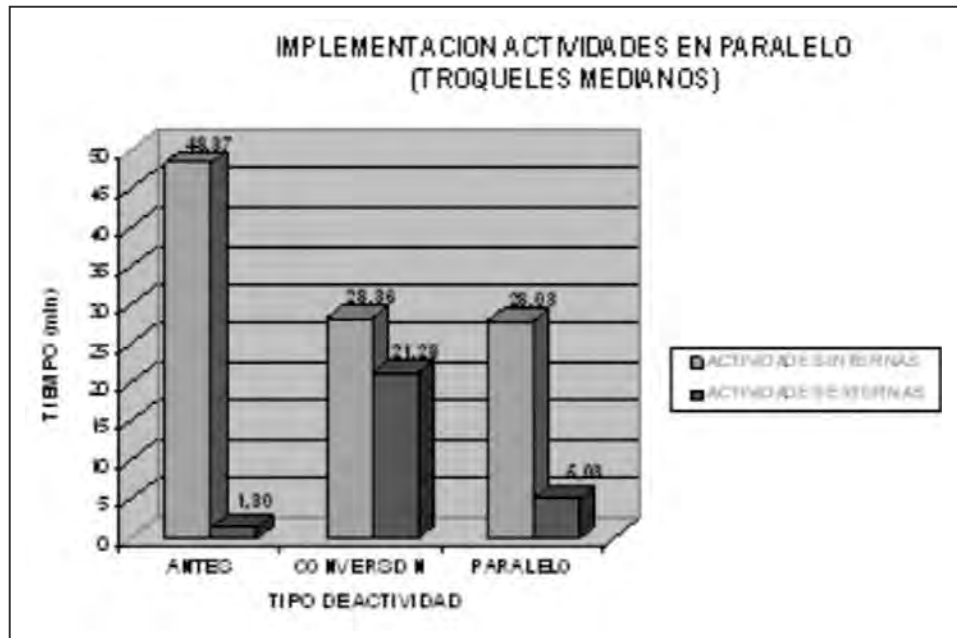
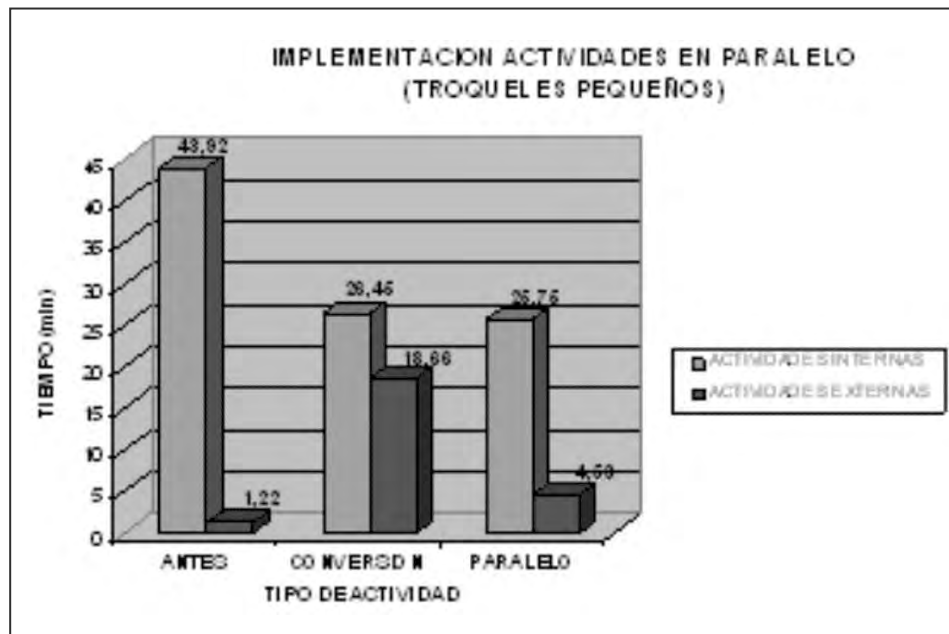


FIGURA 3  
Resultado de tiempos en troqueles pequeño



## CONCLUSIONES

Por medio de la identificación y la correcta plantación de actividades, se puede obtener beneficios a nivel productivo al interior de cualquier compañía.

Se puede concluir que la falta de estandarización de procesos en la cadena productiva de C.I. Colauto, generan una gran cantidad de tiempo muertos, aproximadamente 50min cada vez que se realiza un cambio de herramental, los cuales se ven reflejados en la productividad de la compañía.

SMED no es más que una metodología de trabajo que permite lograr ahorros en tiempos sin necesidad de incurrir en costos.

Para la implementación de la filosofía SMED es indispensable conocer todas las variables involucradas en el proceso productivo; máquina, herramientas, entorno, secuencias, materiales, responsables, etc.

Luego de conocer sobre la metodología y aplicarla en la industria autopartista, es posible concluir que al igual que la gran mayoría de herramientas de producción, el SMED se basa en brindar soluciones prácticas para agilizar el trabajo de los operarios y así maximizar la productividad sin interferir en la calidad del producto.

Para la correcta implementación de la metodología SMED en cualquier industria, es indispensable contar con el apoyo de las personas que están directamente involucradas con el proceso productivo, para poder realizar las labores de identificación, toma de tiempos y demás trabajos operativos de la metodología SMED.

Para poder identificar la máquina más crítica hay que tener en cuenta varios criterios de selección y calificarlos por su mayor o menor importancia según las necesidades de la empresa y de esta forma poder trabajar sobre las verdaderas restricciones y no malgastar tiempo en actividades no tan críticas para la compañía.

Luego de realizar la matriz morfológica de ponderación donde se calificaron todos los criterios de selección de los tres grupos de máquinas, se pudo identificar que el grupo de máquinas más crítico fue el de las máquinas de 250 Ton.

Se identificó que las máquinas de 250 Ton. Son las más críticas, debido a que en éstas se realizan montajes de troqueles de gran tamaño, con herramientas igualmente grandes, que por su peso se dificulta su transporte y además estas prensas utilizadas para la fabricación de piezas de vital importancia para la compañía.

Para alcanzar adecuadamente los objetivos planteados en la metodología SMED, es necesario implementar cada una de las etapas propuestas en su respectivo orden, comenzando por una etapa preliminar de identificación, hasta llegar a la fase final.

Se observó que la mayoría de las actividades involucradas en el cambio de herramientas dentro de la compañía C.I.Colauto se realizaban mientras que la máquina estaba parada, lo que significa pérdidas de aproximadamente 50 min cada montaje.

Uno de los aspectos fundamentales para lograr la disminución de los tiempos es el aprovechamiento del recurso humano por lo que se definieron roles de cada una de las personas involucradas en el cambio de herramental.

Por medio de la implementación de una de las fases de la metodología SMED, se logró convertir la mayor parte de las actividades que se realizaban con la máquina parada, en actividades que se pueden hacer mientras que la máquina está en funcionamiento, sin afectar la productividad de la compañía.

Se logró reducir los tiempos de recambio de herramientas significativamente por medio de las actividades en paralelo, en donde se pasó de tener 32 actividades para realizar el cambio de un troquel a tener 17 conjuntos de actividades en

donde se pueden realizar varias acciones al mismo tiempo, reduciendo así el tiempo improductivo de máquina.

Al implementar cada una de las fases que conforman la filosofía SMED, se logró disminuir los tiempos de montaje y desmontaje de herramientas grandes medianos y pequeños de la compañía C.I. Colauto, lo que generó una disminución en los tiempos productivos de 38,9%, 41,3% y 39,7% respectivamente.

La metodología SMED brinda grandes beneficios a un muy bajo costo ya que la inversión para la aplicación es nula y la reducción en los tiempos de montaje y desmontaje de troqueles es bastante atractiva.

El SMED es una metodología flexible que no solamente puede ser aplicada en la industria autopartista sino que por el contrario, puede brindarle excelentes beneficios a muchas otras industrias como la industria del plástico, metalmecánica, electrónica y demás industrias en las que en su proceso productivo estén involucradas máquinas que requieran cambios de sus herramientas.

## **BIBLIOGRAFÍA**

SHINGO, Shigeo, Una revolución en la producción. El sistema SMED. Tercera edición. Stamford, Connecticut y Cambridge, Massachusetts. Productivity Press 1993. ISBN: 8487022022.

LEZCANO CORREA, Laura Catalina y MONTOYA VÉLEZ, Catalina. Aumentar la producción en la máquina impresora de material hidrotejido de Colombiana Kimberly Colpapel S.A. Planta Barbosa mediante técnica SMED. Trabajo de grado, Universidad EAFIT, Escuela de Ingeniería.

CANO, Marcela y RAMIREZ, Mónica. Aumento de la productividad mediante la implementación de SMED. Medellín 2007. Trabajo de grado (Ingeniería de producción). Universidad EAFIT, Departamento de Ingeniería de producción.

GÓMEZ GIRALDO, Catalina. Aplicación de SMED en la máquina punzonadora de Coservicios S.A. Medellín 2007. Trabajo de grado (Ingeniería de producción). Universidad EAFIT, Departamento de Ingeniería de producción.

RAVE RIOS, Andrés Felipe y VÁSQUEZ, Alejandro Miguel. Desarrollo de una herramienta para el diseño de sistemas de refrigeración de plantas de inyección de termoplásticos. Trabajo de grado (Ingeniería de Mecánica). Universidad EAFIT, Departamento de Ingeniería de Mecánica.

@SHINGEO Material de docencia. Reducción de los tiempos de cambio de útiles: técnicas SMED. [En línea]. [Citado Abril 3 de 2008] Disponible desde Internet. [http://www.eueti.uvigo.es/files/material\\_docente/1230/opctema7smed.pdf](http://www.eueti.uvigo.es/files/material_docente/1230/opctema7smed.pdf)

@MONTERREY Forum de calidad. Lean manufacturing. [En línea]. [Citado Abril 11 de 2008] Disponible desde Internet. [http://www.galgano.es/lbinaries/pdf3701\\_pdf.pdf](http://www.galgano.es/lbinaries/pdf3701_pdf.pdf)

@OPCTEMA Marco teórico. Sistema SMED. [En línea]. [Citado Marzo 23 de 2008] Disponible desde Internet. <http://digital.eafit.edu.co/bdigital/PROYECTO/P621.9023B326/Capitulo1.pdf>

@LAMINAS Trabajo metalmecánico de láminas. [En línea]. [Citado Abril 9 de 2008] Disponible desde Internet. <http://materias.fcyt.umss.edu.bo/tecnico-II/PDF/cap-33.pdf>

# ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN USADA POR MANTENIMIENTO Y PRODUCCIÓN Y SUS IMPLICACIONES EN LA GESTIÓN DE AMBAS ÁREAS. -CASO DE UNA EMPRESA DEL SECTOR MINERO-

ELIETTE JOHANA RESTREPO GÓMEZ

erestre4@eafit.edu.co

Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS

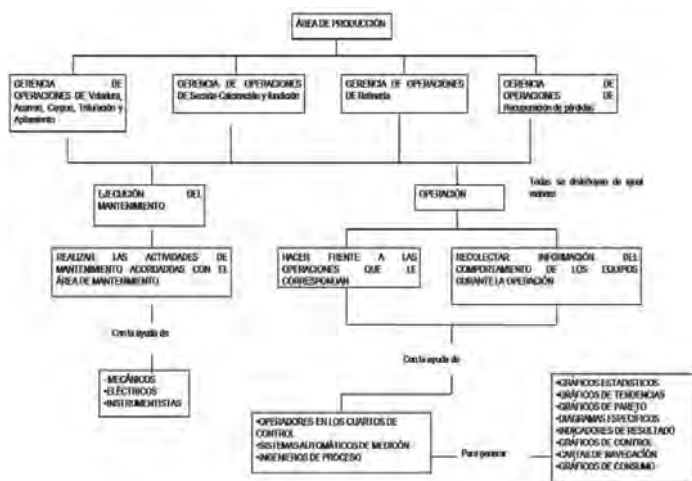
MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

ASESOR PRINCIPAL

GUSTAVO ADOLFO VILLEGAS LÓPEZ

SECTOR BENEFICIADO

SECTOR MINERO



## RESUMEN

La relación entre las áreas de producción y mantenimiento, a menudo, es conflictiva pues estas tienen altas responsabilidades y presiones para el cumplimiento de metas y estándares de calidad con los clientes y dependen una del servicio y colaboración de la otra mutuamente.

El TPM propone que la comunicación es la base para enfocar la gestión de las áreas de Mantenimiento y Producción, esta se logra con el compromiso de mantener las condiciones óptimas de los equipos a través del establecimiento de responsabilidades claras para ambas áreas.

Se evalúa la comunicación entre ambas áreas en una empresa del sector minero, a partir de la propuesta del TPM, se encuentran fortalezas como el manejo de estándares de operación en documentos escritos y debilidades como la priorización del análisis de pérdidas en el proceso sobre análisis de fallas en el equipo, los anteriores hallazgos tienen implicaciones en la gestión, una de ellas es la asignación de recursos a procesos que no lo requieren o realización de tareas que son competencia de la otra área.

## PALABRAS CLAVE

Mantenimiento Autónomo, Mantenimiento Planeado, TPM, Gestión de las áreas de Mantenimiento y Producción.

## ABSTRACT

The relationship between the areas of production and maintenance is often contentious as these have high responsibilities and pressures for the fulfillment of goals and quality standards with customers and depend on a service and collaboration of the other mutually.



The TPM is proposing that the communication is the basis for approaching the management of the areas of Maintenance and Production; this is achieved with the commitment to maintain the optimum conditions for the equipment through the establishment of clear responsibilities for both areas.

The communication communication between the two areas is evaluated in a company's mining sector, since the proposal of TPM, there are strongholds such as the handling of standards of operation in written documents and weaknesses as the prioritization of the analysis of losses in the process instead of failure analysis on the equipment, previous findings have implications for the management, one of them is the allocation of resources to processes that do not require or tasks that are the responsibility of another area.

## **KEYWORDS**

Autonomous Maintenance, Planned Maintenance, TPM, management of the areas of Maintenance and Production.

## **INTRODUCCIÓN**

Las industrias de proceso presentan continuamente grandes pérdidas que se atribuyen a la complejidad y tamaño de los equipos y procesos que manejan.

Existe un interés creciente por disminuir estas pérdidas a todo nivel y por aumentar las utilidades al mismo tiempo que se minimiza el impacto ambiental de las operaciones y transformaciones.

Para apoyar la disminución de estas pérdidas se encuentran cada día nuevas técnicas y métodos de gestión que son ofrecidos por el mercado y que necesitan ser evaluados por la compañía, la cual debe adaptarse al que más beneficios represente teniendo en cuenta sus particularidades en cuanto al tipo de proceso, tamaño y políticas internas. Es común encontrar como algunas compañías adoptan metodologías solo por que "están de moda" sin hacer antes un análisis previo de la situación para encontrar cuales son realmente las debilidades que se deben atacar. En caso contrario, se han encontrado compañías en las cuales ninguna metodología ha sido implantada y son exitosas.

En este proyecto, se analiza una empresa del sector minero, en la cual se tienen buenas prácticas de comunicación y existe un gran compromiso por lograr la disminución de cualquier pérdida, se ponen a disposición todos los recursos posibles y tiempo para hacer que el proceso sea lo más eficiente y limpio posible. Esta empresa, sin embargo, continúa experimentando grandes pérdidas en los procesos más críticos y se encuentra continuamente en fases de cambio y experimentación para minimizarlas.

Por lo anterior se decidió realizar un análisis de las áreas de Mantenimiento y Producción, que son quienes tienen relación directa con el proceso, por lo tanto las encargadas de gestionar para disminuir las pérdidas y los impactos que redundan en el aumento de las utilidades. Este análisis se hace desde el manejo de la información en ambas áreas que es la que determina la comunicación, siguiendo la propuesta del TPM que dice que el buen manejo de esta es fundamental para garantizar la correcta cooperación entre las áreas asegurando las buenas condiciones del equipo e impactando directamente el logro de disminución de pérdidas y aumento de utilidades.

## **APROXIMACIÓN TEÓRICA SOBRE LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO Y LA PRODUCCIÓN A LA LUZ DEL TPM**

Una buena gestión se fundamenta en la comunicación y cooperación entre las áreas de Mantenimiento y Producción, esta comunicación se logra partiendo del establecimiento claro de responsabilidades y a través de un compromiso firme de velar por las condiciones óptimas del equipo. Para apoyar este compromiso, se debe establecer un programa de Mantenimiento Autónomo y uno de Mantenimiento Planificado. En estos programas deben participar activamente todos los miembros de la compañía, tanto de producción como de mantenimiento, desde los directivos hasta los operarios y mantenedores (Fuente: TOKUTARU, Suzuki. TPM en Industrias de Proceso).

La definición del TPM comprende los siguientes cinco componentes estratégicos:

- Crear una organización que maximice la eficacia de los sistemas de producción.
- Gestionar la planta para que se eviten todo tipo de pérdidas (asegura cero accidentes, defectos y averías) en la vida entera del sistema de producción.
- Involucrar a todos los departamentos en la implantación del TPM, incluyendo recursos humanos, ventas y administración.
- Involucrar a todos, desde la alta dirección hasta los operarios de la planta, en un mismo proyecto.
- Orientar decididamente las acciones hacia las "cero pérdidas" apoyándose en las actividades de los pequeños productores.

Cuando se habla de TPM en industrias de proceso, se deben tener en cuenta características especiales que las distinguen de las demás industrias y que tienen efecto en la implementación del TPM, estas características son:

- Cuentan con sistemas de producción diversos: incluyen los de producción continua hasta los de producción en lotes o cargas.
- Poseen diversidad de equipos: tanto para las operaciones unitarias como para el transporte del producto entre cada una de esas operaciones, van desde equipos estáticos hasta rotativos y de instrumentación.
- Utilizan equipos estáticos.
- Cuentan con un control centralizado y pocos operarios: el control de grandes y complejos equipos se centraliza y se controla por unos pocos operarios.
- Registran altos consumos de energía: eléctrica, gasoil, agua, etc.
- Es común que utilicen unidades de reserva y conexiones de derivación: para relevar las que se averían durante la operación, menguando así los efectos de las averías.
- Hay alto riesgo de accidentes y polución: algunos procesos manejan sustancias peligrosas o tóxicas y se operan a altas temperaturas o presiones.
- Tienen un entorno de trabajo deficiente: el entorno de trabajo se ensucia como resultado de derrames, fugas, dispersión de partículas, etc.
- Utilizan el mantenimiento con parada de instalaciones: este mantenimiento es considerado el más eficaz, es, sin embargo, el más costoso.

Las anteriores características se derivan del tipo de equipos que se utilizan en las industrias de proceso, es por esto que en ellas el equipo se convierte en el centro de atención, si se requiere entonces mejorar la gestión en una industria de proceso, se debe empezar por mejorar la gestión de los equipos que allí se encuentran, según el TPM esto implica:

- Planificar toda la vida útil del equipo. Enfocar el mantenimiento que se va a realizar (preventivo, predictivo o correctivo.)
- Asignar responsabilidades para realizar el mantenimiento (qué tareas deberán realizar los operarios, que tareas los mecánicos, etc.).

Para apoyar esta gestión del equipo el TPM propone lo que denomina Mantenimiento Autónomo que es con el que determinan las actividades que debe realizar el área de producción. Son éstas:

- Evitar el deterioro a través de la operación correcta para evitar errores humanos, realizar los ajustes correctos para evitar errores de proceso (defectos de calidad), garantizar el orden básico que asegure el establecimiento de las condiciones básicas del equipo (limpieza, lubricación, apretado de pernos), predecir oportunamente y detectar anomalías para impedir fallas y accidentes y registrar el mantenimiento (retroalimentar información para evitar repeticiones y crear diseños que faciliten el mantenimiento).
- Medir el deterioro a través de la inspección diaria con patrullas de chequeo y con los cinco sentidos durante el funcionamiento del equipo y a través de la inspección periódica (que parte de la inspección general durante la parada de planta para mantenimiento).
- Ofrecer pequeños servicios con los que se tomen medidas de emergencia cuando surgen las condiciones anormales y se reemplacen piezas simples.
- Realizar un informe rápido y preciso de fallas y problemas y asistencia a la reparación de fallas inesperadas.

Las actividades que debe realizar el área de mantenimiento son establecidas por lo que se denomina Mantenimiento Planificado. Son éstas:

- Actividades para garantizar una operación normal: ajustes y montaje correctos (prevención de errores humanos).
- Actividades de mantenimiento Preventivo: Mantenimiento diario (condiciones básicas del equipo, chequeos, pequeño servicio).
- Actividades de mantenimiento periódico.
- Actividades de mantenimiento Predictivo: verificación de condiciones, servicio a intervalos medios y largos.
- Actividades de mantenimiento de averías: detección pronta de anomalías, reparaciones de emergencia, prevención de repeticiones, reparación de averías.
- Evaluar el equipo y comprender las condiciones actuales de partida.
- Restaurar el deterioro y corregir las debilidades.
- Crear un sistema de gestión de la información, que genere informes para discusión en las reuniones diarias y semanales, controle historiales de las máquinas para planificar el mantenimiento e inspecciones. Con el que se puedan calcular presupuestos y controlar los repuestos en bodega y que permita la evaluación del departamento a través de indicadores de confiabilidad, mantenibilidad y costos.

Además de lo anterior, deben realizarse actividades de mejora para alargar la vida del equipo y reducir el tiempo de mantenimiento. El área de mantenimiento debe centrar sus

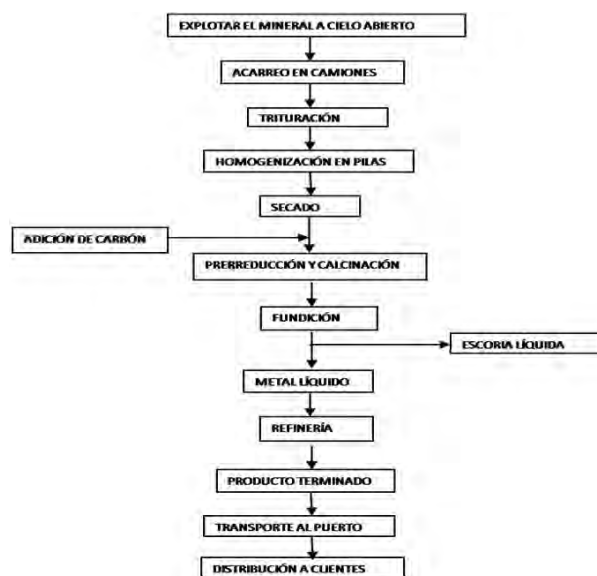
esfuerzos en el mantenimiento planificado, en el predictivo y en el correctivo, concentrándose en medir y restaurar el deterioro. La verdadera tarea de mantenimiento no es ser un taller de reparaciones si no ser un especialista que se encargue de elevar la mantenibilidad, operatividad y seguridad del equipo.

El área de mantenimiento no puede lograr el objetivo del TPM (cero averías) solamente con el Mantenimiento Planificado, tampoco el área de producción puede lograrlo solo son el Mantenimiento Autónomo, ambas áreas lograrán resultados significativos solo a través de la combinación de los dos mantenimientos. La estrecha cooperación entre las áreas de producción y mantenimiento es el factor clave para asegurar que se cumplan los objetivos.

## EMPRESA EN LA QUE SE REALIZÓ EL PROYECTO

Se realiza el proyecto en una empresa del sector minero de Tajo Abierto, es decir, que toma el mineral de la superficie e incluye actividades como perforación y voladura, carguío y acarreo, rehabilitación del terreno explotado, trituración del mineral, tratamientos de lixiviación y concentración, manejo de los rechazos de mineral, transporte del mineral y almacenamiento en pilas a cielo abierto.

FIGURA 1. Proceso del negocio



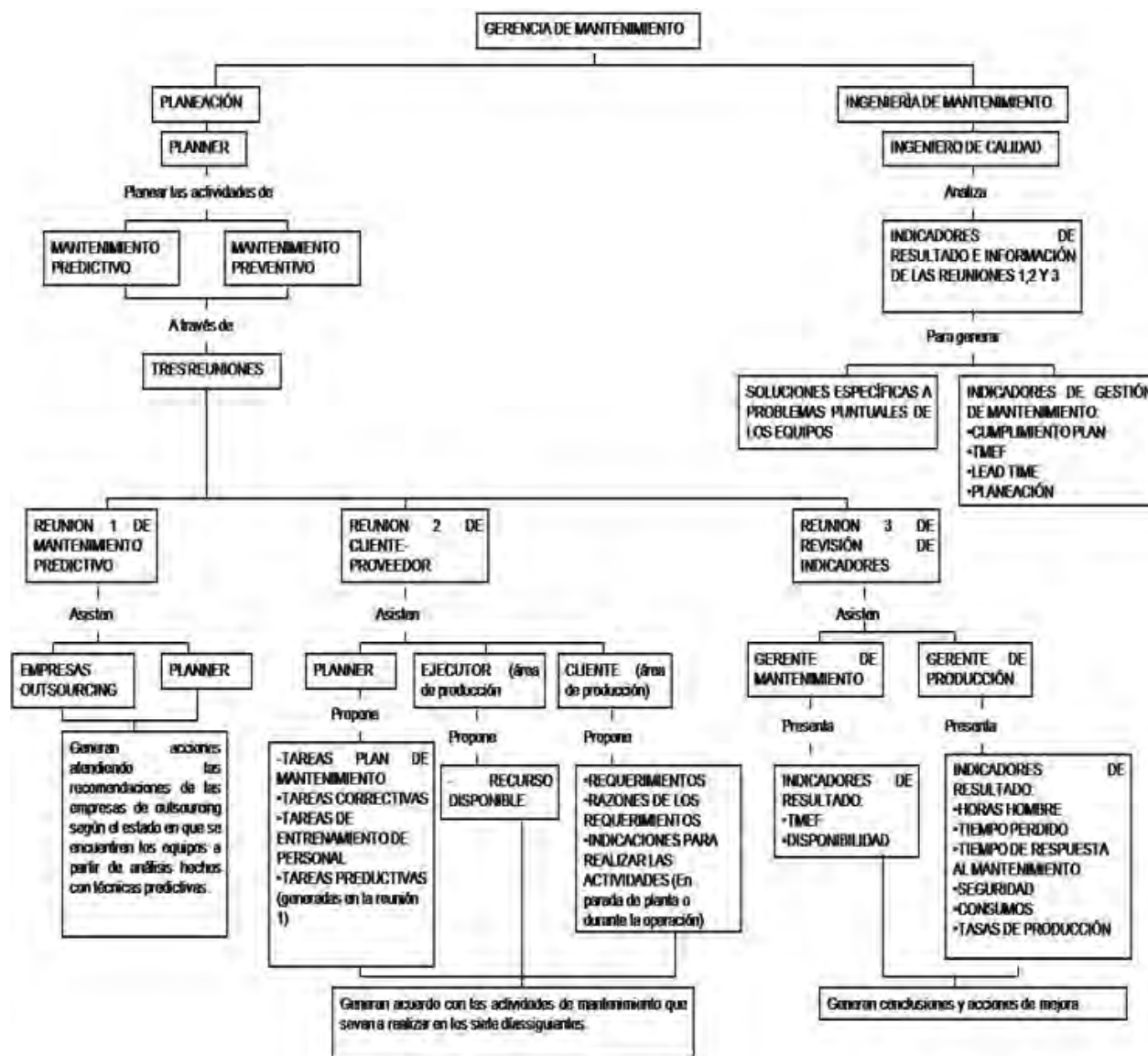
## INFORMACIÓN USADA POR MANTENIMIENTO Y GESTIÓN DE LA MISMA

El área de mantenimiento tiene a su cargo las dependencias de Planeación y de Ingeniería del mantenimiento. Se encarga de liderar las reuniones que se realizan con el área de producción para planeación del mantenimiento

y análisis de resultados de las actividades realizadas. Además recoge y analiza los indicadores que se generan con la información del desempeño de los equipos.

A continuación se muestra un cuadro resumen de las actividades que se realizan dentro del área para el manejo de la información y la comunicación con el área de producción.

FIGURA 2. Área de Mantenimiento

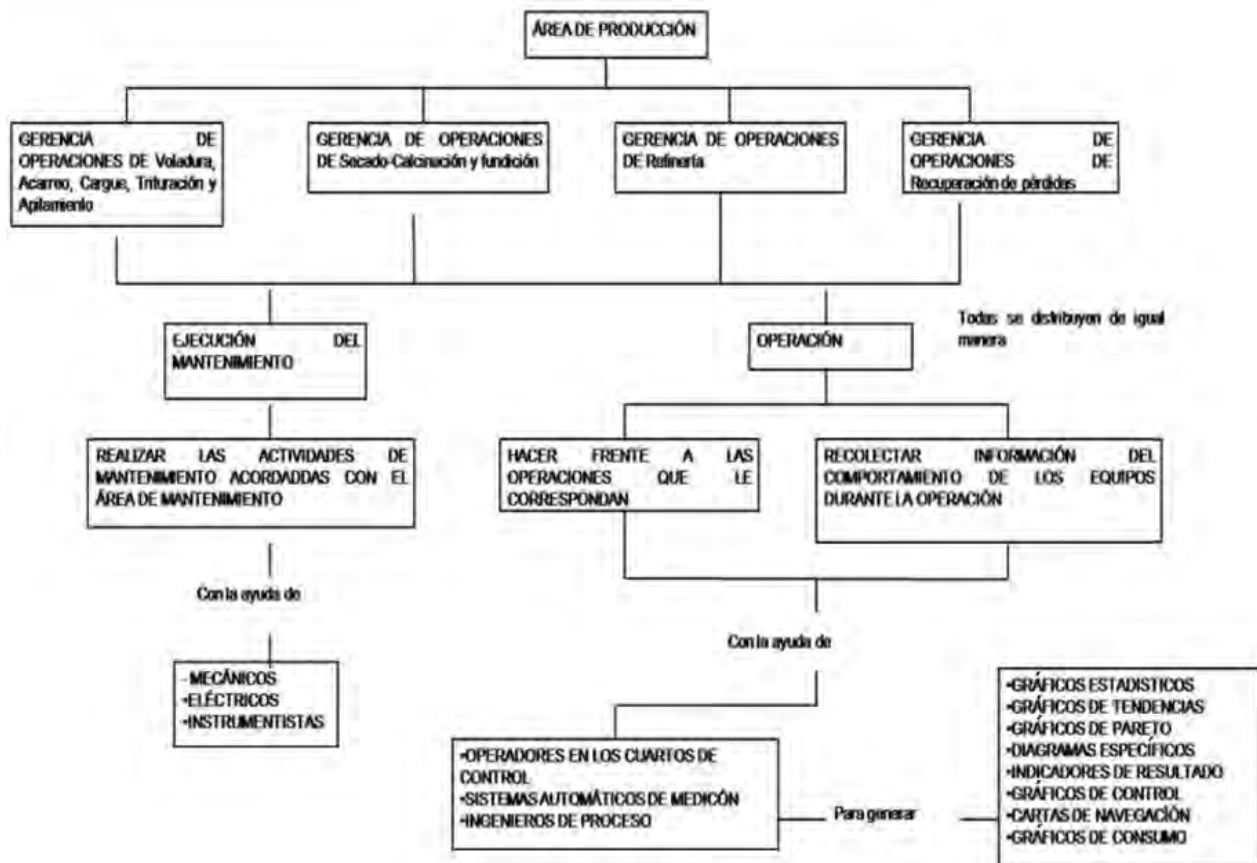


## INFORMACIÓN USADA POR PRODUCCIÓN Y GESTIÓN DE LA MISMA

El área de producción se hace cargo de todas las operaciones dentro de la empresa y de ejecutar las labores de mantenimiento que sean planeadas, además se encarga

de recoger la información con la que se presentarán informe de desempeño de los equipos y logros en las cuotas de producción. A continuación se presenta un cuadro resumen en el cual se pueden entender las actividades del área para generar la información con la que se mantendrá la comunicación con el área de mantenimiento.

FIGURA 3. Actividades del área



## COMPARACIÓN DE LA GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN DE MANTENIMIENTO Y PRODUCCIÓN

Según lo propuesto por el TPM, la gestión de las áreas de mantenimiento y producción dentro de la empresa cumplirá con los objetivos de cero averías, menos costos

y más utilidades siempre que esta garantice tres condiciones básicas:

- Comunicación y cooperación dentro de cada área y con las áreas externas.
- Claridad de responsabilidades y alcance de las intervenciones.
- Custodia del equipo para mantener las condiciones estándares de operación.

A continuación se presenta una comparación las áreas en cuestión a partir de estos tres aspectos.

### **Comunicación y cooperación dentro de cada área y con las áreas externas**

Existe una buena comunicación entre las áreas, fundamentada en la asistencia a las tres reuniones de planeación y en la revisión de los indicadores de resultado de cada una respecto a las actividades que se realizaron.

El área de mantenimiento se encarga de la planeación teniendo en cuenta las recomendaciones de producción y luego, esta última se encarga de ejecutar lo que fue acordado.

### **Claridad de responsabilidades y alcance de las intervenciones**

Se encuentran oportunidades de mejora debido a la escasez de contratos contundentes que permitan el reclamo o la rendición de cuentas luego de realizadas las actividades por cada área.

### **Custodia del equipo para mantener las condiciones estándares de operación**

Se observa un compromiso fuerte de ambas áreas por conservar las condiciones estándar de operación, pero en condiciones de falla, ambas difieren en la forma en la que cuidan el equipo, para el área de mantenimiento prima el equipo sobre el proceso, y para el área de producción prima el proceso que el equipo.

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Con base en la comparación de la gestión de la información en ambas áreas se encuentran implicaciones en tres aspectos, el primero de ellos tiene que ver con la relación cliente proveedor entre las áreas, el segundo, con el enfoque de las actividades centradas en el proceso más que en el equipo y el último, con la administración

del personal para realizar actividades de mantenimiento y operación. A continuación se expresan conclusiones y recomendaciones teniendo en cuenta estos tres aspectos.

A pesar de los esfuerzos de ambas áreas por disminuir las pérdidas a través del uso de tecnologías de información, análisis de indicadores y reuniones de informes, se siguen presentando pérdidas, una vía para aliviar esta situación y alcanzar un mejor efecto con las intervenciones, es fortalecer el sistema contractual entre ellas, no debe olvidarse que, aunque hacen parte de una misma compañía, funcionan entre ellas como cliente-proveedor constantemente.

Esto lleva a que deban dejarse plasmadas las obligaciones de cada parte en un documento escrito y aprobado que permita la revisión de las intervenciones de ambas áreas y la toma de acciones conjuntas para la mejora continua. Estas decisiones y acuerdos (contratos) deben informarse a todos los niveles para aumentar la cooperación por parte de todos los actores.

Las actividades dentro de la empresa se centran en el proceso, no en el, esto es contrario a lo que propone el TPM (que dice que a través del cuidado del equipo y del aseguramiento de sus condiciones básicas se logran los objetivos de cero pérdidas y máximos rendimientos). Se podría afirmar que esta es la causa por la cual el área de mantenimiento y de producción no logran potenciar sus esfuerzos, los mantenimientos para asegurar las condiciones básicas del equipo (actividades de mantenimiento autónomo y planeado) son desplazados por actividades de operación consideradas prioritarias, lo que hace que algunas fallas no puedan controlarse y atacarse antes de se presenten pues se está pensando constantemente en alcanzar la tasa de producción requerida.

La solución debe generarse como un acuerdo conjunto en donde se sepa qué es lo mejor para la compañía, en ocasiones, lo que una metodología propone no es certeramente eficaz, puede ser que en la realización de este acuerdo se encuentren actividades que apoyen el principio del negocio tal como está ahora y que permitan que las dos áreas trabajen enfocadas para alcanzar altos rendimientos.

En este caso, se encuentra acertado que el área de producción sea quien maneje el personal para la ejecución de mantenimiento, al estar ambas actividades bajo una misma dirección se conocen exactamente las causas de retrasos y se priorizan las tareas para que las dos partes (equipo y proceso) se vean afectadas en una mínima proporción.

Debe manejarse esta ventaja con precaución para no abusar de que se tiene pleno control relegando las actividades que se planean dentro del área de mantenimiento en cuanto a inspecciones de rutina, revisiones predictivas y mejoras en el diseño.

Debe tenerse en cuenta que la decisión de implementar una metodología como el TPM debe nacer desde la alta

gerencia, los cambios que se hagan tendrán que tocar aspectos que se consideraban antes obligatorios. En este caso, si se quiere seguir la propuesta del TPM, deberá cambiarse el enfoque de la gestión, esta deberá ser desde el equipo y no desde el proceso como se hace hasta el momento. Siguiendo los lineamientos para la custodia del equipo se impactará positivamente el proceso y todos los demás aspectos dentro de la compañía.

Finalmente, retomando las conclusiones que hace A. Kelly en el análisis de un sistema de gestión de mantenimiento en una empresa del sector minero, la reducción de pérdidas a un nivel óptimo es un "problema dinámico e interdepartamental", cuya solución requiere de la participación y el común acuerdo de todos con el ánimo de alcanzar los objetivos del negocio.

# DISEÑO DE UN SISTEMA DE ALIMENTACIÓN, MOLIDO O REDUCCIÓN DE TAMAÑO Y ALMACENAMIENTO PARA RECICLAJE DE PLÁSTICO

JUAN ESTEBAN CASTRILLON MAZO

jcastr4@eafit.edu.co

Departamento de Ingeniería Mecánica

EDISSON VARGAS JARAMILLO

evargasj@eafit.edu.co

Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS

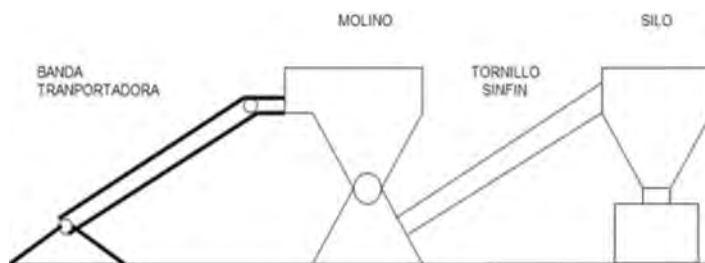
DISEÑO DE SISTEMAS TÉCNICOS

ASESOR

LUIS ALBERTO GARCIA

SECTOR BENEFICIADO

UNIVERSIDAD EAFIT



## RESUMEN

El sistema diseñado consta de una banda transportadora de cinta que se coloca desde el suelo y se fija al piso por medio de un soporte, la banda transportadora se ubica en una posición de  $41.5^\circ$  y va hasta la tolva del molino; esta tiene seis rodillos de apoyo los cuales son arrastrados un rodillo motriz que está ubicado en la parte superior de la estructura; este está accionado por un moto reductor.

El proceso continua con un molino que realiza la reducción de tamaño de todo el material que ingresa por la banda transportadora, este cuenta con un eje porta cuchillas que carga 20 cuchillas de ataque y una cuchilla fija, las cuchillas de ataque son impulsadas por un motor controlado por un variador de velocidad que permite graduar la velocidad para cada resina.

El material se saca del molino por medio de un tornillo transportador el cual alimenta un silo y esta accionado por un motoreductor con una velocidad constante.

El silo cuenta con un volumen de almacenamiento de 3.8 metro cúbicos y una salida para dosificar cantidades iguales para unidades de empaquetamiento como los costales.

## ABSTRACT

The designed system is supported on a mobile band that is placed on the floor and it is fixed on it by means of a support, this band is located in a position of  $41.5^\circ$  and it goes until the mill's tolva; this has six rolling pins that support which are dragged by a driving force pin that is located on the upper side of the structure; this is also actionated by an redactor engine.



This process goes on with a mill that makes the size reduction of all the material that gets in the mobile band, this machine has an axis that contains 20 attack razors and 1 fixed, this attack razors are shuttled by a controlled engine by a speed controller that permits to gauge the speed of each resin.

This material is taken of the mill by a mobile screw which feeds a storage tank and it is actionated by a redactor engine with a constant speed.

The capacity of this storage tank is 3.8 cubic meters and an door to measure equal quantities for package units like bags.

## **PALABRAS CLAVES**

Bandas transportadoras, Molino para materiales plásticos, Reducción de tamaño de materiales plásticos, Tamiz, Tipo de resinas plásticas, Tornillo Transportador, Silos.

## **KEYWORDS**

Mobile bands ,Plastic material mill ,Plastic size reduce ,Fine sieve,Types of plastic resins ,Mobile screw,Storage tanks

## **INTRODUCCIÓN**

La sociedad colombiana en la actualidad asume con mayor seriedad y responsabilidad los temas relacionados con el medio ambiente y desarrollo sostenible, tomando más conciencia con todo lo relacionado con el planeta. Esto se puede apreciar claramente en el sinnúmero de campañas creadas para promover el reciclaje, mismas que han sido gestadas por empresas, oficinas, centros comerciales, instituciones públicas y privadas y en general en todo lugar donde se generen residuos sólidos, teniendo todas en común la separación en canecas con colores estandarizados para cada tipo de residuo, favoreciendo así su identificación.

El camino para obtener materias primas como el agua, madera, pulpa de papel, petróleo, minerales y muchos

más recursos no renovables que son utilizados en la elaboración de productos y luego de usarlos se desechan, conduce al encarecimiento de las materias primas ya que éstas se acaban lentamente y a su vez hay un incremento en el impacto ambiental que se deriva de la obtención de dichos recursos.

La población crece a medida que el mundo evoluciona, este crecimiento poblacional va de la mano con una sociedad globalizada que a adoptado un estilo de vida muy consumista y a medida que crece va necesitando cada vez de mas y nuevos productos para satisfacer desde necesidades básicas hasta los gustos mas estrambóticos e innecesarios; para lograr esto es inherente la utilización de materia y energía.

Los residuos sólidos son entre otros material a reciclar, los cuales son materia prima que van a los sistemas de disposición final como los son: los botaderos, basureros y rellenos sanitarios que con el transcurso del tiempo pueden o no degradarse, teniendo en cuenta que los mismos no volverán a ser utilizados por la sociedad.

Las ciudades modernas se han visto afectadas de gran manera por el manejo inadecuado de sus residuos sólidos, debido a que los sistemas de reciclaje y de rellenos sanitarios exigen cada día más capacidad de procesamiento y para contrarrestar dicho efecto se debe hacer uso del reciclaje con el fin de recuperar los materiales que ya se usaron y procesarlos para la fabricación de nuevos productos, evitando así una acelerada reducción en la utilización de los recursos no renovables del planeta. Las iniciativas ambientales que trajeron consigo la idea de reciclar no han sido adoptadas por simple capricho, mejor aún las personas fueron tomando conciencia de que el planeta posee unos recursos muy limitados y si no se actúa de una manera correcta y a tiempo, el hombre terminará con ellos; es decir, el planeta tiene recursos limitados y no hay que desperdiciarlos.

Las compañías de reciclaje surgieron a raíz de esta problemática, las cuales basan sus actividades en darle un valor agregado a los residuos sólidos, convirtiendo un residuo en materia prima de un nuevo proceso productivo, situación a la cual de igual manera se le quiere dar aplicación

en el desarrollo del presente trabajo, con el diseño de un sistema de alimentación, molido o reducción de tamaño y almacenamiento para el reciclaje del plástico.

El área metropolitana de Medellín crece exponencialmente en la actividad del reciclaje, y con mucha mayor fuerza en el reciclaje de plástico, comenzando a crear estándares de competitividad entre los comercializadores de las resinas recicladas; estas actividades se han desarrollado de forma empírica durante los últimos 30 años y la comparación global de estas actividades con otros países, muestra como desventaja los procesos aquí instalados, por falta de tecnología, recursos y estandarización de procesos.

Este proyecto trata de aportar una estructuración funcional y técnica a los recicladores de materiales plásticos, en base a su propia experiencia.

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El sector del reciclaje de plástico cuenta con una gran desventaja, que hace que no pueda ser realmente productivo y competitivo, ya que sus sistemas de reducción de tamaño no son ágiles y no cuentan con las exigencias técnicas que los procesos requieren.

Los equipos usados en la actualidad en las empresas que requieren actividades de reciclaje de plástico son construidos empíricamente, y no integran los procesos de alimentación, molido o reducción de tamaño y almacenamiento; además no tienen especificaciones técnicas de procesamiento, lo que genera una pérdida de eficiencia muy alta en la operación alimentación, molido o reducción del tamaño y almacenamiento de los residuos plásticos.

FIGURA 1. Esquema del molino a diseñar

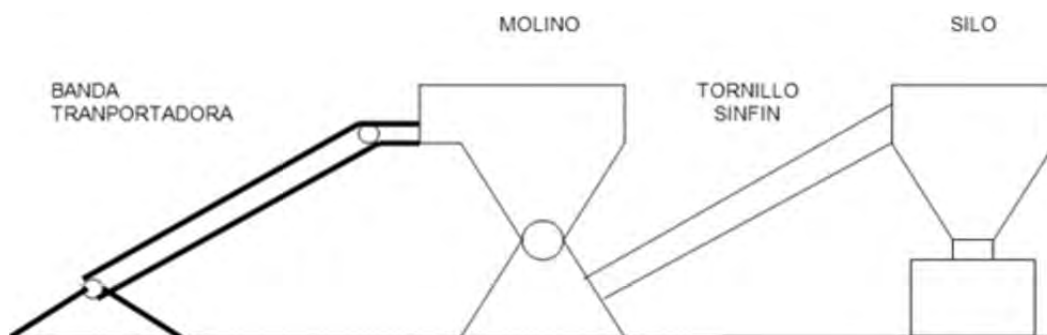


TABLA 1  
Entradas y Salidas del Sistema

ENTRADAS	SALIDAS
Energía Eléctrica	Ruido
Información	Calor
Residuos Plásticos	Material Reducido

## ETAPAS DE FUNCIONES PARA EL PROCESO

La necesidad planteada en este proyecto está representada en un ciclo parametrizado por acciones o verbos que

representan cada componente mecánico, para entender de una manera clara este arreglo mecánico se debe analizar cada una de sus componentes y determinar de acuerdo con el proceso de diseño si se clasifica como aparato, máquina o instrumento. La clasificación se determina de acuerdo con las entradas de cada una de las partes que conforman el arreglo mecánico.

El almacenamiento de materia coincide con la descripción de un aparato, en algunas etapas del proceso que se está desarrollando en este trabajo se requiere de aparatos de almacenamiento donde la entrada y la salida es materia en el mismo estado, es decir no hay un proceso de transformación.

El almacenamiento de energía coincide con la descripción de máquina, en algunas etapas del proceso que se está desarrollando se requiere de máquinas para transportar y moler, dichas máquinas están almacenando energía para transformarla en tareas de desplazamiento, transporte o movimiento; en este caso se tiene como entrada energía y como salida movimiento, el cual se aprovecha para transportar o reducir el tamaño del plástico.

El almacenamiento de información coincide con la descripción de un instrumento, en algunas etapas del proceso que se está desarrollando se requiere de instrumentos para almacenar la información y con esta tener la capacidad de generar órdenes para el funcionamiento de las máquinas que transforman la energía.

## COMPONENTES PARA EL ARREGLO MECÁNICO A DISEÑAR

- Listado de aparatos: tolva de almacenamiento para plástico a reciclar y silo de producto final para plástico particulado.
- Listado de máquinas para integrar el sistema: banda transportadora para la entrada de material que va hacia al molino donde se va a reducir de tamaño, rotor del molino diseñado para la reducción de tamaño del material plástico y tornillo sinfín para transportar hacia el silo el material particulado.
- Listado de Instrumentos: controladores de encendido y apagado para las máquinas que producen movimiento y tamiz para separar el material particulado por tamaño.

## VOLÚMENES DE FLUJO EN EL PROCESO

El proceso de alimentación, molido o reducción de tamaño y almacenamiento debe estar diseñado de manera que el sistema no presente problemas en alguna de las etapas, por ejemplo se debe analizar la capacidad del molino para desocupar la tolva de alimentación y de esta manera es posible escoger una banda transportadora que no sobrecargue el molino de material y cree un cuello de

botella en este punto, el mismo análisis se debe realizar cuando el material molido se transporta hacia el silo de almacenamiento, a continuación se muestra detalladamente este análisis.

- Velocidad de la banda

$$V = 1,4 \frac{m}{s}$$

$$V = \frac{D}{t} = \frac{\text{distancia}}{\text{tiempo}} \Rightarrow t = \frac{D}{V} = \frac{6 \frac{m}{s}}{1,4 m} = 4,28 \text{seg}$$

### Tiempo de recorrido de la banda (inicio y fin)

- Capacidad de carga teórica de la banda:

$$Q = 2 \frac{m^3}{h} \times \frac{1}{60} \times \frac{1}{60} \times \frac{(100)^3 \text{cm}^3}{1m^3} \Rightarrow Q = 555,56 \frac{\text{cm}^3}{\text{seg}}$$

- Volumen de la tolva del molino.

$$V = 0,810 \times 1,060 \times 0,820 = 0,7m^3$$

$$V = 0,7m^3 \times \frac{(100)^3 \text{cm}^3}{1m^3} = 700000 \text{cm}^3$$

- Tiempo de Llenado de la Tolva:

$$t = \frac{700000 \text{cm}^3}{555,56 \text{cm}^3} = 1440 \text{seg} \times \frac{1 \text{min}}{60 \text{seg}} \Rightarrow t = 24 \text{min}$$

Para hallar el tiempo en moler el contenido de la tolva se procede de la siguiente manera: El área de ataque en las cuchillas es 10.16 pulgadas cuadradas, la velocidad de corte del rotor para el PET en este diseño se aconseja de 174 RPM y el espesor de corte es de 0,5 cm.

$$A = 10,16 \text{in}^2 \times \frac{(2,54 \text{cm}^2)}{1 \text{in}^2} \Rightarrow A = 65,55 \text{cm}^2$$

$$\text{RPM} = 174 \text{RPM}$$

$$V = 65,55 \text{cm}^2 \times 0,5 \text{cm} = 32,775 \text{cm}^3$$

Este es el volumen cortado por una sola cuchilla; si la cuchilla corta el material con el 100% de su área de ataque; se debe tener en cuenta que son 10 cuchillas, entonces el volumen total de corte es:

$$V = 32.775\text{cm}^3 \times 10 \text{ cuchillas} = 327.75\text{cm}^3$$

Este es el volumen consumido por el eje en una revolución, multiplicamos por la velocidad de procesamiento para del PET y tenemos:

$$V = 327,75\text{cm}^3 \times 174\text{RPM} = 57028,5 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}}$$

El tiempo de vaciado de la tolva es:

$$t = \frac{700000\text{cm}^3}{57028,5 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}}} = 12,27 \text{ min}$$

Las cuchillas procesarían el plástico empacado en la tolva en 12.27min, la tolva se llena 2.8 veces cada hora, el rotor en condiciones óptimas procesa esta cantidad en:  $2,8 \text{ veces} \times 12,27 \text{ min} = 34,35 \text{ min}$ . El cálculo anterior nos verifica que nunca la tolva se dejara rebosar de material en condiciones óptimas.

Hallamos la velocidad con que el tonillo alimenta el silo.

Determinamos el volumen del silo.

$$V_{\text{silo}} = \pi \times \left(\frac{1.5}{2}\right)^2 \times 1.8 = 3.18 \text{ m}^3 \times \frac{(100 \text{ cm}^3)}{1\text{m}^3} = 3180862,5 \text{ cm}^3$$

El tornillo tiene un volumen de carga de cada paso de:

$$V = 6801 \frac{\text{cm}^3}{\text{paso}}$$

Este es el volumen que el tornillo descarga en el silo cada revolución, el tornillo gira a 50 RPM, la cantidad descargada en el silo por minuto es:

$$6801 \frac{\text{cm}^3}{\text{paso}} \times 1 \frac{\text{rev}}{\text{min}} \times 30 \text{ pasos} = 204030 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}}$$

El tiempo requerido para llenar el silo es:

$$t = \frac{3180862.3\text{cm}^3}{204030 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}}} = 15,6 \text{ min}$$

Este se cumple bajo condiciones de funcionamiento de 100% para todo el sistema. El volumen de salida del rotor del material procesado es igual a 57028,5 centímetros cúbicos por minuto y la capacidad de transporte del tornillo al silo es de 204030 centímetros cúbicos por minuto, lo que garantiza que el sistema no sufrirá cuellos de botella en la salida del molino al tornillo. Con estos cálculos demostrativos se garantiza los volúmenes de proceso al interior del sistema sin ocasionar atranques.

## CONCLUSIONES

Al terminar este proyecto fue posible identificar la importancia de cada uno de los elementos que hacen parte del diseño e integración del sistema de transporte, molido o reducción de tamaño y almacenamiento y de acuerdo con la investigación de las empresas que trabajan con el plástico se puede decir que con su implantación se pueden obtener mejores resultados con mayor eficiencia de seguridad para el operario, eficiencia energética y de producción. Actualmente existen muchas empresas pequeñas que se dedican a esta actividad, pero le apuestan a maquinas muy empíricas y poco eficientes, donde no hay una norma para trabajar con los diferentes polímeros, en consecuencia se castiga fuertemente la eficiencia del proceso. Con las nuevas propuestas de diseño las empresas que se dedican a trabajar con el plástico se inquietan con la forma de implementar sus procesos y se hacen a la idea de especializar sus procesos para obtener mayores producciones de mejor calidad.

En muchos países hay tecnología muy avanzada para manejar los procesos del reciclaje en general y principalmente los procesos de materiales plásticos; en Colombia y principalmente en Medellín esta industria apenas se encuentra en crecimiento y los procesos que se implementan son bastante empíricos, en consecuencia de esto la eficiencia y calidad del material no es buena y por ende sería muy difícil ser competitivo en el medio.

Cuando se trabaja con molinos para materiales plásticos se debe tener en cuenta la geometría de las cuchillas ya que esta es un factor importante para el control de la temperatura, porque si esta no está bien dispuesta

para el trabajo de corte, aumenta considerablemente la temperatura en el material afectando el índice de fluidez de las resinas, dando como resultado materiales defectuosos y de mala calidad.

Hoy día los materiales plásticos y los procesos que los rodean se encuentran en un estado de desarrollo que cada día avanza más. Con la recuperación de los materiales post-consumo o reciclables las personas captan más la atención hacia los temas que tienen que ver con su desarrollo, este desarrollo surge a partir de la preocupación por el cuidado del medio ambiente ya que este es uno de los principales enfoques de la humanidad y la legislación frente al tema del ambiente es cada vez más rigurosa y estricta con las personas que tienen que ver con el procesamiento de los residuos sólidos.

A pesar de que hace décadas se ha realizado el reciclaje de los materiales plásticos, su desarrollo a nivel mundial es relativamente nuevo y en Colombia se ha realizado más o menos desde la década del noventa, la información técnica de los nuevos procesos es muy reservada, pero realmente el principio es el mismo de los procesos convencionales en la mayoría de los casos, la diferencia está en que se realizan algunas modificaciones que mejoran el proceso.

Se logra explicar con claridad los principios básicos de las máquinas que conforman el proceso del diseño que se realizó en el presente proyecto y además es posible visualizar el mejoramiento de los procesos cuando se desarrolla un sistema integrado de alimentación, molido o reducción de tamaño y almacenamiento para el reciclaje de plásticos.

En Colombia el proceso de reciclaje no es muy desarrollado y los conocimientos de aquellos que lo realizan es aún muy empírico, la mayoría de las empresas aplican los conocimientos basados en la experiencia y la maquinaria es fabricada por personas de la misma empresa y dicha maquinaria no poseen estándares de fabricación, de materiales y mucho menos de repuestos.

Fabricar e implementar un sistema como el que se desarrolló en este proyecto no es muy costoso si se compara

con los beneficios que obtendría cualquier empresa si se decide a implementarlo, el posible considerar que es bastante rentable siempre que los empresarios tengan claros los objetivos que su compañía desea cumplir, además de esto deben saber cómo funciona la demanda del mercado para no ser más eficientes en el medio.

Se puede decir que el sistema diseñado es muy efectivo a la hora de desarrollarlo e implementarlo ya que en el área metropolitana no hay empresas que hayan implementado algún sistema similar, además este diseño resuelve muchas limitaciones como son la eficiencia de proceso, la seguridad de los operarios, es la oportunidad de implementar tecnología y de esta manera puede surgir el interés por mejorar todos los procesos y salir a competir no sólo en Colombia sino en el mundo.

## **BIBLIOGRAFÍA**

ASQUELAND, Donald R. Ciencia e Ingeniería de los Materiales. 3ª edición. México: Editorial Thomson, 2000.

CROSS. Métodos de diseño. Estrategias para el Diseño de Productos. Wiley: Editorial Limusa, 1999.

DOMINING HAUS, Hans. *Plastics for Engineers: materials, properties, applications*. Hanser, Munich, Vienna, New York, Barcelona. 1993.

FOUHY, Ken and KIM, Irene. "Plastics Recycling's Diminishing Returns". *Chemical Engineering*. December 1993, 100:30-3.

HART, Deanna J. *Chemical Engineering Department of Carnegie Mellon University*. October 6, 1995.

HEGBERG, Bruce A. and GARY R. Brenniman. *Mixed Plastics Recycling Technology*. New Jersey: Noyes Data Corporation. 1992.

HERNÁNDEZ BERMÚDEZ, Carlos Andrés y LÓPEZ VILLEGAS, Sandra Cristina. *Alternativas para el Uso de PET Reciclado en Artículos Inyectados*. Medellín: Universidad EAFIT, 1998.

INSTITUTO DEL PLÁSTICO INDUSTRIAL. Enciclopedia del Plástico. México, 1996.

KASTNER, H. and KAMINSKY, W. "Recycle Plastics into Feedstocks". Hydrocarbon Processing. May 1995. 74:109-12.

LAYMAN, Patricia. October 4, . "Advances in Feedstock Recycling Offer Help With Plastic Waste". Chemical and Engineering News. 1993, 71:11-4.

MILLER, Andrew. "Back to Basis". Chemistry and Industry. January 3, 1994, 8-9.

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Sector plástico, guías ambientales. Bogotá, Colombia, Julio de 2004

MORTON, Jones. Procesamiento de Plásticos. 1ª edición. Mexico: Editorial Limusa, 1999.

MYERS, James I. and FARRISEY, William J. "Energy Recovery Option for RIM Polyurethanes." Designing for Recyclability and Reuse of Automotive Plastics. 37-40.

PIRELLI, William. Manual de fabricación de bandas y rodillos transportadores. Madrid: Editorial Mac Graw Hill, 1992

RAMÍREZ V, Juan Sebastián y PELÁEZ V, Juan David. Alternativas para el Uso de PET Reciclado en Artículos Extruidos. Medellín: Universidad EAFIT, 1999.

RENNIE, Caroline and MACLEAN, Alair. Salvaging the Future: Waste-Based Production. Washington, D.C.: Institute for Local Self-Reliance. 1989.

RÍOS C, Katia; SUÁREZ M, Juan Camilo y RODRÍGUEZ GARCIA, Alberto. Diseño conceptual. Medellín: Universidad EAFIT, 1996.

RODRÍGUEZ GARCÍA, Alberto. Artefactos Diseño Conceptual. Medellín: Fondo Editorial Universidad EAFIT, 2003

RODRÍGUEZ GARCIA, Alberto. El proceso de Diseño. Medellín: 0/10/2003

ROTHERS, Jordan, Joining of Plastics: Handbook for Designers and Engineers, Hanser, Cincinnati, 1999

SALAZAR GONZALEZ, Juan Pablo y URREGO GIL, Daniel. Desarrollo de una Pelletizadora en Caliente. Medellín: Universidad EAFIT, 2007.

SHIGLEY, Joseph Eduard, Diseño en Ingeniería Mecánica, Bogotá: Mc Graw Hill, 1983.

SHIGLEY, Joseph Eduard y MITCHELL, Larry D. Manual de Diseño Mecánico. México: Mc Graw Hill, 1989.

TRES, Paul A. Designing Plastic Parts for Assembly, 4th Edition; Hanser, Cincinnati, 2000.

WARNER, Arthur J. Solid Waste Management of Plastics. Washington, D.C.: Manufacturing Chemists Association. 1970.

# **ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA EL DESARROLLO Y COMERCIALIZACIÓN DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN PARA MANEJO DE DATOS DE LUBRICACIÓN PARA LA EMPRESA TRANSPORTADORA**

CATALINA PARENTE LAVERDE

cparente@eafit.edu.co

Departamento de Ingeniería Mecánica

ANDRÉS FELIPE ARREDONDO LÓPEZ

aarredo1@eafit.edu.co

Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS

GESTIÓN DE PROYECTOS

ASESOR PRINCIPAL

JUAN SANTIAGO VILLEGAS

SECTOR BENEFICIADO

UNIVERSIDAD EAFIT



## **RESUMEN**

Con este proyecto se estudia la factibilidad del desarrollo de una empresa que desarrolle y comercialice un sistema de información diseñado específicamente para la empresa del sector transportador en el medio local. Esta factibilidad se determina según las variables del mercado que influyen en el proyecto así como todos los aspectos sociales políticos y económicos que hacen parte del entorno específico de las empresas transportadoras en Colombia. Adicional se muestra el proceso de desarrollo de un prototipo sistema de información.

## **PALABRAS CLAVES**

Camiones, Lubricación, TPM, Mantenimiento Autónomo, Mantenimiento Progresivo, Sistemas de información

## **KEY WORDS**

Trucks, Lubrication, TPM, Autonomous Maintenance, Progressive Maintenance, CMMS,

---

## **INTRODUCCIÓN**

La industria del transporte en Colombia está atravesando grandes cambios en sus estructuras organizacionales los cuales están enfocados en la competitividad y en el crecimiento continuo. El éxito en este tipo de compañías depende en gran medida de la eficiencia administrativa y por consiguiente de los costos que esta implica; entre éstos, los costos de mantenimiento de los activos (principalmente y para este caso los vehículos)

que en muchos casos aparece como un componente al cual no se le atribuye la importancia requerida y que genera una gran cantidad de pérdidas económicas y administrativas.

Mediante este proyecto se propone evaluar la factibilidad de desarrollar una empresa que precisamente se enfoque en la importancia de un adecuado mantenimiento en este tipo de compañías, específicamente evaluando la posibilidad de comercializar e introducir un sistema de información para el mantenimiento de los activos basado en análisis de lubricación y técnicas progresivas de mantenimiento, proponiendo a las empresas transportadoras un ahorro en los costos indirectos de la manera más eficiente y sostenible en el tiempo.

## PROPUESTA METODOLÓGICA DEL PROYECTO

Para evaluar la factibilidad de la empresa se sigue la metodología de desarrollos de proyectos que se describe a continuación, alcanzando de manera metódica cada una de las etapas que ayudaran a determinar la viabilidad de la misma.

Inicialmente se reconoce la necesidad de las empresas transportadoras para el control de los costos de mantenimiento, técnicas de lubricación y la importancia de su análisis e interpretación para hacer los cambios de una manera más eficiente reduciendo costos y por ende la oportunidad para la comercialización del producto.

Posteriormente se realiza un estudio del mercado en empresas transportadoras y en el sector de suministros de lubricantes que provea suficiente información para analizar la viabilidad de la comercialización de un sistema de información.

Se desarrolla un estudio técnico para el desarrollo del producto enfocado en capacidad, localización e ingeniería del producto, reconociendo las necesidades de los usuarios y los requerimientos técnicos y físicos para el desarrollo de la empresa.

Como factor importante se realiza un estudio administrativo y legal para la conformación de la compañía y la metodología de funcionamiento que esta adoptara para el desarrollo, venta y comercialización del producto y se formula una estructura financiera para establecer protocolos de funcionamiento económico durante el desarrollo del proyecto.

Con esta información se desarrolla una evaluación financiera del proyecto para conocer su viabilidad económica, y dada la viabilidad del proyecto empresarial, se desarrolla un prototipo del sistema de información.

## EVALUACIÓN FINANCIERA

Se puede concluir que como se ve en ambos flujos de caja neto el proyecto muestra una buena proyección en el tiempo, pues según el flujo de caja del inversionista al tercer año de actividad se recupera la inversión generando ganancias al quinto año. La viabilidad económica se confirma mediante el cálculo del valor presente neto (VPN) y la tasa interna de retorno (TIR) en el horizonte del proyecto. Como se observa en la siguiente tabla el valor presente neto en el horizonte del proyecto es positivo y la tasa interna de retorno sobrepasa la tasa de oportunidad del inversionista, que para el caso equivale al 15%, lo que lo hace un proyecto rentable.

TABLA 1  
Evaluación financiera

Flujo de caja del Inversionista	
Tasa dcto (%)	15%
VPN(15%)	\$12,647,500
TIR	13.60%
Flujo de caja del Proyecto	
Tasa dcto (%)	15%
VPN(15%)	\$61,035,823
TIR	10.57%

## PROTOTIPO DE SISTEMA DE SISTEMA DE INFORMACIÓN

Dada la factibilidad financiera del proyecto se presenta un prototipo de sistema de información el cual sería el producto



a comercializar. Este sistema de información permite ingresar, leer y comprender los resultados obtenidos en los análisis de aceites de los camiones.

### Bases de datos

Para almacenar los datos y resultados obtenidos en el análisis de aceites se determinó que el software más conveniente para esto era Microsoft Access®, puesto que los archivos son livianos y permiten una fácil conectividad con la red; en casos de problemas en el sistema de información, se puede acceder fácilmente al archivo en

Access y modificarlo para solucionar los problemas; este programa no necesita conocer un lenguaje de programación complejo para crear la base de datos como suele suceder con otros software.

Para este caso se usaron archivos tipo tablas, consultas y formularios los cuales se pueden combinar e interactúan entre sí facilitando el manejo de la información

Este módulo consta de 4 partes: dos de estas para el control de datos y las restantes constituyen un complemento informativo para el análisis y comprensión de los mismos.

FIGURA 1. Bases de datos



Para ingresar a los módulos de lectura e ingreso de datos se requiere de una clave de seguridad, independiente para cada módulo.

### Ingreso de datos

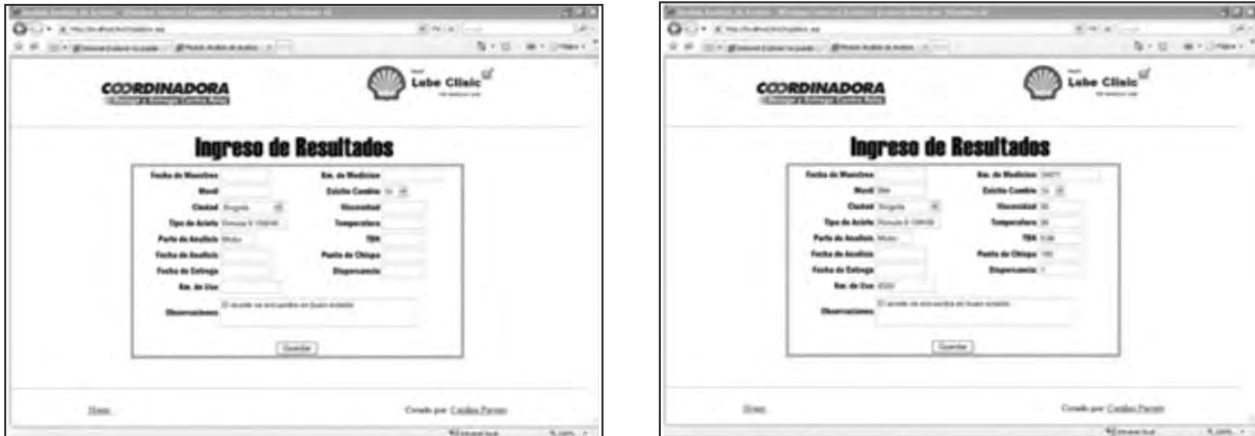
Para el Ingreso de los resultados es necesario tener en cuenta el tipo de análisis realizado pues según la parte a analizar varían las pruebas realizadas, se debe entonces seleccionar entre: motor, caja-transmisión o partículas.

FIGURA 2  
Ingreso de datos



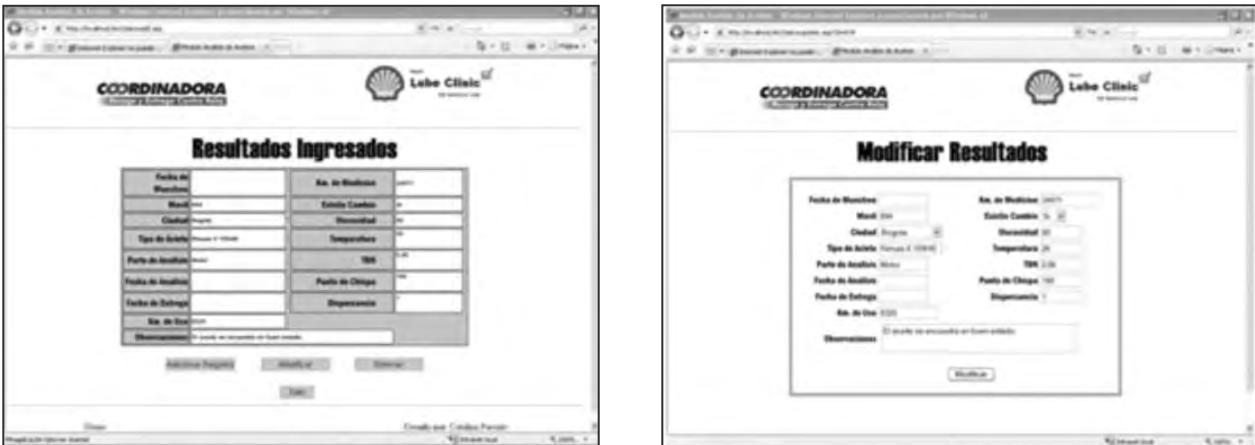
Posteriormente se procede al ingreso de resultados, el formulario para esto genera automáticamente algunos de los datos que probablemente el usuario ingresará, esto con el fin de facilitar el proceso, estos datos siguen parámetros como la actualización de fechas y los resultados ingresados con mayor frecuencia.

FIGURA 3. Ingreso de resultados



Los datos generados pueden ser modificados si no se ajustan a lo que el usuario requiere. Una vez ingresados los datos se procede a guardarlos. Al guardar los datos estos se presentan nuevamente para confirmar su correcto ingreso y permitir modificarlos o eliminarlos en caso de un error en los mismos.

FIGURA 4. Confirmación de ingresos



Si se desean modificar los resultados ingresados, el formulario recuperara todos los datos para que se modifiquen únicamente los erróneos y no tener que ingresar nuevamente los correctos, ahorrando tiempo al usuario. Si por el contrario se desea borrar el registro completo, se cuenta con una opción preventiva que pregunta si realmente se desean borrar los datos, esto con el fin de proteger la posible eliminación de datos erróneamente.

## Informe de resultados

En este modulo se presentan los resultados de los análisis de aceites, estos resultados es posible visualizarlos de dos maneras diferentes pero ambas útiles y fundamentales, por medio de informes individuales o históricos.

FIGURA 5  
Informe de resultados



Una vez seleccionada la clase de reporte es necesario seleccionar el tipo de aceite que se desea consultar (Aceite de Motor o Aceite de Caja o Transmisión), puesto que los análisis realizados a ambos son diferentes y por consiguiente los informes es necesario presentarlos con las variaciones correspondientes.

Ambos informes (histórico o individual) pueden ser filtrados por tres opciones: el numero de móvil (código interno del vehículo), ciudad y fecha de análisis; para facilitar a los usuarios la búsqueda de la información. Estos filtros pueden ser usados individualmente o conjuntamente según se necesiten.

FIGURA 6. Reporte de históricos



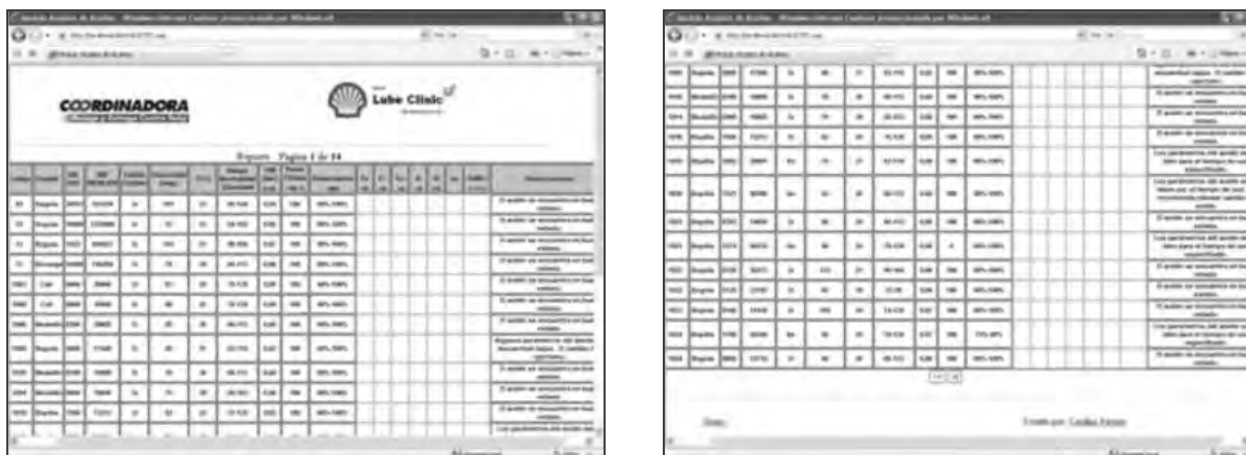
En cuanto a los informes individuales estos fueron concebidos con el fin de generar información completa y detallada sobre los resultados de una muestra de aceite específica, estos presentan los datos completos del aceite y el vehículo, así como la ciudad y fecha de muestreo y la fecha de análisis del mismo; también presentan los resultados de cada prueba con sus rangos de normalidad y un comentario en cada resultado (estos comentarios son generados automáticamente por el sistema, según criterios inicialmente establecidos), por último se encuentra una observación general del estado del aceite y recomendaciones para el vehículo, la cual es dictaminada por el analista.

FIGURA 7. Reporte individual



Los informes históricos no poseen una información detallada de los resultados, pues carecen de comentarios para cada prueba, pero presentan los resultados numéricos y permiten observar el comportamiento general de la flota o de un grupo específico de vehículos; también permiten analizar uno o varios vehículos a través del tiempo y de esta forma notar posibles problemas para resolverlos o prevenirlos según el caso.

FIGURA 8. Resultados numéricos



**Guía de lectura e interpretación**

Este modulo presenta una guía para la lectura de los resultados, este documento fue generado con el fin de guiar a los usuarios del sistema para que estos comprendan de forma rápida y clara los resultados que éste les presenta.

**RECOMENDACIONES**

Se recomienda el desarrollo de la empresa dados los resultados económicos obtenidos en el proyecto y la situación actual del entorno en términos legales, políticos culturales y económicos.

Mediante la solución que se propone comercializar se espera que las empresas del sector transportador se beneficien en términos de optimización de costos de mantenimiento y eviten pérdidas significativas en el servicio.

## CONCLUSIONES

En los últimos años la industria del sector de transporte de carga en Colombia ha tenido un desarrollo muy importante, impulsado por el crecimiento de la economía y el incremento de la movilidad en general por las diferentes vías del territorio. Esta situación ha impulsado el desarrollo de nuevas empresas y el crecimiento de las empresas ya existentes, constituyendo así un gremio importante dentro del marco de la economía local.

En el contexto actual de las empresas del sector transportador se encuentra un área de oportunidad en cuanto a la administración y manejo de sus activos, más específicamente en la gestión del mantenimiento de sus vehículos, su activo más importante, situación que genera pérdidas económicas, fallas en servicio y desventajas en competitividad; estas falencias en la gestión del mantenimiento principalmente son resultado de la predominancia de un enfoque netamente correctivo, empleado en los departamentos de mantenimiento de las empresas del sector, sobre técnicas y actividades preventivas y predictivas o por la ausencia de un departamento de mantenimiento per se, situación que se presenta en las empresas más pequeñas.

Según el análisis del macroentorno y del entorno específico se logra determinar que para suplir las necesidades del sector transportador en términos de mantenimiento y administración de activos, en el medio local se encuentran variadas herramientas, dentro de las cuales los más utilizadas son los sistemas de información en general, sin embargo, no se cuenta con herramientas específicas para este sector que permitan a los departamentos de mantenimiento enfocarse en prácticas preventivas/predictivas, por lo cual surge una oportunidad de negocio para desarrollar y comercializar un sistema de información dedicado al manejo y análisis de la lubricación de vehículos (a sabiendas de que la lubricación representa la práctica preventiva más importante) en donde las condiciones del mercado, del entorno social, político y cultural y de la situación actual de la economía hacen posible el desarrollo de esta idea.

Según el estudio de mercados realizado se determina un potencial de mercado significativo para la idea de negocio propuesta, pues la cantidad de empresas de carga en el medio local es amplia y el crecimiento es considerable lo que posibilita una buena demanda para el producto a comercializar. Se comprueba también que prácticamente no existe una oferta local de un producto tan específico para el manejo de la lubricación en las empresas transportadoras y que, aunque en el mercado global existen herramientas similares, no poseen ninguna participación en el sector local, lo que hace a la idea de negocio tener un mercado objetivo fijo que sólo dependería del éxito o beneficio observado por el cliente y de la penetración del producto en términos de publicidad y venta para lo cual se proponen diversos canales de distribución.

Al realizar la factibilidad técnica de la idea de negocio se establecen los factores claves en cuanto a la práctica de lubricación la cual sería la base conceptual para el desarrollo del producto a comercializar. Esta práctica por sí misma no es del todo efectiva si no va de la mano con un sistema estructurado de mantenimiento, para lo cual se cuenta con diversas actividades tales como el mantenimiento autónomo y el mantenimiento progresivo. La implementación de estas prácticas de mantenimiento en las empresas del sector conlleva beneficios importantes en ahorros de costos, gastos e ineficiencias en el servicio. Para esta implementación se estudian los beneficios que prestan los CMMS o sistemas de información pues centralizan y consolidan todas las actividades, eventos o intervenciones que se realicen en cuanto al mantenimiento, permiten a partir de los análisis de tendencias, históricos y pronósticos tomar decisiones más acertadas y precisas y su producción y desarrollo son factibles con los recursos existentes en nuestro medio, de lo que se infiere que técnicamente la idea de negocio es viable.

Se determinan la viabilidad legal y administrativa de la empresa que comercialice el posible producto a desarrollar evaluando las diferentes condiciones sobre las cuales se regirá, buscando ventajas competitivas que permitan el sostenimiento de la misma. El tipo de sociedad más conveniente para la creación de la empresa es la sociedad limitada, pues no existe impedimento en cuanto a la

cantidad de socios permite que la administración pueda realizarse por uno de los socios y además posee algunos beneficios tributarios. Se define también la estructura organizacional que regirá la empresa con los diferentes roles y responsabilidades definiendo el perfil de las personas que se encargarán del desarrollo, la producción y la comercialización del producto así como de los asuntos administrativos y legales de la compañía.

Para el establecimiento de la empresa se tienen en cuenta todos los recursos físicos y de capital que inciden en el funcionamiento de la misma así como su impacto económico. Para esto se buscan las mejores opciones en el mercado en cuanto a terrenos, inmuebles, servicios y mano de obra que puedan hacer viable el proyecto financieramente. También se determina la mejor opción de inversión y reinversión en el horizonte del proyecto y se pronostican todos los gastos legales y administrativos que conlleva la constitución de la empresa. De este análisis resulta un consolidado de todos los costos de proyecto que permiten hacer la viabilidad financiera del proyecto

Según los indicadores económicos se puede determinar que la constitución de la empresa que comercialice un sistema de información para el manejo de la lubricación es factible pues el VPN del inversionista es positivo (\$12,647,500) y la tasa interna de retorno, al igual, es positiva (13.60%). Además al realizar un pronóstico del balance financiero de la empresa al sexto año se determinan que las razones de liquidez y de rentabilidad son muy positivas, en el tiempo en que la empresa ya se encuentra consolidada. El horizonte del proyecto propuesto es de 9 años. Dados los resultados financieros es posible extender pues la tendencia del flujo de caja es ascendente y el desarrollo está apoyado en las perspectivas de crecimiento del sector. Esto de la mano del desarrollo de servicios adicionales publicidad y otros desarrollos enfocados en el sector objetivo.

## BIBLIOGRAFÍA

WIREMAN, Terry. Computerized Maintenance Management Systems CMMS: Maintenance Management. New York: Industrial Press Inc, 1986. p. 4-5. ISBN 0-8311-1171-2.

LAUDOR, Kenneth y LAUDOR, Jane. Administración de los Sistemas de Información: 3 ed. México: Prentice Hall, 1996. p.7. ISBN 9789688806937

BANCO DE LA REPÚBLICA. "Introducción al análisis económico: el caso colombiano. 2 ed. Santa fe de Bogotá: Siglo del Hombre Editores, 1998. p.71.. ISBN 9586650146

FRED, David et al. Conceptos de Administración Estratégica: EL análisis de las cinco fuerzas de Porter. 9 ed. México D.F. Pearson Educación, 2003. p. 98-101. ISBN 097-26-0427-3

PÉREZ, Carlos Mario. Gerencia de Mantenimiento y Sistemas de Información. Medellín: Soporte y CIA LTDA, 1992.

PÉREZ, Carlos Mario. Evolución del Mantenimiento. Medellín: Soporte y CIA LTDA, 2003.

WINSTON, Christopher. Administration and Training: Keys to CMMS Implementation Success. Detroit: Maintenance Technology, 2002.

ÁVILA, José. Introducción a la Economía. España: Plaza y Valdes, 2004. p.162-164. ISBN. 9707222565

MONCHY, Francois. Teoría y Práctica del Mantenimiento Industrial. España: Masson S.A., 1990. 384p. ISBN. 978843110524-2

FERNÁNDEZ-RIOS, Manuel. Análisis y descripción de puestos de trabajo: Teoría, métodos y ejercicios. Madrid: Ediciones Díaz de Santos, 1995. 423 p. ISBN 84-7978-229-3

Clasificación Internacional Uniforme de Todas las Actividades Económicas: Revisión 3.1 / Naciones Unidas. Serie M, No. 4 (Mayo. 2005). New York: Naciones Unidas, 2005. 272p, ISSN 02-76418

Diagnóstico del Sector: Documento Definitivo / Oficina Asesora de Planeación. (2007). Colombia: Ministerio de Transporte., 2007. 139p, Anual.

Situación Actual de las Empresas de Servicio Público de Transporte de Carga / Dirección General de Transporte Terrestre Automotor. (Septiembre 2007). Bogota D.C.: Ministerio de Transporte., 2007. 62p.

Anuario Estadístico para el Transporte en Colombia: Empresas de Pasajeros y Carga / Dirección de Transporte y Tránsito. (2007). Colombia: Ministerio de Transporte. 65p. Anual.

Informe Sobre Inflación / Banco de la República. No.1 (Marzo 2008). Bogota D.C.: Banco de la República, 2008. 63p. Trimestral. ISSN. 1657-7973.

HYLAND, 1998 Saliendo del laberinto: repensando el rol y propósito de los sistemas logísticos en el mejoramiento de empresas a fines del milenio. / Phoenix EDH, Inc. (1998). Texas: Phoenix EDH, Inc, 1998.

GAZEL, 2007. Código del Buen Gobierno: Sistemas de Control / Gazel S.A. (2007). Colombia: Gazel S.A., 2007.

RIAÑO, 2007. Proceso de Declaración de Renta / Misael Riaño L.(2007) Colombia: Impuestos de Colombia, 2007.

MININTERIORJUSTICIA, 2004. Concepto: Presunción de Transferencia del Derecho Patrimonial de Autor. / Dirección Nacional de Derechos de Autor. Vol.1, No.1 (dic.31). Bogotá D.C.: Ministerio del Interior y Justicia, 2004. 9p.

CALL, Roberth. The Right CMMS. En: Maintenance Solutions. No.1 (Noviembre, 2003).

TOBAR, 2007. PREPARACIÓN DE PROYECTOS, CLASE (2007: Medellín). Plataforma Conceptual en la Formulación de Proyectos de Inversión en Bienes de Capital de memorias de la materia Preparación de Proyectos. Medellín: José Mauricio Tobar, EAFIT.

TOBAR1, 2007. PREPARACIÓN DE PROYECTOS, CLASE (2007: Medellín). Pautas para la preparación y

evaluación de proyectos de inversión de memorias de la materia Preparación de Proyectos. Medellín: José Mauricio Tobar, EAFIT.

BYRON, 2007. CONVERSACIÓN SOBRE LUBRICACIÓN EN VEHÍCULOS DE CARGA (2007: Medellín). Charla personal sobre la lubricación, importancia y necesidades. En la empresa transportadora. Medellín: José Mauricio Tobar, JEFE MANTENIMIENTO COORDINADORA MERCANTIL.

COORDINADORA@2006. Nuestra Historia. Colombia: Coordinadora Mercantil S.A., Octubre, 2006. [Citado Mayo 2008]. [Http://www.coordinadora.com](http://www.coordinadora.com)

SHELL@2007 Servicios Post-Venta: Shell Lube Clinic. Ladisa Shell Distributor, 2007. [Citado Mayo 2008]. Disponible en Internet: <http://www.ladisashell.com/servicios.html>

WINDOWS@2008 Ayuda y Procedimientos de Windows. España: Microsoft Corporation, 2008. [Citado Junio 2008]. Disponible en Internet: <http://windowshelp.microsoft.com/windows/es-es/programs.mspx>

ACOPI@2007 Lineas de Financiamiento. Bogota D.C.: ACOPI (Asociación Colombiana de las Micro, Pequeñas y Medianas Empresas). Presidencia Nacional, Marzo 2007. [Citado Mayo 2008]. Disponible en Internet: [http://www.acopi.org.co/index.php?option=com\\_content&task=view&id=22&Itemid=23](http://www.acopi.org.co/index.php?option=com_content&task=view&id=22&Itemid=23)

PROEXPORT@2007 Régimen Empresarial: Como Poner en Funcionamiento una Compañía. Colombia: PROEXPORT (Promoción de Exportaciones Colombianas), 2007. [Citado Mayo 2008] Disponible en Internet: <http://www.proexport.com.co/vbecontent/library/documents/DocNewsNo5720DocumentNo6720.PDF>

MANTENIMIENTOMUNDIAL@2001 Tipos de Mantenimiento. MANTENIMIENTO MUNDIAL, 2001. [Citado Junio 2008] Disponible en Internet: <http://www.mantenimientomundial.com/sites/mmnew/her/tip.asp>

WIKIPEDIA@2008 R/3. Wikipedia, Enciclopedia Libre, Junio 2008 [Citado Junio 2008] Disponible en Internet: <http://es.wikipedia.org/wiki/R/3>

ORACLE@2008 JD Edwards EnterpriseOne. España: Oracle, 2008 [Citado junio 2008] Disponible en Internet: <http://www.oracle.com/lang/es/applications/jdedwards-enterprise-one.html>

ESTUDERECHO@2007 Formas de Sociedades Mercantiles. Colombia: Es tu Derecho, 2007. [Citado julio 2008]. Disponible en Internet: <http://www.estuderecho.com/documentos/derechomercantil/000000997908d52e2.html>

GULF, 2006 Manual Técnico de Lubricación. USA: Gulf Oil., 2006. [Citado Agosto 2008] Disponible en Internet: [http://www.redescorona.com/gulf/gulf\\_descargables.htm](http://www.redescorona.com/gulf/gulf_descargables.htm)

LÓPEZ@2007 Propiedades Químicas de los Lubricantes. Monografías, 2007 [Citado Agosto 2008] Disponible en Internet: <http://www.monografias.com/trabajos15/propiedades-lubricantes/propiedades-lubricantes.shtml>

FORTUNECITY@2007 Importancia del Mantenimiento en los Motores Diesel: Members.fortunecity, 2005. [Citado Septiembre 2008]. <http://www.members.fortunecity/100pies>

DELL@2008 Computadores para Empresas Micro, Pequeñas y Medianas. Colombia: Shell Latinoamérica, Septiembre, 2008. [Citado Septiembre de 2008]. [Http://www.la.shell.com](http://www.la.shell.com)



# **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN AUTOMOTOR TIPO SCOOTER PLEGABLE PARA EL TRANSPORTE PERSONAL**

JORGE LEÓN GÓMEZ

jlengom@eafit.edu.co

Departamento de Ingeniería Mecánica

FERNANDO RIVERA ARANA

friveraa@eafit.edu.co

Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS

DISEÑO DE SISTEMAS TÉCNICOS

ASESOR PRINCIPAL

FABIO ANTONIO PINEDA BOTERO

SECTOR BENEFICIADO

UNIVERSIDAD EAFIT



## **RESUMEN**

Este artículo resume el proceso de diseño estructural desarrollado para un automotor monoplaça por el método de los elementos finitos.

Entre la metodología se encuentra también un proceso de cálculo para los estados estático y dinámico del automotor posterior al diseño estructural, con el fin de considerar los estados físicos de interacción del artefacto con el medio y el usuario.

## **ABSTRACT**

This article resumes the structural design process developed for a single-user vehicle by the Finite Element Analysis method.

There is a calculation process for the static and dynamic states of the vehicle included after the methodology of structural design which attempts to consider the different physic states of interaction of the artifact with the environment and the user.

## **PALABRAS CLAVE**

Estado Del arte, Elementos Finitos, esfuerzo máximo, esfuerzo mínimo, esfuerzo combinado, Factor de Seguridad, fuerza de arrastre, fuerza de empuje.

## **KEY WORDS**

State of the art, Finite Elements, maximum stress, minimum stress, combined stress, Security Factor, pull force, push force.

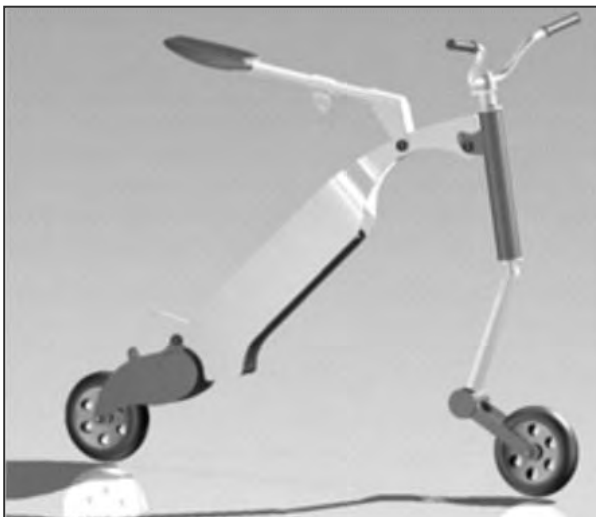
## INTRODUCCIÓN

El transporte urbano constituye una problemática inquietante en la actualidad, ya que los usuarios de estos sistemas (buses, taxis, colectivos e incluso el metro) invierten mucho tiempo y dinero al cubrir las distancias que los lleven a sus lugares de trabajo, a sus hogares u otros.

El Scooter representa una alternativa atractiva para solucionar la problemática del transporte urbano. Estos vehículos cuentan con diseños ergonómicos, económicos, rápidos, seguros, son personales y adicionalmente apoyan las tendencias contemporáneas que buscan preservar el medio ambiente por medio de sistemas eléctricos en vez de los clásicos mecanismos de transmisión de potencia propulsados por motores de combustión interna que generan gastos elevados de combustible y contaminan constantemente el ambiente con la emisión de gases COx.

El Scooter además de liviano y portátil, puede resultar muy cómodo para su transporte incluso cuando no está operando, gracias a las múltiples opciones de plegabilidad que ofrecen los diferentes modelos de las incontables marcas alrededor del mundo. El sistema de plegabilidad le ofrece al usuario poder ubicar o guardar el artefacto en lugares pequeños y de fácil acceso, de tal manera que su volumen no represente un problema en el cual pensar al momento de ser almacenado.

FIGURA 1  
METROPLEX – Prototipo del Proyecto



## METODOLOGÍA

Los procesos de diseño se caracterizan por tener una alta complejidad metodológica, puesto que reúnen varias alternativas para desarrollar el proceso de concebir artefactos, máquinas, herramientas e incluso servicios. Esta complejidad es debida también al alto nivel analítico que requiere el desarrollo de diseñar, al poner en síntesis el conocimiento para crear con la innovación.

Se toman 2 acercamientos para el diseño del Scooter: uno que pretenda llegar a la mejor solución mediante un diseño conceptual que define parámetros y los analiza independientemente para llegar a la mejor solución, mientras que el otro pretenda llegar a la mejor solución mediante un punto de vista integrado del diseño conceptual, viendo el problema como un todo y analizándolo desde adentro hacia fuera. Partiendo desde las necesidades y los requerimientos y afianzado con un estudio del estado del arte.

## DISEÑO CONCEPTUAL

Para llegar a la mejor solución, se empieza por definir el funcionamiento conceptual del Scooter. Inicialmente se hace hincapié en que el artefacto tiene como función y flujo principal: trasladar a una persona de un lugar a otro.

Para tal función esta el marco del artefacto que sostiene y moviliza a la persona. Sin embargo, un cambio de lugar no es realizable sin la provisión de otro flujo, uno de energía que posibilite -por un lado- las variaciones de la Energía Cinética del flujo Material. Y que además, - mientras esta esté en marcha - compense las resistencias que se dan entre el piso y las llantas. Así como la que se sucede entre el aire circundante con el scooter y la persona que lo conduce.

Y posterior al proceso de identificación de flujos, se determina una estructura funcional del sistema tal que explique las funciones de cada parte del automotor.

FIGURA 2. Caja Negra del Scooter



FIGURA 3. Diagrama de flujos del Scooter

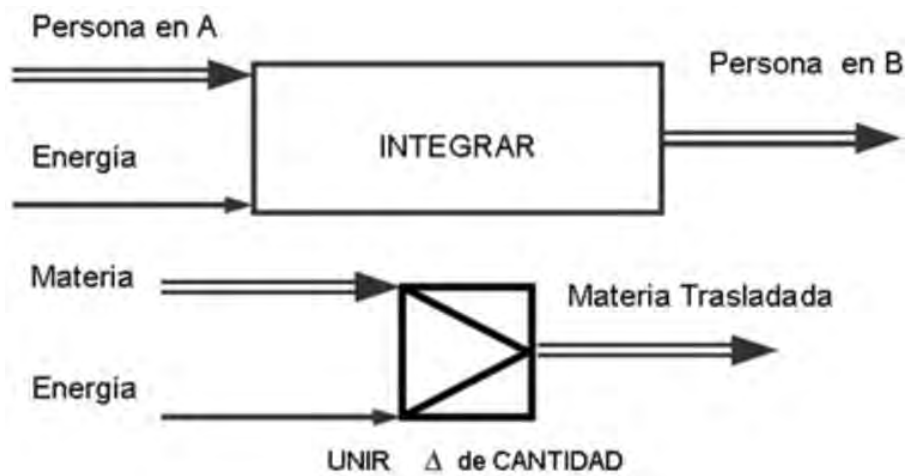
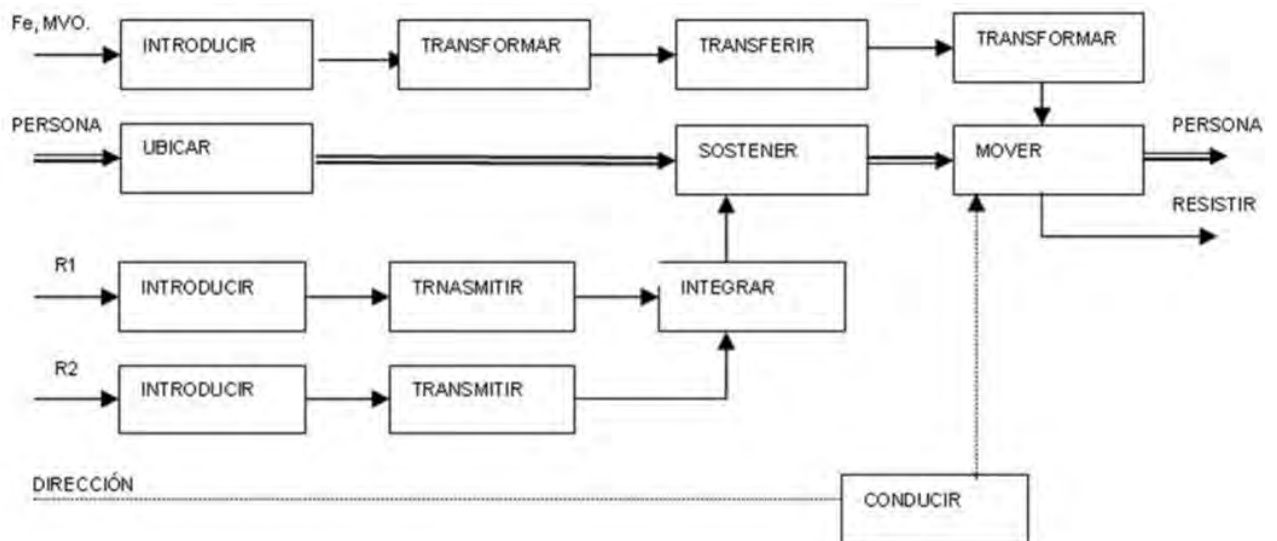


FIGURA 4. Estructura Funcional del Scooter



## ESTADO DEL ARTE

El término Scooter es una subclase de motocicletas que utilizan un diseño estructural distintivo. Estos generalmente son vehículos de dos ruedas basados originalmente en versiones de monopatines motorizados para niños, aunque existen algunos de tres ruedas.

FIGURA 5

Scooter Eléctrico – patente D516.132 de US



## COMPONENTES BÁSICOS DEL SCOOTER

Se encuentra que dentro todos estos tipos y modelos hay una familia de accesorios y componentes (características) que casi todos poseen en común, y esto es considerado como un estándar en el mercado internacional.

De los componentes, los siguientes se podrían llamar como los básicos de un Scooter sin incluir el marco ni el manubrio.

- Plegabilidad (sistema de doblez)
- Ruedas y tren de arrastre
- Cubiertas (Deck)
- Frenos

## MARCO TEÓRICO

El punto de partida ha sido desde un principio, el estado del arte y la exploración que se ha realizado de los artefactos afines al proyecto. La propuesta a optimizar ha sido basada en la configuración del City Mantis, donde el marco del Scooter queda entre las piernas para así optimizar en todo el sentido de la palabra el espacio que utiliza el Scooter aun cuando está funcionando.

FIGURA 6

City Mantis

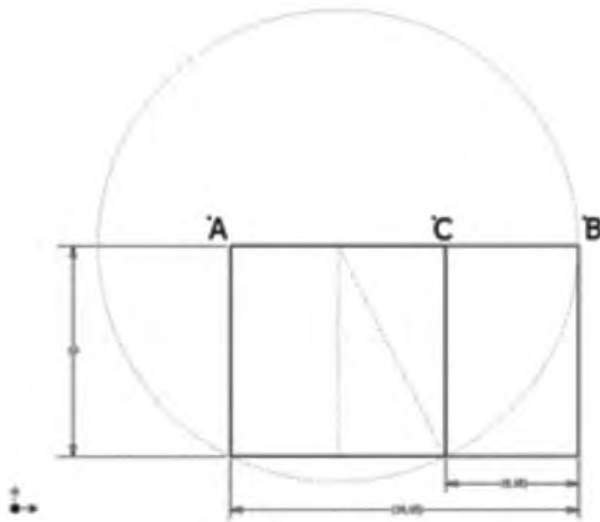


El modelo tendrá particularmente un diseño especial de suspensión delantera, en donde se utilizara básicamente un resorte de torsión para suavizar el impacto en el frente del Scooter mediante un brazo torsional adaptado al tenedor de la rueda delantera desde la espiga del manubrio. En pocas palabras, un brazo que se opone al movimiento generado por la fuerza del peso del usuario mediante un resorte.

Se tienen como base los principios biomédicos de Leonardo DaVinci, donde el artista logra dimensionar el cuerpo humano dentro de un marco de proporciones geométricas "armónicamente perfectas", se inventa la llamada Antropometría áurea, donde el artista logró medir el cuerpo humano con un modelo proporcional que aplicaría a todas las dimensiones del cuerpo.

A este hecho se le otorga una explicación matemática que lleva a asociar la proporción geométrica mediante relaciones matemáticas con un número, conocido como el número de la perfección natural y denominado "fi", o como otros autores lo llaman, el número dorado. Si este número es aplicado a cualquier proporción, el resultado será entonces una proporción perfecta desde un punto de vista áureo.

**FIGURA 7**  
Proporción Áurea



Supongamos de la imagen anterior que  $AB$  tiene longitud 1 y  $AC = x$ , donde  $C$  divide  $AB$  en la proporción áurea, entonces podemos usar álgebra sencilla para hallar  $x$ .

$$\frac{x+1}{x} = \frac{x}{1}, x^2 - x - 1 = 0$$

Y mediante una solución rápida con la ecuación general de las ecuaciones de segundo grado se obtienen 2 soluciones, una positiva y una negativa como se representan a continuación:

$$x_{(+)} = \frac{1+\sqrt{5}}{2}, x_{(-)} = \frac{1-\sqrt{5}}{2}$$

De donde se deduce que el número áureo, que sale de la solución positiva de la ecuación sería:

$$\varphi = \frac{1+\sqrt{5}}{2} \approx 1,6180339887498948482045868343656$$

Se podría concluir, que para cualquier diseño en general que considere la ergonomía del objeto y la comunicación antropométrica entre sus formas y el usuario, la proporción áurea es un modelo perfecto para considerar geometrías inmersas dentro del dimensionamiento de aquello que será diseñado, método que se ha seguido detalladamente para el diseño del proyecto con el fin de llegar a una forma naturalmente concebida dentro de los cánones áureos.

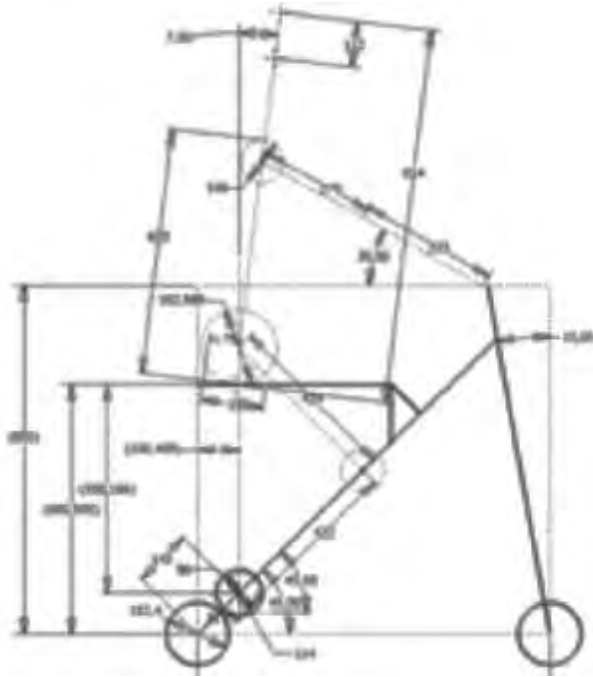
## PROPUESTAS DE DISEÑO

El diseño geométrico al cual se ha llegado contiene la siguiente configuración "Áurea", conservando las proporciones entre los estándares antropométricos de un individuo que interactúa con un automotor monoplaça como lo es un Scooter, en términos más familiares, las relaciones antropométricas para una motocicleta.

Teniendo en cuenta las medidas entre las cuales está considerado un individuo dentro del 50-percentil se obtienen las medidas antropométricas equivalentes a las distancias entre las articulaciones del cuerpo, con las cuales se definen las siguientes consideraciones de diseño:

- el peso del usuario se ejercerá a una distancia horizontal igual en ambos casos, cuando se esté parado y sentado.
- la tibia deberá conservar la misma línea de configuración del marco, en este caso en particular se ha optado por un ángulo de  $45^\circ$  con la horizontal.
- la relación que existirá entre la altura total del usuario considerada desde el contacto de los pies con el Scooter y la corona de su cabeza, será una relación áurea con relación a la altura de la posición vertical del asiento del Scooter con relación a la posición de los descansa pies.
- el ángulo que describe el brazo con relación al torso será uno entre los  $31.72^\circ$  y los  $45^\circ$ , este primero siendo el ángulo áureo de la proporción que existe dentro del rectángulo euclidiano.

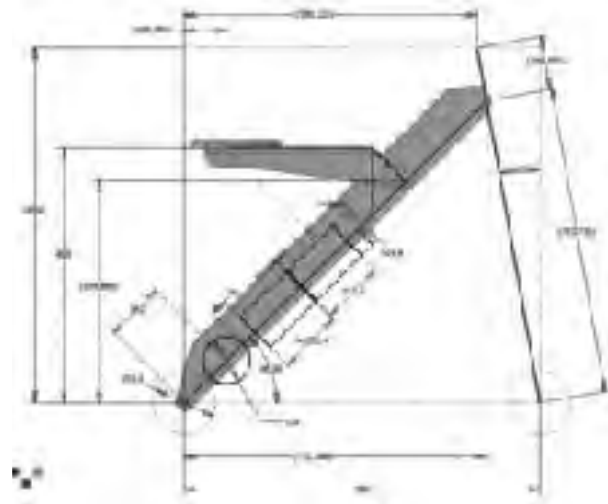
**FIGURA 8**  
**Geometría del Scooter**



Inicialmente se han diseñado 2 propuestas basadas en este marco, donde una difiere de la otra en cuanto a la configuración de la materia prima. Esto es, los materiales con los que se piensa construir.

En primer lugar se tiene el llamado marco 1, el cual está configurado por un marco de lámina calibre 12 (2.6mm) doblada aproximadamente, el material que se tendrá en cuenta es Aluminio 6061-T6. La principal limitación de este modelo aunque más liviano, es el tratamiento que se haría para reforzar los pliegues puesto que el aluminio en condiciones de doblar a  $90^\circ$  desarrolla concentradores de esfuerzos que pueden generar fisuras y en casos extremos fractura del material según el fabricante, por lo que se le debe hacer un proceso de soldadura en los puntos concentradores y esto tiene un costo muy elevado al usarse con equipos TIG.

**FIGURA 9**  
**Propuesta 1 de pre-diseño**



Para las consideraciones del diseño se tendrá lo siguiente:

- el marco se inclinará a  $45^\circ$  de acuerdo a lo planteado previamente. esto con el fin de conservar las proporciones áureas del sistema.
- el tenedor delantero se inclinará a  $10^\circ$  con respecto a la vertical, para alivianar tensiones en la amortiguación, el tenedor y la rueda directamente.
- el motor y las baterías irán sobre la línea del marco.
- la distancia horizontal a la que actuará la fuerza principal del sistema, que no es menos que la ejercida por el peso del usuario sobre el marco cuando está parado o sobre la silla cuando está sentado, irá aproximadamente a 100mm de la rueda trasera. Esta dimensión equivale a la unidad del marco áureo, o sea,  $1/8$  de la dimensión total horizontal del Scooter.
- la espalda del usuario se inclinará entre los  $5^\circ$  y los  $9^\circ$  dependiendo de la configuración del mismo, considerando un usuario perteneciente al percentil-50.

Considerando las características del diseño, donde el usuario interactuará directamente con el Scooter y sus propiedades físicas y geométricas, tendrá que ser capaz de levantarlo y cargarlo para subir unas escaleras, subirlo a un baúl de un automóvil, subirlo a un closet o simplemente manipularlo cuando está fuera de uso (plegado), por lo que es muy importante el "factor peso" del diseño.

El segundo diseño, marco 2, está configurado por 2 perfiles de tubería cuadrada de aluminio de  $4 \times 1.75$



presentar en las acciones extremas o de las propiedades de los materiales que conforman el sistema.

Finalmente es por medio del *FS* que se pueden comparar los esfuerzos de trabajo producidos por las cargas externas con los esfuerzos de fluencia de los materiales del sistema.

Para efectos de diseño se escoge un *FS* equivalente al doble del valor de las cargas para considerar al individuo en situaciones extremas de interacción, por ejemplo con una carga adicional del doble de su peso, o incluso con carga y sometido a un plano inclinado con un ángulo elevado (15°-30°).

De manera comparativa se ilustra la diferencia entre el peso de los accesorios propios del automotor (motor, ruedas, baterías, etc.) y el peso del usuario.

$$w_u = FS * w_p = 2 * 78.4 Kg = 156.8 K$$

$$\frac{w_u}{w_{accesorios}} = \frac{156.8}{6.52} = 24.05$$

Lo que es equivalente a decir que el peso del usuario ( $w_u$ ) es 29.14 veces mayor que el de los accesorios.

- Enmallado: Es tal vez el talón de Aquiles de los elementos finitos, puesto que si se optimiza hasta un nivel de precisión alto según demande el diseño, el proceso de cálculos y el planteamiento matemático se simplifica, y el refinamiento arroja de igual manera los resultados óptimos para el análisis, haciendo que el porcentaje de convergencia sea del 100%. En este caso se escoge el modulo automático de refinamiento de malla de la herramienta CAD escogida para realizar el proyecto, Autodesk INVENTOR pro 2008. Se explicara la configuración de la malla para cada modelo cuando sea pertinente.

Cálculos / Resultados: Para el *modelo 1* se obtienen resultados de distribución de esfuerzos, deformaciones y factores de seguridad. Este último es el que más debe importarle al diseñador, siendo el que determina el umbral de diseño entre la resistencia del material y el estado de carga real por efectos geométricos.

FIGURA 11  
Esfuerzos combinados y Factor de Seguridad de modelo 1



Y se obtiene un esfuerzo combinado máximo y uno mínimo del orden de:

$$\sigma_{cmax} = 344.06MPa, \sigma_{cmin} = 0.0025319MPa$$

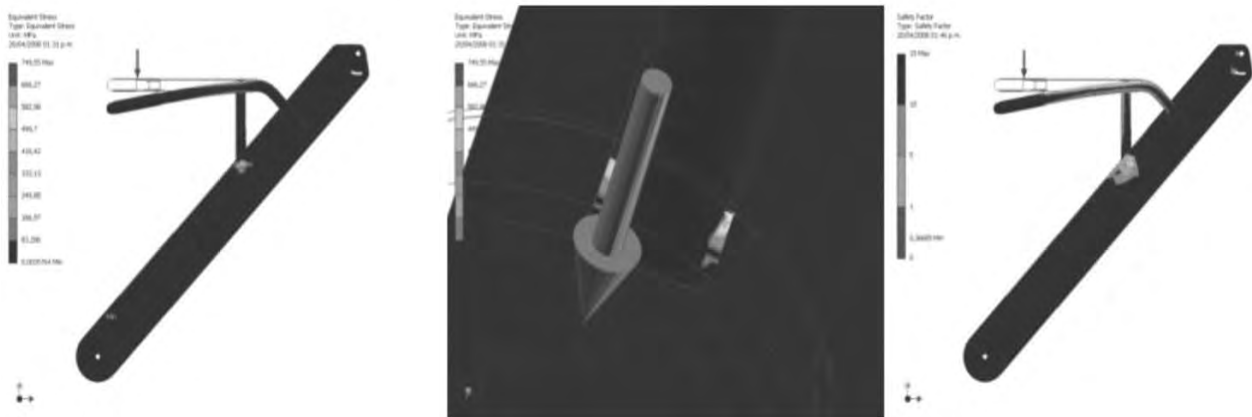
El *FS* mínimo del sistema, que es del orden de los 0.79927, sugiere que el pivote está peligrosamente rebasando el rendimiento permisible del material (resistencia a la fluencia), y que el pivote se ha pensado desde un punto de vista pobre en cuanto a riesgo e incertidumbre del diseño. Por esto es necesario un rediseño del pivote de la silla sobre el marco, de manera que se mejorare el rendimiento del elemento haciendo uso del acero y proponiendo una nueva dimensión para disminuir el



impacto de las cargas externas del sistema sobre el mismo. Estos resultados son similares en los sectores críticos del sistema, pero no dejan de ser problemas de los elementos críticos, y no del marco como tal. De manera que nos concentraríamos en el rediseño de los pivotes.

El proceso para el modelo 2 se desarrolla exactamente igual al modelo 1. El proceso empieza por seleccionar el material, que para ambos casos se escogió el "Aluminio 6160-T6". Los resultados obtenidos por el análisis de elementos finitos son:

**FIGURA 12**  
Esfuerzos combinados y factor de seguridad de modelo 2



Con lo cual se obtiene un esfuerzo combinado máximo y uno mínimo del orden de:

$$\sigma_{e_{\max}} = 749.55 \text{MPa}; \quad \sigma_{e_{\min}} = 0.0026764 \text{M}$$

El *FS* mínimo del sistema, del orden de los 0.367, sugiere que el pivote está peligrosamente acercándose al rendimiento permisible del material (resistencia a la fluencia), y que el pivote ha sido pensado desde pobremente en cuanto a riesgo e incertidumbre del diseño.

## POS-PROCESAMIENTO

Los 2 modelos resultantes del primer análisis de Elementos Finitos se muestran en la siguiente imagen, y sus resultados en la tabla siguiente, en donde se muestran los resultados tanto para esfuerzos combinados, como para esfuerzos principales, deformaciones y factores de seguridad.

**TABLA 1.** Comparación entre pre-diseños

	MARCO 1	MARCO 2
Esfuerzos combinados	Max=254.65MPa	Max=539.23MPa
Esf. principales máximos	Max=329.7518MPa	Max=640.1448MPa
Esf. principales mínimos	Max=104.7044	Max=-817.6806MPa
Deformación global	Max=1.3886mm	Max=13.248mm
Factor de Seguridad	0.79927	0.367

Estos resultados sugieren que el *marco 1* es superior en diseño en cuanto a su rendimiento. Sin embargo, el análisis de factores de seguridad *FS*, la eficiencia sugiere que los componentes críticos del sistema para el *modelo 1* están un 54.0831% mejor pensados desde el punto de vista mecánico en relación al rendimiento del *modelo 2*. No olvidemos que pese a los resultados positivos de una propuesta sobre otra, los resultados no dejan de ser preocupantes, puesto que el *FS* se encuentra por debajo de 1, lo que implica un inminente rediseño de las partes críticas, puesto que se encuentra por debajo de los límites de fluencia del material, específicamente, se encuentran un 20.073% y un 63.3% de los límites permisibles respectivamente para el *modelo 1* y el *modelo 2*.

## DISEÑO FINAL

Al diseño final se le ha bautizado METROPLEX. El significado del nombre es sencillo y evidente; se ha diseñado un Scooter para transporte urbano con la característica de ser plegable. Del prefijo METRO, que al español significa ciudad, y PLEX que puede ser considerado algo plegable.

Al nuevo y mejorado diseño se le ha dedicado un alto valor estético, mejorando su geometría e incluyendo curvas prominentes dentro de sus formas. No obstante, el diseño fue basado en un marco áureo, como se ha descrito en todo el proyecto, para suavizar las formas del artefacto con relación a las dimensiones antropométricas del usuario, haciéndolo lucir natural y proporcionalmente armónico.

FIGURA 13

Modelo de bloque de diseño final METROPLEX



El procedimiento es igual que en los 2 pre-diseños, con la diferencia que al diseño final le sumamos el tenedor delantero, con el fin de llegar a un estado de distribución de esfuerzos globales para todo el sistema, incluyendo otro punto crítico del sistema: el resorte de torsión ubicado en el tenedor delantero. Y considerando el planteamiento global real de las fuerzas externas del sistema, que serían las restricciones en ambas ruedas y la carga que ejerce el usuario sobre la silla del Scooter.

FIGURA 14

Módulo con perfil de geometría de METROPLEX



Para los parámetros de diseño se han utilizado una combinación entre ambos modelos del pre-diseño. La lámina del *modelo 1*, que da una idea innovadora de rendimiento en cuanto a ventajas mecánicas por su gran diferencia de peso con relación al otro modelo y la idea de flexibilidad geométrica, donde la lámina siempre se dejará formar de más maneras que un tubo extruido, y más aun cuando el tubo es de sección cuadrada. Esto junto con la idea de bloque del *modelo 2*, que reforzará la seriedad del diseño ahora desde un punto de vista estético, al guardar los componentes internos precisamente ahí, en el "interior" de la geometría del *Scooter*. Para esta propiedad se define el espacio para almacenar las baterías, aislándolo en los laterales con la estructura del marco y para el resto de los lados, con una línea de laminilla, bien sea de aluminio u otro material que se deje doblar para lograr la forma de la caja contenedora. Esta caja además de las baterías guardará el sistema eléctrico y los interruptores de encendido del *Scooter*.

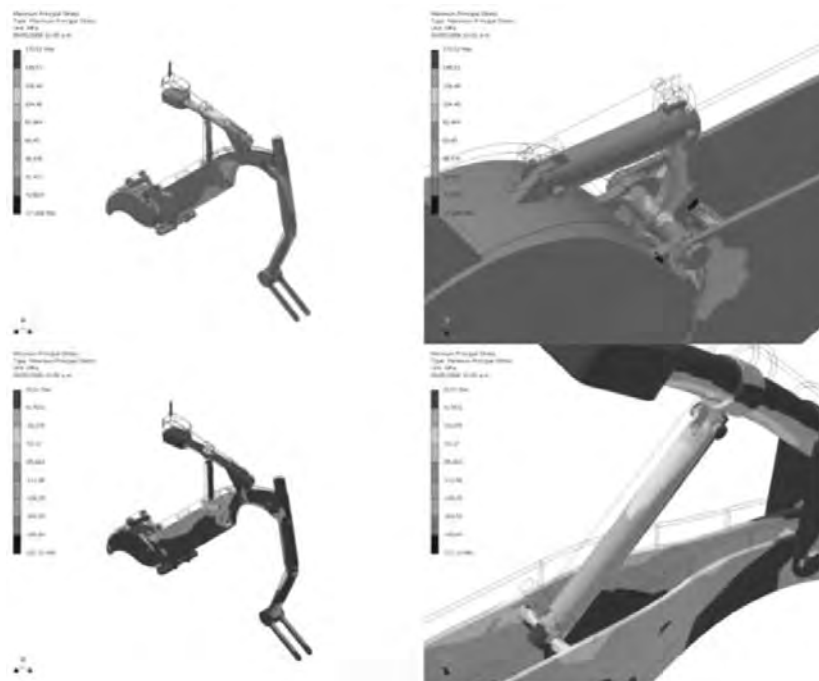
Este diseño permite asociar la lámina con su ventaja inercial para usarle como un elemento mecánico de soporte estructural. Las láminas estarán soportadas entre sí por medio de travesaños de aluminio remachados en puntos estratégicos de la geometría.

En general se pudieron realizar 2 procesos de optimización, uno global donde alcanzamos un estado de esfuerzos tal

que los factores de seguridad fueran siempre mayores que ( $>1$ ), de tal manera que se pueda garantizar un perfecto estado de flujos de cargas que permanezcan por debajo del límite de fluencia para el material de trabajo.

Se analizan los resultados para los esfuerzos máximo y mínimo junto con los resultados para los factores de seguridad  $FS$ .

FIGURA 15  
Esfuerzos máximos y mínimos de METROPLEX



Para el valor del esfuerzo principal máximo ( $\sigma_3$ ) se encuentra que es menor que el combinado máximo ( $\sigma_{cmax}$ ). Este estado implica que los esfuerzos de flexión y cortantes que fluyen por el sistema deben ser considerados como factores importantes del diseño; aun ante esta inminencia, debido a que los estados no superan el límite elástico del material, no hay problemas de ninguna índole.

$$\sigma_3 = 170.52 \text{ MPa} < \sigma_{cmax} = 250.04 \text{ MPa}$$

Y en el caso del esfuerzo principal menor tenemos un valor que en su valor mínimo sigue estando dentro de los rangos elásticos del Acero Inoxidable T302, y lo que es mejor

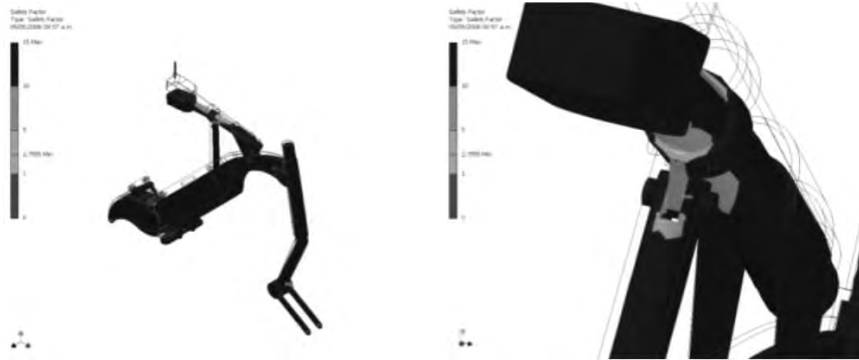
aún, su magnitud es también menor que la del esfuerzo combinado máximo ( $\sigma_{cmax}$ ).

$$\sigma_1 = 217.13 \text{ MPa} < \sigma_{cmax} = 250.04 \text{ MPa}$$

El factor de seguridad máximo a nivel global ha sido de 15, igual que en el resto de las pruebas. Esto explica el excelente rendimiento de la propuesta de diseño. Aún así, este resultado sugiere un nuevo ciclo de diseño de detalle, en donde se puede llegar a dimensiones aún menores y ahorros impresionantes de material, pero el resultado obtenido es suficiente para las especificaciones del diseño del METROPLEX.

Se obtuvo un factor de seguridad mínimo de 2.755 justo en el pivote de la suspensión de la silla. Lo que sugiere que estamos aproximadamente un 175.55% por encima del rendimiento elástico del material.

FIGURA 16  
Factor de seguridad FS distribuido de METROPLEX



Esto no limita el comportamiento mecánico sobre la geometría del modelo. Para aprovechar al 100% el espacio, y minimizar el gasto de material sin alterar los resultados de distribución de las cargas por el sistema se ha escogido una suspensión estándar de bicicleta, la cual permite graduación de longitud; esto permite al usuario experimentar muchas configuraciones de altura de la silla y sensibilidad de la suspensión.

A los resultados además se les debe sumar el hecho de que la fuerza que ejerce el usuario sobre el sistema lleva inmerso otro factor de seguridad, el cual algunos autores lo han llamado factor de servicio, por lo tanto, el sistema ha

considerado un factor de sobredimensionamiento desde un comienzo. Por lo tanto se puede decir que el sistema en realidad está sometido a un factor de seguridad combinado de  $FS_{GLOBAL} = f_{S_{Wt}} * f_{S_{FEA}} = 2 * 2.7555 = 5.511$ .

Que es equivalente a hablar de un sobre-diseño del 451.1% en el punto más crítico del sistema; siendo este el pivote entre la silla y la suspensión.

Y para terminar con el análisis de bloque, se define el porcentaje de flujo de fuerzas que llega a cada rueda. Según la siguiente figura, las reacciones de la rueda trasera son los del cuadro izquierdo y los de la delantera el derecho.

FIGURA 17  
Reacciones en las ruedas para METROPLEX



Y se podrá decir que la relación que existe entre el total de la carga soportada es la siguiente:

$$R_{carga\_trasera} = \frac{R_{trasera}}{R_{trasera} + R_{trasera}} = \frac{1088.725}{501.788 + 1088.725} = \frac{1088.725}{1590.513} = 0.6845$$

$$R_{\text{carga\_delantera}} = \frac{R_{\text{delantera}}}{R_{\text{traseera}} + R_{\text{traseera}}} = \frac{501.188}{501.788 + 1088.725} = \frac{501.788}{1590.513} = 0.3155$$

Reforzando el principio de diseño que se ha propuesto desde un comienzo al pretender distribuir la carga total soportada por el sistema en un 30% en la rueda delantera y en un 70% en la trasera.

## ANÁLISIS FEA DE LOS COMPONENTES

La metodología a seguir para el análisis el sistema desde los resultados independientes de los elementos, pretende ilustrar de manera cuantitativa las condiciones mecánicas en las que se encuentra el METROPLEX al ser sometido a la carga que genera el usuario sobre su estructura.

Se empieza por determinar los resultados de las cargas en los pivotes de la silla al hacer el análisis de elementos finitos; de los resultados arrojados se sacarán las fuerzas que fluyen por la suspensión y que van directamente al marco por el pivote. Estas fuerzas serán luego llevadas al

marco para determinar los valores de las cargas resultantes en los pivotes de la espiga y el pivote trasero y con estos valores finalmente se llegara al tenedor delantero, en donde se determinara las dimensiones del resorte de torsión para la suspensión de brazo de la rueda delantera, y a la suspensión trasera, la cual amortiguará los efectos vibracionales del impacto del suelo al motor y el sistema de transmisión.

Los resultados cierran el flujo de cargas por el sistema, y los esfuerzos se mantienen dentro de los límites de fluencia de los materiales de diseño del METROPLEX.

### Silla

El sistema se considera como una viga con carga en voladizo, con una configuración como se muestra en la siguiente figura.

FIGURA 18  
Estado estático, Esfuerzos máximos y Factor de seguridad de "silla"

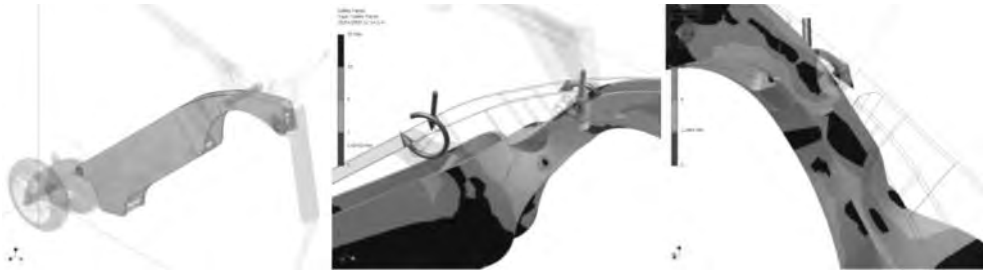


Estas fuerzas son al mismo tiempo las que se trasladan al amortiguador para definir la fuerza axial que se transmite por el resorte; el amortiguador se ha determinado será una pieza comercial: amortiguador de compresión para bicicleta, con capacidad de hasta 300Kg. El resorte de estos amortiguadores está constituido por un miembro de calibre ¼ de pulgada, aproximadamente 4 espiras y 42.0 mm de diámetro externo. Por esta razón se obvian los cálculos para los 2 amortiguadores de compresión; el de la silla y el del motor.

### Marco

Al igual que en el proceso de la silla, se considera una viga, esta vez pivotada en sus extremos y cargada en 2 puntos. El sistema local es idéntico al global, solo que girado el eje Z, de manera que el eje X y el eje Y se invierten, los resultados del análisis serán los reales para el sistema coordenado global de METROPLEX.

FIGURA 19  
Estado estático, Esfuerzos máximos y Factor de seguridad de "marco"



El análisis realizado con el material de Acero Inoxidable T302 arroja factores muy positivos, incluso considerando el hecho de que el calibre de la lámina es menor que en el aluminio. Este resultado se debe al excelente funcionamiento de acero inoxidable a la cizalladura, obteniendo un factor de seguridad del orden de 1.3854, equivalentes al 38.54% de alivio con respecto a los límites de cedencia del material.

Ahora para los pivotes de la espiga, se tiene que el más grande, que soporta el pasador principal, tiene un diámetro de  $\varnothing 12.7\text{mm}$ , y el pequeño un diámetro de  $\varnothing 6.35\text{mm}$  (equivalentes a  $1/2''$  y  $1/4''$  de diámetro), el recorrido de la fuerza se desempeña por todo el ancho del pivote, siendo estos bujes pasadores de lado a lado del marco.

En la figura siguiente se muestran los valores que arroja el análisis, donde el cuadro de la izquierda es el equivalente a las reacciones del pivote menor y el cuadro de la derecha equivalente a las reacciones del pivote mayor.

### Tenedor Delantero

El tenedor delantero está configurado por una espiga larga que sostiene la dirección del Scooter, un brazo a  $90^\circ$  que incluye un sistema de amortiguación tipo torsional, donde un resorte de torsión hace las veces de palanca cuya idea es restringir el flujo de carga que lo atraviesa mediante el uso de energía potencial, donde la  $k$  del resorte será la que determina la rigidez de este y es la que limita el flujo de carga hacia la rueda.

FIGURA 20  
Estado estático, Esfuerzos máximos y Factor de seguridad de "tenedor"



Los resultados del análisis arrojan un FS mínimo del sistema del orden de 1.4757, según se puede ver en la siguiente figura, por lo que se deduce que bajo esta geometría, el comportamiento mecánico de la espiga permanece por debajo de los límites de fluencia del material de trabajo en un 47.57% aproximadamente, en este caso el Acero Inoxidable T302.

El equilibrio del sistema es corroborado comparando los resultados encontrados con los valores previamente determinados para las cargas resultantes en los 2 estados de carga: usuario parado y sentado, cerrando así el sistema para un equilibrio estático global.

## Resorte de Torsión / Suspensión delantera

El resorte de torsión de la suspensión delantera se determina por medio del módulo de diseño asistido de la herramienta CAD de Autodesk INVENTOR 2008, con la que se podrá determinar todas las especificaciones del resorte: material, calibre, diámetros interno y externo, altura y paso, además de el tipo de terminales.

FIGURA 21  
Suspensión delantera METROPLEX



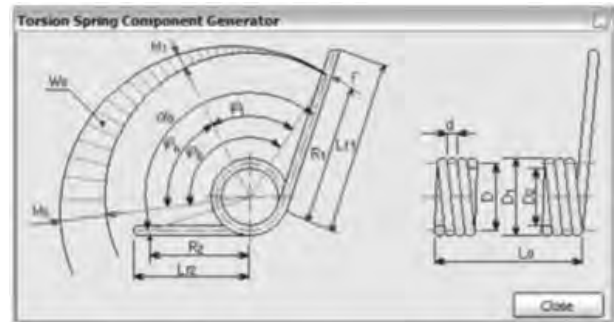
Para determinar las especificaciones de los resortes, primero se realiza un diagrama de cuerpo libre para el punto del eje del resorte. El análisis parte del hecho de que la rueda delantera soporta un 30% de la carga del sistema. Y de la *Figura 85* se deduce que la carga real en la rueda es de

$$W_{RD} = 501.18830N \approx 30\%(W_T)$$

Teóricamente la carga que soporta la rueda delantera es del orden de los  $WRD = 450N$ , equivalente al 30% de la carga total del sistema. Aun así, se trabaja el desarrollo con la carga teórica; considerando el alto factor de seguridad del sistema.

Las variables a tener en cuenta para el diseño del resorte se muestran en la siguiente figura.

FIGURA 22  
Variables del resorte de torsión



Y el análisis de diseño se divide en 2 fases: una de diseño de forma y la otra de diseño de carga; en la primera se tienen en cuenta las dimensiones físicas del resorte, las terminales, el ángulo entre las terminales, el número de espiras, la longitud libre del resorte y el calibre, y paso del resorte. Las medidas se incluyen en la siguiente tabla.

TABLA 2  
Variables de carga del resorte

VARIABLES DEL RESORTE DE TORSIÓN	
Nombre	Dimensión
Ø externo	48.0mm
Ø alambre (calibre)	6.35mm (1/4")
αo ángulo entre terminales	90°
n (# de espiras)	6

Assumiendo que se usará solamente un resorte en vez de los 2. Puesto que el sistema es simétrico, el resorte se divide en la mitad de espiras y la mitad de la longitud libre para conservar el diseño de los 2, uno a cada brazo.

FIGURA 23  
Fase 1 de diseño del resorte de torsión



Y para las variables de fuerza, se incluyen los valores en la siguiente tabla.

**TABLA 3**  
Variables de Fuerza del resorte de torsión

VARIABLES DEL RESORTE DE TORSIÓN	
Nombre	Dimensión
F1 (Fuerza mínima)	350N
F8 (Fuerza máxima)	700N
F (Fuerza de trabajo)	450N
Material	Acero SAE 1070 endurecido al temple

Los resultados cerraron correctamente, arrojando un resorte óptimo y diseñado para trabajar perfectamente bajo las cargas y especificaciones propuestas en el diseño.

**FIGURA 24**  
Fase 2 de diseño del resorte de torsión



En la columna derecha se especifican los datos adicionales de diseño del resorte, donde el programa hace claridad acerca del ángulo de trabajo máximo, el diámetro interno del resorte cuando se encuentra con la carga máxima, el esfuerzo de trabajo al que se somete el resorte en la carga máxima y la longitud del resorte en la carga máxima.

$$\sigma_s = 605.82 \text{ MPa}, \sigma_c = 744 \text{ MPa}, \sigma_s < \sigma_c$$

Del análisis anterior se concluye el dimensionamiento del resorte, y se puede decir que las dimensiones finales del resorte son las propuestas en la siguiente tabla.

**TABLA 4**  
Dimensiones finales del resorte de torsión

VARIABLES DEL RESORTE DE TORSIÓN	
Nombre	Dimensión
Ø externo	48.0mm
Ø alambre (calibre)	6.35mm (1/4")
αo ángulo entre terminales	90°
n (# de espiras)	3.5
Lo (altura libre)	30.0mm
Lt (longitud terminales)	30.0mm

## CÁLCULOS DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA

Este es tal vez el análisis más importante de todo el diseño, tal vez no el crítico, pero si determinante. La transmisión de potencia es la capacidad de transportar la energía de un lado a otro generando ventaja mecánica sobre uno o más componentes. Por medio del análisis de transmisión de potencia es que se sabrá que tan eficiente es el proyecto en sí, al demostrar como el problema planteado desde un inicio se resuelve.

Con los cálculos pertinentes, el diseño logrará darse al movimiento teóricamente, y así, darle solución al objetivo del diseño del Scooter.

En primera instancia se debe analizar el modelo matemático que logrará determinar la cantidad de energía llevada a la rueda transmisora de movimiento, la cual a su vez determinará la magnitud de la fuente energética que impulsará al METROPLEX.

El proceso comienza por determinar los componentes de la transmisión. Este proceso se realiza con el método propuesto por el catálogo de poleas sincrónicas de la compañía INTERMEC, por el que se determinan las poleas y la banda para el sistema de transmisión.

## Selección banda sincrónica del motor

Se obtiene la tabla técnica del motor directamente desde la página del fabricante del motor, Zhejiang Unite Electric Motor los siguientes datos de potencia:



$$P = 352.49 \text{ W} = 0.4726 \text{ Hp},$$

$$W_{\text{motor}} = 2858 \text{ rpm} = 54.72 \text{ rad/s}$$

Siguiendo el catalogo de INTERMEC para el cálculo de transmisión de potencia por polea sincrónica hace falta calcular los siguientes datos: rpm de la rueda motriz, rpm de la rueda a impulsar, diámetro del pasador o eje, distancia entre centros, siguiendo con el procedimiento de esta catalogo encontramos lo siguiente:

### Determinación del factor de potencia de diseño

Para esto se hace uso de la tabla 3 del catalogo de INTERMEC, para el cual escogimos un factor de 1.5 ya que es el más adecuado según nuestra aplicación.

### Determinación del paso de la polea

Para determinar el paso es necesario hacer uso de la tabla 4 del catálogo de transmisión de potencia por bandas sincrónicas, en donde se encuentran las rpm de la polea más pequeña y el factor de diseño antes calculado. Haciendo uso de la tabla encontramos una polea de paso 3mm en su designación comercial de 3M.

### Establecer la relación de velocidad

Para esto es necesario realizar la división de las rpm del motriz sobre las rpm de la polea conductora.

$$R = \frac{W_{\text{motriz}}}{W_{\text{rueda}}} = \frac{2858 \text{ rpm}}{522.5784 \text{ rpm}} = 5.47$$

Con la relación anterior y haciendo uso de nuevo de las tablas de las paginas 51-76 del catálogo encontramos las relación de las poleas. Y la banda las cuales son:

- Polea motriz ..... 16-5M-15
- Polea impulsada ..... 72-5M-15
- Correa ..... 450-5M-15

Para comprobar q la selección anterior fue hecha correctamente nos dirigimos a las tablas ubicadas en las páginas 77-84 del catálogo, en donde se encuentran las capacidades de transmisión para cada polea de diferentes

anchos, haciendo la comprobación con el factor de diseño antes hallado verificamos que la correa está cumple con las condiciones requeridas.

## ESTADO ESTÁTICO

De la relación de potencia para el sistema, para la conservación de la energía, tenemos el siguiente modelo:

$$P = T_1 * w_1 = T_2 * w_2$$

De donde  $P$  es la potencia del sistema,  $T_1$ ,  $w_1$  son el torque y la velocidad angular (rpm) del eje motriz, y equivalentemente  $T_2$ ,  $w_2$  son los de la rueda (eje impulsado).

$$T_2 = T_1 * \frac{w_1}{w_2} = T_1 * R$$

De la ecuación anterior se deduce la relación de velocidades  $R$  del sistema de transmisión. Y por otro lado se tiene el par de arrastre de la rueda:

$$w_2 = \frac{V}{r_r} = \frac{4.17 \text{ m/s}}{0.0762 \text{ m}} = 54.72 \text{ rad/s} = 522.5784 \text{ rpm}$$

Y se obtiene la fuerza de arrastre del sistema.

$$F_e = \frac{T_1 * R}{r_r}$$

Ahora bien, la intención del análisis estático es determinar si la fuerza de arrastre  $F_e$  es capaz de vencer el estado de inercia del sistema, producido por la fricción que genera el peso del sistema sobre la superficie de contacto, en este caso, el asfalto.

$$F_e \geq F_f$$

Donde  $F_f$  representa la fuerza de fricción del sistema contra el piso. Desarrollando independientemente los términos de la desigualdad anterior, considerando un coeficiente de fricción de 0.08 para contacto entre plástico blando y asfalto, y conservando el hecho de que la rueda trasera carga el 70% de la carga total del sistema

$$F_f = N * f = 0.7 W_t * f = 0.08 * 0.7 * 1540 = 86.24 \text{ N}$$

Y de la ecuación 51 obtenemos  $F_e$ , considerando un torque máximo para el arranque del motor, una relación de velocidad encontrada en el cálculo de la banda sincrónica y las poleas y un radio de la rueda ( $\varnothing 6$  pulgadas).

$$F_e = \frac{T_1 * R}{r_r} = \frac{1.59Nm * 5.47}{0.0762m} = 114.1378N$$

Y de las ecuaciones anteriores se puede concluir que la desigualdad de la ecuación de la fuerza de fricción se cumple, de manera que existe una fuerza de arrastre de  $F_a = F_e - F_f = 114.1378N - 86.24N = 27.8978N$

Y de la ecuación anterior podemos deducir la aceleración de arrastre mínima del Scooter para vencer el estado de quietud inercial.

$$a_u = \frac{F_a}{m_T} = \frac{27.8978N}{0.7 * 1540N} * 9.81m/s^2 = 0.28m/s^2$$

Para la velocidad angular de la rueda,

$$\omega_2 = \frac{V}{r_r} = \frac{4.17m/s}{0.0762m} = 54.72rad/s = 522.5784rpm$$

Y de la ecuación del equilibrio de potencia:

$$F_e = \frac{P}{\omega_2 * r_r} = \frac{352.49W}{54.72rad/s * 0.0762m} = 84.54N = 8.62Kgf$$

## CONCLUSIONES

La recolección de información antes de realizar un modelo es de vital importancia, ya que esto permite una clara concepción del modelo, esto a su vez permite una cercanía entre lo deseado y el diseño final, cabe anotar que el diseño final ha pasado por una etapa de rediseño y elementos finitos, conservando en lo posible la esencia de la geometría del modelo.

Se aprecia claramente que mediante la utilización de los elementos finitos, se llega a un modelo determinado casi final, llegando a resultados óptimos, lo anterior se refiere a menos desperdicio de material ya que mediante estos análisis se garantiza la máxima utilización de las áreas dejando los esfuerzos a un nivel mínimo permisible, claro está que sin poner en riesgo la seguridad.

Los procesos de elementos finitos permiten una visualización completa del modelo y sus posibles fallas de acuerdo a sus

La masa total del sistema se deduce extrayendo el 70% del peso total que ejerce el usuario al sistema:

$$F_a = m_T * a_u = 27.8978N$$

## ESTADO DINÁMICO

Para el estado dinámico se considera una velocidad promedio de 15Km/h. con los datos de la ficha técnica del motor. Las especificaciones normales para el motor son: 352.49W - 1.18Nm@2858rpm; y el torque máximo del motor es del orden de 1.59Nm, al momento del arranque.

$$V = 15 Km / h = 4.17m/s$$

cargas específicas, estos procesos son de gran utilidad en la industria ya que de manera acertada se predicen fallas que pueden haber sido omitidas por desconocimiento del flujo de las fuerzas que en el modelo actúan.

El proceso de diseño y rediseño como se aprecia en el presente sirve para optimizar de manera ágil y con costos mínimos modelos preliminares, estas reiteraciones tienen como fin sacar el modelo de forma final sin necesidad de reproceso en la parte del diseño, este método garantiza la convergencia de las variables involucradas en todo el modelo, dando una gran seguridad de su certeza a la hora de evaluar las fuerzas reales aplicadas al elemento.

Las reiteraciones en el proceso de diseño son claramente apreciadas en las tres propuestas, este proceso parte de un modelo creado conceptualmente, adquirido mediante la información recolectada en el marco teórico, cuyo refinamiento ha ido evolucionando a medida que propuestas han sido evaluadas mediante el método de los elementos

finitos, según los resultados arrojados por cada una de estas evaluaciones el modelo ha ido cambiando de forma según lo requerido.

El análisis de resorte de torsión con el modulo de diseño del programa inventor 2008 fue de gran ayuda pero, cuando el modelo estuvo concluido este resorte tuvo que ser cambiado por uno de menor calibre ya que este aunque cumplía con todas las especificaciones era demasiado duro y rebotaba, por tal motivo este resorte fue modificado y rebajado a un calibre menor que cumplió con las especificaciones de diseño y la rigidez se ajustó a las cargas del sistema.

Una de las características de mayor peso por las cuales se escogió el acero inoxidable fue su costo, pero además de esto, haciendo una proporción de peso el inoxidable fue el de menor magnitud además de ofrecer mayor resistencia mecánica.

## **BIBLIOGRAFÍA**

BEER, FERDINAND P y JOHNSTON, E. RUSSELL. MECANICA VECTORIAL PARA INGENIEROS. 5 ed. MEXICO: MCGRAW-HILL, 1990. 1059p. ( ). ISBN 0070799261

CROSS, NIGEL. MÉTODOS DE DISEÑO: ESTRATEGIAS PARA EL DISEÑO DE PRODUCTOS. MEXICO: LIMUSA-NORIEGA EDITORES, 1999. 190p. ( ). ISBN 9681853024.

HAMROCK, BERNARD J; SCHMID, STEVEN R y JACOBSON, BO O . ELEMENTOS DE MAQUINAS. MEXICO: MCGRAW-HILL INTERAMERICANA, 2000. 926p. ( ). ISBN 970102799X.

JONES, CHRISTOPHER . MÉTODOS DE DISEÑO. 3 ed. BARCELONA : GUSTAVO GILI, 1982. 370p. ( ). ISBN 8425206251.

POPOV, EGOR PAUL. INTRODUCCIÓN A LA MECANICA DE LOS SÓLIDOS. MEXICO: LIMUSA, 1980. 652p. ( ). ISBN 9681804945.

SHIGLEY, JOSEPH EDWARD. DISEÑO EN INGENIERIA MECANICA. BOGOTA: MCGRAW-HILL, 1983. 915p. ( ). ISBN 968451607X.

TILLEY, ALVIN R y. THE MEASURE OF MAN AND WOMAN: HUMAN FACTORS IN DESIGN. NEW YORK: JOHN WILEY & SONS, 2002. 98p. 2v. ( ). ISBN 0471099554.

ELECTRIC SCOOTERS & GAS SCOOTERS, Scooters de todo tipo en internet, última revisión Octubre de 2006. Disponible en la Web: <http://www.extremely-cheap-gas-powered-scooters.com/index.html>

PMW ©, 2004, Scooter Motorizado, última revisión Septiembre de 2005. Disponible en la Web: <http://www.goped.com/>

SCOTER CITY, Tienda virtual de Scooters motorizados, última revisión Octubre de 2006. Disponible en la Web: <http://www.Scooter-city.com/motorized-scooters.htm>

THE GADGETEER, Todo tipo de artefactos novedosos, última revisión Agosto 5 de 2007. Disponible en la Web: [http://www.the-gadgeteer.com/review/city\\_mantis\\_electric\\_scooter\\_review](http://www.the-gadgeteer.com/review/city_mantis_electric_scooter_review)

UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE, Oficina de patentes y marcas registradas de los Estados Unidos, última revisión Agosto 5 de 2007. Disponible en la Web: <http://www.uspto.gov/patft/index.html>

URBAN SCOOTERS, Tienda virtual de Scooters, última revisión Octubre de 2006. Disponible en la Web: <http://urbanscooters.com/cgi-bin/urbanscooters>

Enciclopedia de acceso libre en Internet, última revisión Octubre 12 de 2006. Disponible en la Web: <http://es.wikipedia.org/wiki/scooter>

# **INGENIERÍA DE DETALLE DE LA PLANTA PARA LA PRODUCCIÓN DE LECHE PASTEURIZADA Y DERIVADOS LÁCTEOS DE ALTO VALOR AGREGADO**

**JUAN CARLOS GAVIRIA**

jgavir15@eafit.edu.co

Departamento de Ingeniería Mecánica

**JAIRO DUQUE MORALES**

jduquemo@eafit.edu.co

Departamento de Ingeniería Mecánica

**ÁREA DE ÉNFASIS**

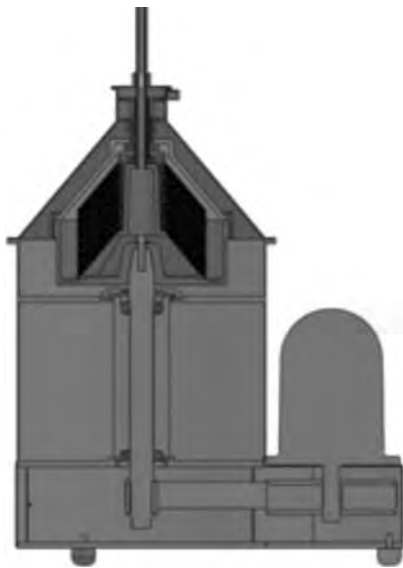
DISEÑO DE SISTEMAS TÉCNICOS

**ASESOR**

JORGE ADRIAN BUSTAMANTE

**SECTOR BENEFICIADO**

UNIVERSIDAD EAFIT



## **RESUMEN**

Este proyecto fue concebido teniendo en cuenta el componente social a fin de que las comunidades campesinas puedan servirse del mismo por medio de herramientas que permitan el tratamiento tecnológico de la leche, con el fin de obtener un producto de alto valor agregado. El alcance de este proyecto se extiende a una etapa inicial, de la que se obtiene leche UHT, y de la que se derivan otras fases necesarias para el desarrollo de la misma, tales son: La recepción y filtrado, el almacenamiento y refrigeración, desnatado, homogenizado y los tratamientos térmicos de la pasteurización. Para poder llevar a cabo esta primera etapa se define el objetivo principal como la definición de los equipos y las variables presentes en estos a fin de obtener un proceso continuo.

## **ABSTRACT**

This project was designed taking into account the social component so that rural communities can use the same tools by allowing the processing technology of milk, in order to obtain a product of high added value.

The scope of this project covers an initial phase, which is produced UHT milk, and the other phases arising necessary for the development of it, these are: The reception and filtering, storage and refrigeration, skimming, Homogenized and heat treatment of pasteurization. In order to undertake this first stage is defined as the main objective the definition of equipment and variables present in these in order to obtain a continuous process.

## **PALABRAS CLAVES**

Homogenización, Pasteurización, PDF filtración, Desnatado, estandarización, intercambiador.

## INTRODUCCIÓN

Este proyecto se deriva de la iniciativa del grupo de investigación "Diseño y desarrollo de productos y procesos" (DDP) de la universidad EAFIT, que tienen como propósito desarrollar tecnologías con cero emisiones y bajos consumos de energía aplicadas a la producción de diferentes productos. En este proyecto el grupo DDP aplica estas metodologías a la producción de productos lácteos bajo un marco social y buscando además, brindar a las comunidades campesinas una tecnología flexible y reproducible con la cual se pueda obtener mediante el procesamiento de la leche un producto de alto valor agregado como lo son la leche pasteurizada UHT, los quesos de baja maduración, la crema de leche, etc. Para lograr el objetivo propuesto el grupo plantea el diseño y construcción de una planta piloto en las instalaciones de la universidad EAFIT sede Llanogrande que sirva como sitio de entrenamiento y pruebas, para la comunidad. Esta planta debe servir de ejemplo para ser adaptada, copiada, mejorada o implementada por comunidades rurales de Colombia, bajo altos estándares de sanidad, bajos consumos de energía y cero emisiones.

Basados en la respuesta a la convocatoria Génesis Colciencias presentada por el DDP de la universidad EAFIT, se extrae de este documento los siguientes datos: En promedio los campesinos venden la leche a un precio de \$600/ litro, para ser pasteurizada y transformada en productos de mayor valor agregado. La leche pasteurizada en el mercado se comercializa a un precio aproximado de \$1500/ litro (variando de región en región, según marca, etc.). Para el campesino esta situación puede verse como una oportunidad de incrementar sus ingresos hasta un 150%, fracción que es aprovechada hoy en día por las grandes industrias procesadoras de leche. Esta situación se presenta por la ausencia y la imposibilidad de establecer plantas de baja capacidad altamente tecnificadas, que permitan en Colombia a estas comunidades incrementar sus ingresos mediante la venta de productos terminados de excelente calidad obtenidos por materias primas de bajo precio. Los modelos usados en países de alto nivel de tecnificación tales como Alemania, Holanda y Suiza sugieren cooperativas rurales para la producción de leche, que permite la interacción de los diferentes grupos

campesinos para la transformación y venta de productos lecheros de mayor valor agregado. Este proyecto pretende desarrollar las herramientas para la transformación de la leche que esté al alcance de pequeñas comunidades campesinas, con el fin de incentivar un desarrollo a nivel social, económico y educativo.

A fin de cumplir el objetivo propuesto de diseño de la planta piloto para el procesamiento de productos lácteos ha dividido el proceso de diseño en tres etapas principales las cuales se describen a continuación:

- Etapa 1: Leche Pasteurizada UHT, Nata, Mantequilla.
- Etapa 2: Yogurt, quesos sin madurar.
- Etapa 3: Quesos madurados.

El marco de este proyecto de grado es la Etapa 1, que involucra diferentes ítems discriminados de la siguiente manera:

- La recepción inicial de la leche cruda.
- Almacenamiento posterior.
- Desnatado y homogenizado.
- Tratamiento térmico de Pasteurización.
- Enfriamiento del producto final.
- Empaque y almacenamiento.

Las diferentes fases descritas con anterioridad se plasman en el diagrama de procesos descrito en la figura 1, que se explicada a detalle en el marco referencial. El proyecto de grado busca especificar los equipos necesarios para llevar a cabo dicho proceso. Bajo este punto de vista se debe llevar a cabo un estudio minucioso de los requerimientos técnicos y las variables que interviene en él vs., la maquinaria existente.

Con este análisis previo determinar los equipos que se pueden adquirir directamente en el mercado, modificar o redimensionar con el fin de adecuarlos a las condiciones predeterminadas del diseño. Al ser una planta de características especiales requerirá en algún momento del diseño de equipos o su reingeniería.

## PARÁMETROS EN EL PROCESO DE PASTEURIZACIÓN

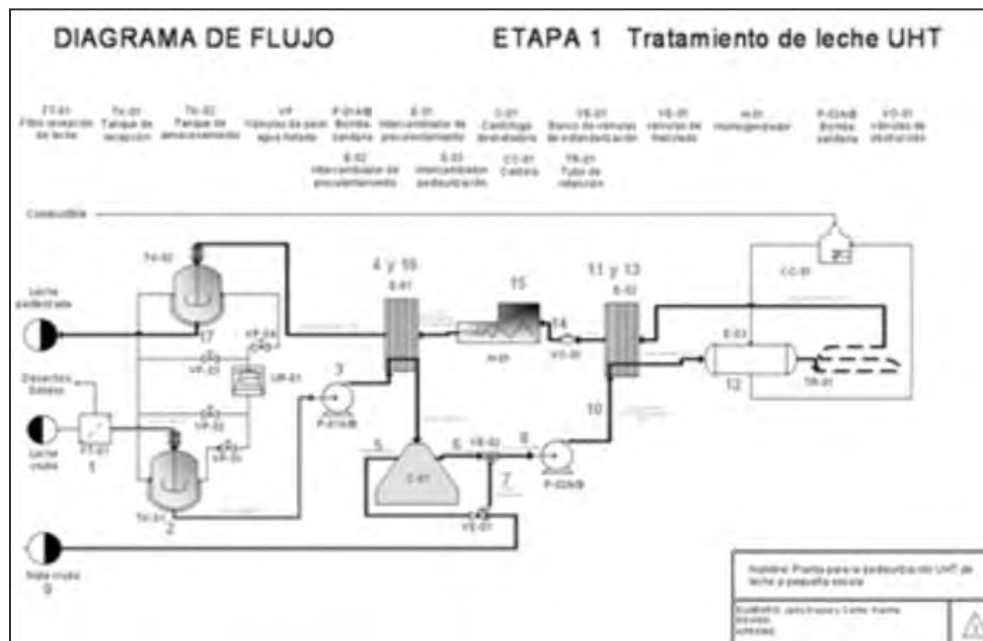
El objetivo principal del proyecto se refiere a la determinación de los parámetros involucrados en el proceso de pasteurización UHT, dichos parámetros se describen en la tabla 1, que relaciona estas variables con el diagrama de flujo de la planta y con el proceso. Se definieron las temperaturas y presiones de transporte del fluido en cada parte del proceso así como la composición del producto dentro de la línea, en tabla 1 se encuentran resumidos los parámetros del proceso.

La figura 1 se define como el diagrama de proceso de la planta UHT, este se encuentra enumerado en cada una de las etapas importantes del proceso, a fin de dar claridad y entendimiento. En el número 1, se encuentra la primera fase denominada recepción, en la cual incluye la limpieza y remoción de partículas sólidas en suspensión, con tamaños superiores a 0.4 milímetros por medio de un tamiz metálico, en esta etapa de retención se sedimentan sólidos contenidos en el producto provenientes del ordeño y la recolección.

TABLA 1. Presiones, temperaturas y composición

Punto	Presión (Bar)	Temperatura (°C)	flujo másico (KgHora)	Equipo	Producto
1	1	34	1032	Filtro	Leche cruda
2	1	4	1032	Tanque	Leche cruda
3	2	4	1032	Bomba 1	Leche cruda
4	2	55	1032	Intercambiador 1	Leche cruda
5	1	45	148,73	Desnatadora	Nata de leche
6	1	45	883,27		Leche Magra
7	1	45	88		Nata Estandarizada
8	1	45	971,3	Succión bomba 2	Leche Entera
9	1	45	60,7	Tanque de natas	Crema de Leche
10	4	45	971,3	Bomba 2	Leche Entera
11	4	110	971,3	Intercambiador 2	Leche Entera pasteurizada
12	4	135	971,3	Intercambiador 3	Leche Entera UHT
13	4	70	971,3	Intercambiador 2	
14	1	70	971,3	Válvula reguladora	
15	2	70	971,3	Homogenizador	Leche UHT partícula < 500 micrómetros
16	2	17	971,3	Intercambiador 1	Leche UHT
17	2	4	971,3	Tanque de PT	Leche UHT

FIGURA 1  
PFD, Diagrama de flujo del Proceso



El punto 2, define la etapa de almacenamiento, donde se dispone de un tanque de almacenamiento en acero inoxidable, enfriado mediante convección por salmuera que se encuentra en el enchaquetamiento, en PDF, se esquematiza el sistema de enfriamiento.

Posteriormente el fluido se transporta por medio de la bomba 1, que se define como una bomba de transporte, con una presión de 2 bares necesario para impulsar el fluido por las líneas de impulsión. En la fase 3, el fluido es transportado hasta el primer intercambiador para realizar el primer ciclo de calentamiento, hasta una temperatura óptima de 55°C para el desnatado.

La desnatadora mediante la acción de la fuerza centrífuga provee una presión necesaria para la salida del fluido, el fluido obtenido es leche magra, que pasara posteriormente en la etapa 7, a proceso de estandarización, que se define mediante la tabla 2.

En el número 8, se obtiene leche entera, con un porcentaje de grasa requerido, a una temperatura de 45°C, que se conduce por medio de una bomba 2 de transporte, que se conduce a un intercambiador de calor para incrementar

la temperatura a 100°C, en 11, luego se conduce a otro intercambiador en 12, de tubos y corazas para obtener una temperatura de 130°C, por medio de calentamiento indirecto por vapor saturado, en este punto el proceso se ha cumplido, ahora bastara restarle temperatura al fluido para conducirlo a la zona de almacenamiento, por esta razón el fluido vuelve a re circular nuevamente dentro de los intercambiadores para realizar intercambio térmico con el fluido que entra apenas en proceso, aprovechando la energía térmica del proceso ahorrando energía.

Finalmente el producto será almacenado en 16, o tanque de enfriamiento, donde se conservara a 4°C, hasta su posterior empaque.

El diagrama de proceso define el ciclo que ha recorrer el producto en cada una de sus etapas, uno de los objetivos propuestos en el trabajo de grado se refiere a la selección de cada uno de estos equipos involucrados, por ello se definirán y mostraran cada uno de los resultados, siguiendo los parámetros del proceso.

La salida de nata residual de proceso se almacena en el tanque de enfriamiento

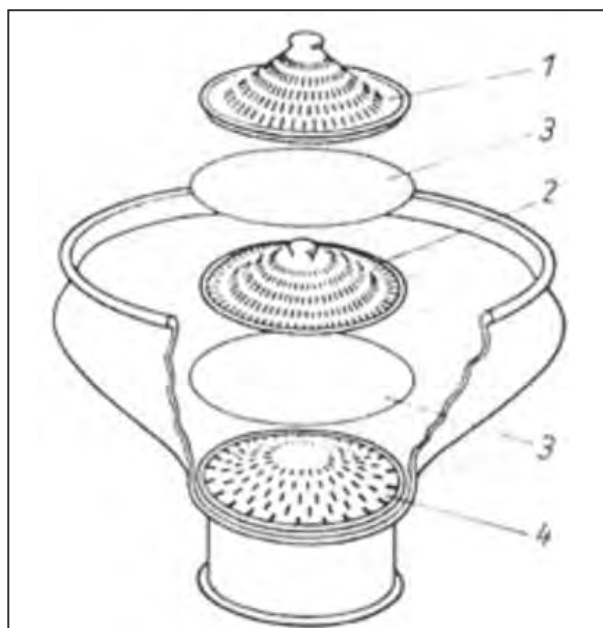
9, nata que queda para ser procesada en una etapa 2, propuesta como posterior a la etapa 1 y que sería un proyecto importante en un futuro.

## SELECCIÓN DE EQUIPOS DE PROCESO

### Filtración

La filtración se puede realizar de diversas maneras, dependiendo del nivel de suciedad esperado en la leche, en este proyecto el producto es recolectado en el mismo lugar de tratamiento por lo cual se espera que el nivel de contaminación no sea muy alto y este compuesto principalmente de sustancias orgánicas como coágulos de sangre y aglomerados de proteínas. Se emplea un filtro con malla número 50, figura 2, que retiene partículas con tamaños superiores a 0.4mm y armazón de fácil ensamble fabricado en acero inoxidable 304L.

FIGURA 2  
Mecanismo de filtrado



Aparato para filtrar la leche (sección):

1. Tamiz amortiguador.
2. Tamiz superior.
3. Filtro de algodón.
4. Tamiz interno.

Lactología industrial. 2da Edición. Editorial ACRIBIA, S.A. Zaragoza, España. Requisitos de la leche cruda. pág. 55.

## Refrigeración y almacenamiento

A temperatura ambiente las bacterias como las acidificantes mesófilas presentes en la leche después del ordeño, experimentan condiciones ideales para su reproducción exponencial, provocando alteraciones en la leche. A bajas temperaturas estas bacterias se inactivan y aunque no mueren su reproducción es inhibida. Procesos de pasteurización de mayor calidad y efecto germicida se obtienen al suministrar leches con poca población de bacterias lo cual se logra enfriando la leche a temperaturas inferiores a 4°C en el menor tiempo posible después del ordeño. SPREER, pag.55

Para lograr la reducción de la temperatura en la leche es necesario implementar una unidad de refrigeración, la cual emplea sustancias llamadas refrigerantes tales como amoníaco, freón, cloruro de etilo, entre otras. Todas ellas tienen la característica de ser muy contaminantes, por tal motivo siempre se recomienda centralizar el sistema de refrigeración en un lugar fuera de la planta y emplearlo para enfriar una salmuera, la cual se usa como vehículo para la energía térmica, por medio de un intercambiador de calor la salmuera absorbe energía del producto, en este caso de la leche, y la descarga en la unidad de refrigeración. El uso de un intercambiador de calor de tubos y coraza o placas paralelas puede brindar grandes rendimientos, pero exigen una alimentación continua y generalmente grandes cantidades de producción, características con las cuales no cuenta la planta de pasteurización que se desea en el presente documento. Los intercambiadores de calor de tanque con doble fondo brindan áreas grandes de transferencia, cumplen además la función de almacenamiento, son adecuados para suministro de leche en forma discontinua y su costo es muy inferior a los demás intercambiadores, por estas razones es el sistema más adecuado para la refrigeración y almacenamiento de la leche cruda y del producto terminado.

El tanque TK-01 referenciado en el PFD en la Figura 1, es empleado para almacenar y refrigerar leche cruda, a su vez, el tanque TK-02 almacena y refrigera el producto terminado. La unidad de refrigeración UR-01 suministra salmuera a 0°C.



El sistema seleccionado deberá satisfacer con los siguientes condiciones: capacidad en volumen 1000 Litros, máxima área de transferencia de calor y facilidad de construcción. Material Acero inoxidable (Cromo-níquel). Según los cálculos térmicos de la planta se requieren 5.9 toneladas de refrigeración.

La leche tarda más de hora y media para llegar a la temperatura de refrigeración, debe tenerse en cuenta que como máximo puede pasar cuatro horas después del ordeño antes de llevar la leche a la temperatura de refrigeración, entonces el productor no debe tardar más de dos horas antes de depositar la leche en el tanque semiesférico.

Una vez alcanzada la temperatura de refrigeración la unidad refrigeradora trabajara intermitentemente, solo lo suficiente para mantener la salmuera por debajo de 4°C y por encima de la temperatura de congelación de la leche, de este modo se busca que la chaqueta de salmuera mantenga la temperatura de refrigeración a pesar de la energía que gana el sistema del medio ambiente más cálido que lo rodea. La unidad de refrigeración debe ser de 5.9 toneladas de refrigeración lo cual equivale a la máxima potencia de transferencia de calor 20.78 Kj/s.

### **Sistema de bombeo**

En el tratamiento de los productos lácteos (leche y sus derivados), se exige que se tengan en consideración dos aspectos importantes como criterios de selección del sistema de bombeo:

- Tratamiento mecánico suave: Con el fin de evitar la desnaturalización de la leche debido a la baja resistencia al cizallamiento de los productos lácteos.
- Asepsia: Las partes en contacto con el producto deben ser fabricadas en acero al cromo-níquel o de algún material plástico con buenos acabados superficiales internos que cumpla con los estándares para la industria alimenticia. El equipo debe permitir un proceso de limpieza fácil, rápida y eficiente, que asegure la calidad del producto.

Adicionalmente se debe tener en cuenta algunos otros factores importantes en el diseño y selección de las líneas de bombeo, entre los que tenemos:

- Instalar el sistema de bombeo lo más cerca del tanque o de la fuente de donde se moverá el fluido, reduciendo en la mayoría de los casos la cantidad de accesorios usados, tales como codos, tramos cortos, válvulas, etc., en los cuales pueden haber pérdidas.
- En las líneas de impulsión, se puede usar una válvula para regular el caudal, posiblemente una de estrangulamiento y un válvula de tipo cheque, a fin de proteger la bomba de golpeteos o del retorno del líquido cuando ésta se para.
- Evitar presiones muy bajas en relación a la presión de vapor del líquido que se bombea en la línea de aspiración a fin de evitar el fenómeno de cavitación, lo que genera una carga baja y poca eficiencia, aunque los impeler de las bombas sanitarias son en acero resistente a la picadura por cavitación debe evitarse al máximo.
- Caudal a transportar: La leche de proceso centrifugada y estandarizada corresponde a 971.3 Kilogramos/hora, que representan 1005.3 litros/hora, ver tabla 1.
- Producto a manejar: Leche de proceso estandarizada.
- Viscosidad: para la leche entera promedio es de 2 centiposes.
- Temperatura: 45 C, según la carta de proceso.
- La densidad: La densidad de la leche entera es 1035 kilogramo/litros.

La bomba P-01 A/B se define como una bomba de transporte, del fabricante LEWA, de tipo higienic, en acero inoxidable, bomba dosificadora para desplazar un caudal superior a 16 lts/min mínimo a fin de extraer leche del tanque de almacenamiento TK-01, es posible utilizar la misma referencia para la bomba de presión P-02 A/B, la cual cumple la misma función de desplazamiento y adicionalmente debe proveer una presión mayor a 3.5 bares para evitar la evaporación del contenido acuoso de la leche. La bomba seleccionada puede proveer dicho caudal hasta una presión máxima de 5 bares.

La velocidad máxima recomendada para el transporte de productos lácteos es 2 m/s, se requiere un caudal de mínimo 16 lt/min o 0,00027 m<sup>3</sup>/seg , lo que requiere un diámetro de tubería de ¼ in, pero la bomba marca Lewa trae una conexión estándar para una tubería de 1 in, lo

que no es inconveniente ya que según Hanno-Karlz, se recomienda el uso de tuberías con diámetros mayores a los requeridos para que el aire que quede dentro de la línea, y no perjudique el proceso de desnatado. Ya que el producto no puede ir aireado, se debe evitar el aire se mezcle con el producto manteniéndolos como dos fluidos dentro de la línea separados.

## Pasteurizador

El objetivo final que se persigue es la destrucción completa de los gérmenes patógenos que en determinadas circunstancias están presentes en la leche y que pueden transmitir con gran facilidad enfermedades a personas y animales, pudiendo ocasionar verdaderas epidemias. Por esta razón está legalmente establecido que debe ser pasteurizada toda la leche que entre a una central.

El objetivo de este trabajo se enmarca claramente en la pasterización UHT. Este sistema conocido también como ultra pasteurización o esterilización a temperaturas ultra altas, aprovecha técnicamente los distintos factores Q10 de los microorganismos y de los componentes de la leche, mediante la aplicación de una temperatura muy elevada durante un tiempo de mantenimiento muy corto para obtener un efecto germicida muy alto que permite almacenar la leche sin refrigeración durante largos periodos de tiempo en recipientes adecuadamente esterilizados, sin mayores alteraciones químico-físicas en la leche que las obtenidas en pasterizaciones como la intermedia o la alta, y con una desnaturalización del 30% al 60% de las proteínas séricas.

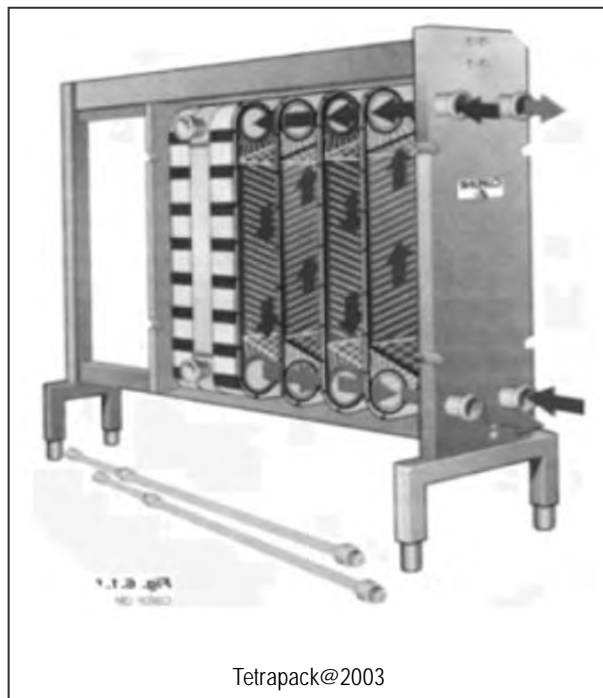
El tratamiento térmico de pasteurización UHT consiste en aumentar la temperatura de la leche hasta 135°C y sostenerla a esta temperatura por un tiempo entre 2 y 8 segundos, en la práctica dicho calentamiento se realiza por etapas para instalar sistema de recuperación de energía y para permitir la estabilización de las proteínas, de esta manera se reduce la formación de costras en las superficies internas de los aparatos, alargando así la vida útil de los mismos.

## Cálculos y dimensionamiento

Según los requerimientos. Para realizar el procedimiento de pasteurización UHT cumpliendo con todas las primicias antes mencionadas, se debe calentar la leche desde la temperatura de almacenado de 4°C hasta una temperatura de 135°C y luego sostenerla durante 4 segundos, pero no es practico realizar este calentamiento en una sola etapa.

En la primera fase del tratamiento previo de la leche es necesario además del tratamiento térmico de pasteurización, la separación centrifuga que se debe realizar idealmente a una temperatura de 55°C y la homogenización que se debe llevar a cabo a una temperatura ideal de 70°C después de la pasterización en el tratamiento UHT. Por esta razón es mas practico llevar a cabo este tratamiento térmico en tres intercambiadores de calor diferentes tal como se muestra en el PFD de la figura1, figura 3.

FIGURA 3  
Intercambiador de placas



Un requisito importante en cualquier planta comercial es la disminución de los costos de producción y especialmente en los últimos años el ahorro energético. El tener la posibilidad de llevar a cabo el calentamiento en tres

etapas diferentes nos permite pensar en recuperar parte de la energía empleada, precalentando la leche en los dos primeros intercambiadores con la energía extraída en el enfriamiento de la leche ya pasteurizada. Tomando en cuenta los argumentos anteriores, la planta debe contar con tres intercambiadores de calor, los cuales deben cumplir con diferentes requisitos.

El intercambiador de calor de recuperación I (E-01 en el PFD de la figura 1), debe calentar 1000 litros/hora de leche cruda de 4°C hasta 55°C con 971 Kilogramos/hora de leche entera estandarizada proveniente del Homogenizador a 70°C.

El intercambiador de calor de recuperación II (E-02 en el PFD de la figura 1), debe aumentar la temperatura de 971 Kilogramos/hora desde 45°C hasta 110°C con 971 kilogramos/hora de leche entera proveniente de la última etapa de la pasteurización a 135°C, el líquido calefactor debe salir del intercambiador a 70°C para realizar la homogenización, como ambos fluidos lácteos deben permanecer siempre en estado líquido para evitar cambios químico-físicos y organolépticos, ambos fluidos deben estar sometidos a una presión superior a 3.302 bares (330Kpa, 33.7 metros de agua, 48 psi). Estos dos intercambiadores deben de ser del placas paralelas para poder obtener las grandes superficies de transferencia de calor que se requieren para la recuperación energética, además permite ahorrar costos en estructura si ambos de ensamblan en una misma estructura y reducir pérdidas de calor.

El intercambiador de calor para el calentamiento final (E-03 en el PFD de la figura 1), debe aumentar la temperatura de 971 Kilogramos/hora, utilizando como agente calefactor vapor de agua saturado o húmedo, se emplea un intercambiador de calor de tubos y coraza el cual permite mayores velocidades y mayores presiones, lo cual facilita el calentamiento ultra alto.

No se emplearon métodos de calentamiento directo, por que generar vapor culinario no es económicamente viable para plantas de tan poca capacidad.

Análisis comercial de lo encontrado en la industria. En el mercado se pueden conseguir intercambiadores de placas

paralelas, tanques con doble fondo para calentamiento y refrigeración, intercambiadores de tubos y coraza, etc. Los cuales se pueden encontrar de fabricación nacional y extranjera. Inclusive podemos encontrar plantas completas para la pasteurización de la leche entregadas llave en mano. Para una planta con el nivel de producción de 1000 litros/hora, generalmente ofrecen tanques con doble fondo para llevar a cabo pasteurización de baja temperatura, esto se debe a varias circunstancias, las plantas de esta producción generalmente están dedicadas a procesar leche para derivados lácteos como quesos y yogures, este tipo de intercambiadores de calor les brinda la ventaja de poder realizar la pasteurización y refrigeración en el mismo sitio sin necesidad de bombas, permite realizar otros procesos en el mismo equipo, y además son los más económicos en inversión inicial aunque los menos eficientes, una planta completa con este tipo de pasteurizadores tiene un costo aproximado de \$180'000.000.

Para realizar una Pasteurización UHT, ofrecen estos tipos de intercambiadores de tanque para un calentamiento previo, junto con un intercambiador de tubo y coraza para realizar el calentamiento ultra alto, este tipo de plantas tiene precios cercanos a los 129.450 dólares (cotización TESSA).

Para cumplir los requerimientos de esta planta emplearemos como se menciono previamente, un intercambiador de calor de placas paralelas de dos etapas para la recuperación de calor, y un intercambiador de tubos y coraza para el calentamiento ultra alto. El primero puede adquirirse por algo más de 15.000 euros, empresas como Adinox en Colombia, y Tecnar en Argentina, ofrecen módulos para la pasteurización UHT que cumplen con estos requisitos, sin embargo los costos son elevados posiblemente por el alto grado de automatización con el que cuentan.

Los intercambiadores de placas son muy versátiles y además comunes en esta industria, por este motivo se decidió implementar uno, adaptado a los requerimientos. En Medellín se puede adquirir con representantes comerciales como "consequimos", "Westfalia", "FTM Representaciones industriales" o "EQUIGAN", quienes pueden ofrecerles intercambiadores de varias marcas entre las que se destacan "API schmidt-bretten", "Packo", "Tecnal SRL", "Alfa-Laval", entre otros.

El intercambiador de tubo y coraza se calculo y diseño para tener mayor control en sus características. Comprar uno ya existente para la pasteurización UHT es demasiado costoso (129.450 euros o 600.000 dólares), y comprar uno ya existente no diseñado para este fin, no asegura un buen sistema de limpieza y un adecuado control.

## Homogenizador

La homogenización es la reducción de tamaño de las partículas de tal forma, que las fases, distribuidas homogéneas o regularmente, de un líquido pasan a estar en un grado de distribución más elevado, estabilizándose así el estado de dispersión. En la industria Láctea se utiliza la homogenización esencialmente para reducir el tamaño de los glóbulos grasos, consiguiendo que todos tengan un diámetro uniforme de 0.5-1 micrómetros. En la Figura 12, muestra la imagen al microscopio de los glóbulos grasos en la leche sin homogenizar, la figura muestra la imagen al microscopio de los glóbulos grasos en la leche homogenizada, cada marca divisoria indica un micrómetro.

## Desnatado

Se propuso un diseño de desnatadora alterna, la características del sistema calculado son las siguientes:

Para el proceso de desnatado, se plantea el diseño inicial de una centrifuga y se propone un diseño alterno a los diseños comerciales, partiendo del principio funcional de estos equipos, el diseño cumple con las siguientes características:

- Centrifuga de discos entre 40 y 60 discos, con una separación entre discos entre 0.6 y 1mm.
- Ángulo de los discos separadores de 50°.
- Tazón y componentes en contacto con la leche en acero inoxidable 316L.
- Componentes estructurales y demás en acero A36 y acero inoxidable 304.
- Sistema soportado por zapatas en neopreno, para amortiguar las vibraciones del equipo.
- El sistema generara fuerzas centrifugas variables,

dependiendo de la velocidad de prueba.

- Se instalo un variador de frecuencia para dar un arranque suave, además de permitir un rango de operación entre 6000 y 7500 rpm.
- El sistema permite la separación de la leche y la nata en cámaras separadas que se pueden desarmar de manera progresiva a fin de permitir la higienización del equipo.
- La transmisión de potencia se realizara por poleas y bandas, lo que es una variación a los equipos comerciales para el desnatado de leche.
- Se definió un sistema de lubricación por grasa de alta penetración y untuosidad.
- Se propone un catalogo del equipo.
- Se seleccionan los rodamientos, de rodillos cilindricos y de 4 puntos de contacto, como los más adecuados para cumplir con la función.

## CONCLUSIONES

Para el tratamiento tecnológico de la leche para la obtención del grado UHT se determina que es necesario implementar los procesos (Implementados en el PDF).

Se hace necesario implementar un proceso de limpieza y depuración, del líquido entrante definido como leche cruda, la depuración se obtiene por medio de la filtración, se estableció que el equipo de filtración consistirá en una armazón y un tamiz o malla metálica, el filtro FT01 debe ser capaz de retener partículas sólidas de tamaños superiores a 0.4mm. y manejar un caudal de 1100 litros/hora. Para este procedimiento empleamos un filtro FL-mesh50-1100 fabricado por VIBRASEC S.A.

Tanque de almacenamiento TK01, según el estudio térmico y geométrico, que la mejor combinación de volumen-área de transferencia se cumple para un tanque cilíndrico de fondo esférico con una relación de  $H/D=1,2$  que para el volumen requerido se cumple con  $D=1020\text{mm}$  y  $H=1224$ , la agitación debe ser constante y muy suave sin que sobre pase el régimen laminar. La refrigeración se llevara a cabo por medio de salmuera a 0°C.

Para impulsar el fluido a través de la bomba Sanitaria, que trabajara a una presión por encima de los 4 bares (presión

necesaria para que no existe vaporación del contenido acuoso de la leche a 135°C, para un caudal 16 lt/min, equivalente a un procesamiento de 1100 lt/h.

Para llevar a cabo la Pasteurización, se requieren dos tipos de intercambiadores de calor, el primero de placas planas paralelas: Se define un intercambiador de recuperación de calor E-01 según la figura 1, que debe calentar 1000 lt/h de leche cruda de 4°C hasta 55°C, con 971 kilogramos /hora de leche estandarizada proveniente del Homogenizador a 70°C.

Un segundo intercambiador de calor de recuperación E-02, debe aumentar la temperatura de 971 kg/h de leche entera proveniente de la última etapa de la pasteurización a 135°C, el líquido calefactor saldrá a 70°C para realizar la homogenización, los fluidos deben estar sometidos a una presión superior a 3.302 bares. El intercambiador para la última etapa E-03 debe aumentar la temperatura de 971 kg/h, utilizando como agente calefactor vapor de agua saturada, por ello deberá ser de tubos coraza, según los cálculos mínimo se requieren 8 metros de tubo.

Se establece que el equipo de homogenización deberá cumplir con los siguientes parámetros: Caudal volumétrico 1000 lt/h, para una máxima presión de trabajo de 35 MP, se establece que el equipo deberá realizar el proceso en dos etapas una alta y otra de baja presión, a fin de obtener una homogenización adecuada, grado alimenticio, materiales no corrosivos, a nivel industrial este equipo estará oscilando entre los \$46.000.000 Millones de pesos.

## **BIBLIOGRAFÍA**

AMERICAN NATIONAL STANDARD, Design of Transmission Shafting. ANSI-ASME B106.1M-1985. Segunda impresión. New York. 1985.

EDGAR SPREER, Lactología Industrial. Leche Preparación y elaboración, Máquinas, instalaciones y aparatos, productos lácteos. Traducido de 6ª edición alemana por: Oscar Dignoes, Torres-Quevedo. Segunda edición. Zaragoza, España. Editorial ACRIBIA, S.A.

Eugene A. Avallone, Theodore Baumeister III. MARKS, Manual del Ingeniero Mecánico. Novena Edición. México. Mc-Graw Hill. ISBN.970-10-0661-5.

Hanno R. Lehman, Karl-Heinz Zettler. Centrifugas desnatadoras para la industria láctea. Cuarta edición, Olde, Alemania. Westafalia Separator AG, 1994.

# **ELABORACIÓN DE UN PROGRAMA DE MEJORAMIENTO PARA LA DIVISIÓN MP4 EN LA EMPRESA FAMILIA SANCELA S.A.**

**CAMILO RESTREPO MAYA**

crestr40@eafit.edu.co

Departamento de ingeniería mecánica

**DIEGO ALEJANDRO RÍOS OCAMPO**

driosoc2@eafit.edu.co

Departamento de ingeniería mecánica

**ÁREA DE ÉNFASIS**

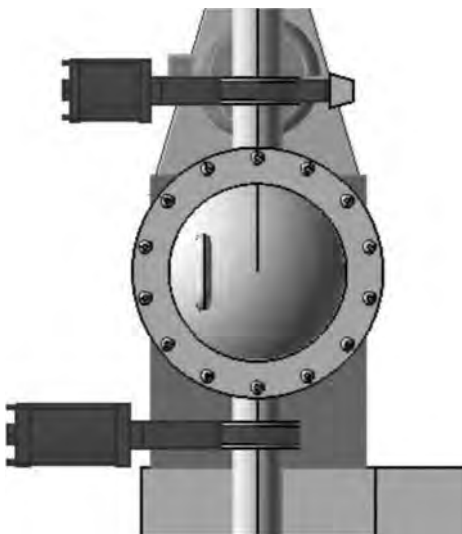
MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

**ASESOR PRINCIPAL**

JAIRO MOLINA MOLINA

**EMPRESA**

FAMILIA-SANCELA S.A.



## **RESUMEN**

Mejorar un proceso, significa cambiarlo para hacerlo más efectivo, eficiente y adaptable. A través del mejoramiento se logra ser más productivos y competitivos en el mercado al cual pertenece la organización.

Con este propósito de ser más productivos y competitivos, elaboramos como proyecto de grado un programa de mejoramiento que sea fácilmente aplicable para la división MP4 de la empresa FAMILIA-SANCELA S.A.

## **ABSTRACT**

Improve a process; means change it to make it more effective, efficient and adaptable. Through the improvement is achieved become more productive and competitive in the market that it belongs to the organization.

With this aim of being more productive and competitive, we developed a improvement program that is easily applicable to the MP4 division of the company FAMILIA-SANCELA S.A.

## **PALABRAS CLAVES**

Mejoramiento, codificación, PDA (personal digital assistant), estandarización, seguridad industrial.

## **KEY WORDS**

Improvement, coding, PDA (personal digital assistant), standardization, industrial safety.

## **INTRODUCCIÓN**

Este proyecto de grado describe el proceso utilizado para implementar un programa de mejoramiento en la división MP4 (máquina de papel #4) de la empresa FAMILIA SANCELA S.A; teniendo en cuenta sus condiciones y sus necesidades actuales.

Para el desarrollo de este proyecto, se toman varios frentes de la división, en los cuales se observó varias posibilidades de mejora; tales como: actualización de información técnica, manejo de información, estandarización del puesto del coordinador de información, seguridad para el área de trabajo y mantenimiento de algunos componentes.

Todo esto con el fin de aumentar la eficiencia de las actividades de producción de la división MP4; y que sea un programa fácil de replicar en otras divisiones.

## **ACTUALIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN**

Se revisaron y se complementaron la codificación de los equipos y componentes que pertenecen a línea de producción de papel MP4 con el fin de tener un historial actualizado de estos componentes y poder generar órdenes de mantenimiento específicas.

En los últimos meses, la planta ha venido introduciendo algunos cambios tales como: actualización de equipos, cambio de tuberías, y reubicación de tanques de químicos.

Por esta razón, se observa la necesidad de hacer una comparación y actualización entre la información existente en los planos y la codificación existente en planta para garantizar que la información este actualizada para cuando se necesite.

La división MP4 se encuentra estructurada en tres secciones: PP4 (planta de preparación de pasta), MP4 (máquina de papel) y RW4 (rebobinadora).

Debido a la humedad del lugar y a la pasta, algunas de las placas de codificación de estos equipos se encontraban muy deterioradas, tal como se muestra a continuación.

**FIGURA 1**  
Antes – después codificación



## **ACTUALIZACIÓN DE PLANOS Y DIAGRAMAS**

Se revisaron y se complementaron los diagramas de flujo y los Layout de la MP4 y PP4 con el propósito de mantener esta información actualizada y así poder disminuir el tiempo de búsqueda de algún componente cuando se requiera.

Durante las inspecciones realizadas, se encuentran que algunos planos no estaban actualizados como debería ser.

Además de esto, con el desarrollo del proyecto, se hacen cambios y actualizaciones en la división; lo que ameritaba la actualización de estos planos para garantizar que esta información siempre este actualizada, con el propósito de disminuir la posibilidad de errores y ubicar componentes de la línea fácilmente.

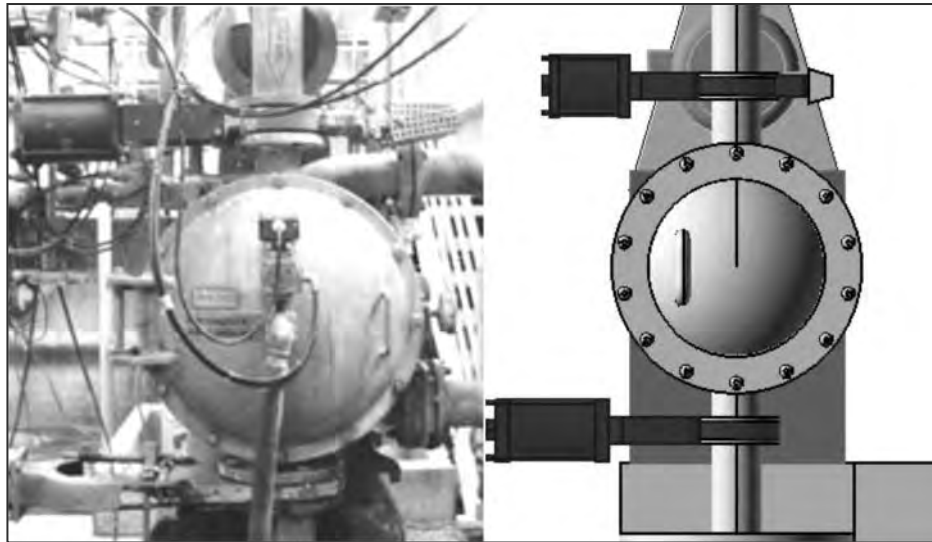
Para el desarrollo de los objetivos, se identifican componentes de la división que faltaban por codificar, se crean algunos códigos nuevos, y se añaden algunos que no se tenían actualizados en los planos. Además de las

codificaciones de los equipos, se encuentran y realizan cambios de ubicación de componentes de la división, como tanques de químicos y duchas de seguridad.

Se plantea la creación de diagramas de flujo resumidos de la PP4 y MP4, que estén ubicados en planta, con el fin de

que el personal se pueda ubicar fácilmente, y le permita encontrar componentes de una manera fácil. Para tal fin, se dibujan cada uno de los componentes requeridos en software especializado CAD; que permitan una fácil identificación de estos en los diagramas de flujo por parte del personal.

FIGURA 2. Componente diagrama flujo – diábolo

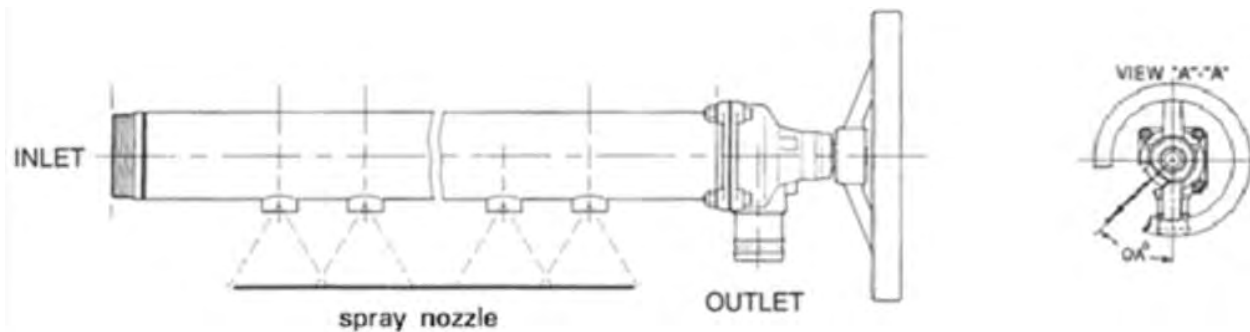


### DUCHAS DE LA MÁQUINA MP4

Se implementó un plan de mantenimiento para las duchas de la máquina MP4, con el fin de aumentar su eficiencia y su disponibilidad. Las duchas de la máquina de papel MP4, son los componentes encargados de limpiar las mallas y el fieltro, lubricar los rodillos e inyectar químicos. Dependiendo de su uso y ubicación, cambian las especificaciones y cantidades de las boquillas.

Estos componentes son de vital importancia para la máquina, ya que un buen estado de éstos, garantiza una buena calidad del papel, una buena durabilidad de los rodillos, y un consumo de agua y de químicos controlado.

FIGURA 3. Duchas de la máquina de papel



(SPRAYING SYSTEMS CO.)



Aprovechando un paro programado por mantenimiento de la MP4; se decide hacer una inspección directa sobre cada una de las duchas de la máquina, con el fin de generar una matriz de seguimiento, con la información completa y detallada de cada una de las duchas y de sus respectivas boquillas.

Para lograr esto, se contó con el proveedor de las boquillas, SPRAYING SYSTEMS CO; con quien se generó el listado de información de las duchas. La máquina de papel se puede dividir en dos zonas, la zona de formación en donde se encuentran las mallas uno y dos; y la zona de prensado en donde se encuentra el fieltro. Se realizaron estas inspecciones separando las duchas por las zonas mencionadas anteriormente.

### **IMPLEMENTACIÓN DEL PDA**

Se implementó un PDA, que permita almacenar el comportamiento de las variables del proceso, y tomar decisiones de una forma rápida y ágil. El proceso de creación del papel, posee muchas variables de las que dependen el correcto funcionamiento de los equipos de la División y la calidad del producto final. Con el fin de llevar un histórico de éstas variables y de los equipos, para así poder tomar decisiones rápidamente, se decide analizar todos los formatos que posee la división con el fin actualizarlos, eliminar los que en realidad no se necesiten y evitar la toma repetida de variables.

Para poder analizar el histórico de variables de una forma fácil y rápida, se implementará un PDA acompañado de software en Excel y Access; que almacene toda esta información y genere las bases de datos para cuando se requieran.

**FIGURA 4. PDA en prueba**



### **ESTANDARIZACIÓN DEL PUESTO DE COORDINADOR DE INFORMACIÓN**

Se crearon dos programas en Excel que permitan administrar de una manera ágil los consumos de producción, y a su vez que genere informes para la toma de decisiones por parte de los responsables; como paso previo a la implementación de éstos en el Módulo BW de SAP.

Los coordinadores de información son los responsables en la división de manejar y controlar los consumos de materia prima y químicos por producto y a su vez generar informes que permitan visualizar el comportamiento de los productos día a día, para tomar decisiones que ayuden a mejorar el proceso del papel.

En los últimos años los coordinadores fueron generando nuevos procedimientos y archivos que les ayudaran a cumplir sus funciones de una forma más eficaz y ágil, pero esto creó que los coordinadores fueran teniendo diferentes formas de trabajar y de entregar informes.

Todo esto hizo que los coordinadores dejaran de trabajar en equipo y que la compañía tuviera otra persona que conociera los dos puestos con el propósito de tener un reemplazo en casos de accidente o vacaciones, de esta forma la compañía garantizaba que el puesto siempre estaría en funcionamiento.

Ahora nuestra propuesta es la estandarizar el puesto de coordinadores de información con el propósito de ahorrar tiempo, generar informes más específicos, llevar un mejor control de los consumos de materia prima y químicos por producto y garantizar que esta actividad se cumpla a cabalidad solo con los coordinadores que dispone la compañía.

Para cumplir con este objetivo se analiza el trabajo de cada uno de los coordinadores por un periodo de 20 días, permitiendo tomar las mejores herramientas de trabajo de cada uno y adaptarlas para el funcionamiento de todos.

Para estandarizar el puesto se crearon dos archivos que son: archivo de control materia prima y químicos y archivo

de entradas y salidas, esto permite cumplir con el objetivo planteado.

## ELEMENTOS DE SEGURIDAD INDUSTRIAL

Se revisaron y complementaron los elementos básicos de seguridad industrial en la División MP4 y PP4, con el fin de garantizar un ambiente seguro al interior de la División. Entre los temas trabajados se encuentra el manejo de químicos, las duchas de seguridad, y botiquines de emergencia. La propuesta se desarrolla en las diferentes zonas de químicos de la división MP4, estaba encaminada a:

- Optimizar la seguridad laboral dentro de las instalaciones.
- Incentivar hábitos de aseo y orden que garanticen un ambiente de trabajo adecuado.
- Trabajar en pro de la correcta ubicación e identificación de los químicos.

Para tal fin fue necesario iniciar por un reconocimiento para identificar los químicos en la planta; lo que permitió conocer las condiciones actuales y la ubicación espacial dentro de la misma. Se identifican los químicos presentes en el proceso, y se priorizaron de acuerdo a su peligrosidad.

FIGURA 5. Codificación de tanques de químicos

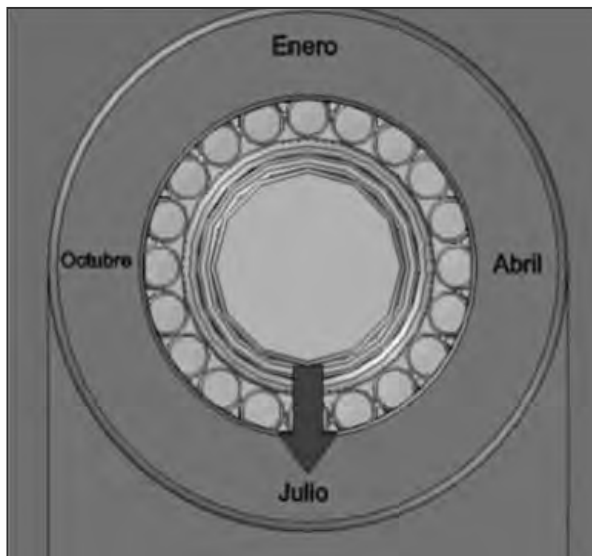


## RODILLOS DE REPUESTO

Se diseñó un método que garantice la rotación periódica de los rodillos en reserva para evitar fallas en los rodamientos debido a cargas puntuales. Los rodillos de la máquina MP4, pueden estar almacenados por periodos largos, lo que puede ocasionar daños en los rodamientos debido a vibraciones que se transfieren a un solo eslabón del rodamiento.

Estas vibraciones pueden desgastar la pista del rodamiento, y éste desgaste puede evolucionar rápidamente cuando se lleve este equipo a operación. Para prevenir este desgaste se propone crear un sistema que garantice que los rodillos tengan rotaciones periódicas, y así evitar el desgaste puntual en el rodamiento. Este sistema consiste, en la marcación de los rodillos con algunos meses del año, en su parte estática; y una flecha en su parte móvil que indica el mes en el que se encuentra. Este sistema permite visualizar de una forma clara y segura, la rotación periódica de los rodillos. Esta rotación será realizada por el personal de mantenimiento cada tres meses.

**FIGURA 6**  
**Sistema propuesto**



## CONCLUSIONES

Una correcta codificación de componentes, permite identificarlos fácil y rápidamente, llevar un histórico de cada uno de los mismos, y generar ordenes de trabajo con el propósito de garantizar su buen estado y funcionamiento; logrando así una mayor organización, productividad y eficiencia de la empresa.

Una de las formas de asegurar que el trabajo diario realmente aporte información valiosa para las demás áreas, y en general para toda la empresa, y sirva como herramienta fundamental para el mejoramiento continuo de la misma; es garantizando que este se realice de una forma fácil, segura, clara y que constantemente se retroalimente con base en las exigencias de la empresa.

La creciente necesidad de las empresas por mejorar su producción, disminuir los costos y hacerse más competitivas para poder mantenerse en el medio, hacen que la implementación de tecnologías como el PDA, se conviertan en una ayuda estratégica para lograr tales fines. Ya que permite generar históricos de una forma más accesible de las variables del proceso y por lo tanto tomar decisiones rápidamente. El paso a seguir es lograr que este sistema pueda ser fácilmente enlazado con SAP.

El levantamiento de las boquillas de las duchas de la MP4, y la actualización de la información técnica relacionada con las mismas, permite garantizar que los procesos de inspección, manipulación, compra y reposición de estas se lleven a cabo de una manera más organizada y controlada.

Cuando se dispone de normas de seguridad e higiene y elementos de control adecuados y suficientes; se pueden controlar y minimizar los efectos de los pequeños incidentes o accidentes que se producen al interior de una empresa.

El tiempo y el dinero que la empresa ha invertido en los elementos de seguridad industrial, en la rotulación y dosificación de los químicos, en la seguridad laboral, en las actividades de aseo y orden, entre otras, ha permitido disminuir algunos de los riesgos inherentes a la producción, generando un ambiente laboral más adecuado para el desempeño del personal.

Es importante que los cambios y mejoras realizados en la infraestructura de la empresa, sean documentados y registrados oportunamente, con el fin de garantizar que la información disponible para el personal esté siempre actualizada.

En general todas y cada una de las actividades realizadas por primera vez en la división MP4 requirieron un proceso de observación, análisis, diseño, cotización, fabricación, instalación y retroalimentación que permitió aprender, corregir errores a tiempo y garantizar un trabajo más duradero para la empresa. Basado en lo anterior, es válido afirmar que proyectos como este se pueden replicar fácilmente en la división MP3, y generar beneficios en un menor tiempo.

Debido al interés de Familia Sancela S.A. por continuar mejorando día a día, permanecen abiertas las puertas para que jóvenes universitarios desarrollen sus proyectos de grado, a partir de ideas novedosas y creativas; que fortalezcan el progreso de la empresa y el crecimiento integral de los estudiantes.

## BIBLIOGRAFÍA

FAMILIA SANCELA, Documentos técnicos, Medellín. 2008

HARRINGTON, H. James. Mejoramiento de los procesos de la empresa. Editorial Mc. Graw Hill Interamericana, S.A. México. 1993. p. 309. ISBN: 958-600-687-5.

HARRINGTON, H. James. Administración total del mejoramiento continuo. La nueva generación. Editorial Mc, Graw Hill Interamericana, S.A., Colombia. 1997. p. 506. ISBN: 970-10-0352-7.

MAGER STELLMAN, Jeanne. Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo. Ed. Chantal Dufresne, España. 2007. p.4720. ISBN: 9788434421233.

REY SACRISTAN, Francisco. Manual del mantenimiento integral en la empresa. FC Editorial, España. 2001. p. 27. ISBN: 9788495428189.

BERNABEU, Francisco. Equipos de emergencia en laboratorios. [Documento electrónico]. España: 2007 (Citada: 07 Octubre 2008) Disponible en: [www.uclm.es/organos/gerencia/servicioprevencion/documentacion/.../Emergencias%20lab-1\\_Duchas%20y%20lavoajos.pdf](http://www.uclm.es/organos/gerencia/servicioprevencion/documentacion/.../Emergencias%20lab-1_Duchas%20y%20lavoajos.pdf)

PIÑERO, Oren. Rotación operacional: mantenimiento proactivo. [Documento electrónico]. (Citada: 18 Octubre 2008) Disponible en: [www.tecnotest.com.ve/pdf/Mecanalis/01%20Rotacion%20Operacional.pdf](http://www.tecnotest.com.ve/pdf/Mecanalis/01%20Rotacion%20Operacional.pdf)

FAG. Ejecución de ejes y rodamientos. [Documento electrónico]. (Citada: 18 Octubre 2008) Disponible en: [http://medias.schaeffler.com/medias/es!hp.tg.cat.body/tg\\_rot\\*CHEIACID\\*SWLRKS#TG2](http://medias.schaeffler.com/medias/es!hp.tg.cat.body/tg_rot*CHEIACID*SWLRKS#TG2)

FAMILIA SANCELA S.A. [Documento electrónico]. (Citada: 11 Octubre 2008) Disponible en: [https://www.familiasancela.com/irj/portal/anonymous?guest\\_user=exusrsp](https://www.familiasancela.com/irj/portal/anonymous?guest_user=exusrsp)

LIENDO, Julio. Trabajo estandarizado. [Documento electrónico]. España: 2001 (Citada: 16 Octubre 2008) Disponible en: [http://www.gotasdeconocimiento.com/pdf/1\\_Sistemas/trabajo\\_estandarizado.pdf](http://www.gotasdeconocimiento.com/pdf/1_Sistemas/trabajo_estandarizado.pdf)

INFORSECURITEL. Documento electrónico]. (Citada: 28 Octubre 2008) Disponible en: [http://www.inforsecritel.eu/eu/default.php?cPath=4\\_416](http://www.inforsecritel.eu/eu/default.php?cPath=4_416)

MOLINA, José. Mantenimiento y seguridad industrial. [Documento electrónico]. España: 2001 (Citada: 10 Octubre 2008) Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos15/mantenimiento-industrial/mantenimiento-industrial.shtml>

PINILLOS, Javier. Higiene y seguridad industrial. [Documento electrónico]. España: 2007 (Citada: 11 Octubre 2008) Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos60/higiene-seguridad-industrial/higiene-seguridad-industrial.shtml>

SEXTO, Luis Felipe. Codificar ¿Para qué? [Documento electrónico]. España: 2007 (Citada: 12 Octubre 2008) Disponible en: <http://luisfelipesexto.blogia.com/2007/040201-codificar-para-que-.php>

STG. Emergency eye water wash and shower equipment. [Documento electrónico]. China: 2007 (Citada: 14 Octubre 2008) Disponible en: <http://www.a1898.com/pdf/ANSIZ358.1-2004.pdf>

SURATEP. Clasificación de productos químicos según la norma NFPA 704. [Documento electrónico]. Colombia: 2007 (Citada: 12 Octubre 2008) Disponible en: <http://www.suratep.com/index.php?option=content&task=view&id=312>

SURATEP. Señalización de tuberías. [Documento electrónico]. Colombia: 2007 (Citada: 15 Octubre 2008) Disponible en:

[http://www.suratep.com/index.php?option=com\\_content&ask=view&id=1025&Itemid=91](http://www.suratep.com/index.php?option=com_content&ask=view&id=1025&Itemid=91)

UNIVERSIDAD EAFIT. [Documento electrónico]. (Citada: 11 Octubre 2008) Disponible en:  
<http://www.eafit.edu.co/EafitCn/Ingenieria/Pregrados/IngenieriaMecanica/Index.htm>

WIKIPEDIA. PDA (personal digital assitant). [Documento electrónico]. (Citada: 18 Octubre 2008) Disponible en:  
[http://es.wikipedia.org/wiki/Computador\\_de\\_bolsillo](http://es.wikipedia.org/wiki/Computador_de_bolsillo)

# DISEÑO DE UN SISTEMA EXPERTO EN MANTENIMIENTO E IMPLEMENTACIÓN EN UN SISTEMA DE INGENIERÍA

DANIEL ESCOBAR VILLEGAS

descoba1@eafit.edu.co

Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS

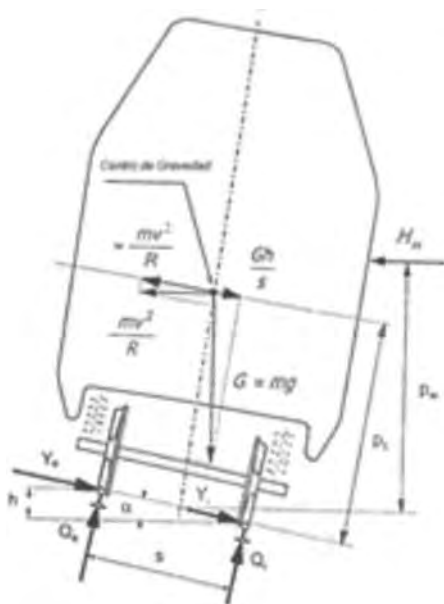
MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

ASESOR

RONALD MARTINOD RESTREPO

SECTOR BENEFICIADO

UNIVERSIDAD EAFIT



## RESUMEN

El documento presenta la investigación del proceso de diseño de un sistema experto para evaluar el índice de seguridad en marcha de vehículos ferroviarios según los criterios de Nadal y Chartet. En él se describe que son los sistemas expertos, sus componentes y aplicaciones. Se describe el objeto de estudio, el cual es un vehículo ferroviario y las fuerzas de interacción rueda riel. Se presentan los criterios de seguridad de Nadal y Chartet, ya que estos son los utilizados para la evaluación del criterio de seguridad en marcha del vehículo. Por último se describe el sistema experto y como se realiza la evaluación del vehículo para luego presentar los resultados bajo condiciones optimista y pesimista.

## PALABRAS CLAVE

Sistemas expertos, índice de seguridad en marcha, criterio de Nadal, criterio de Chartet.

## INTRODUCCIÓN

Los sistemas expertos son una rama de la inteligencia artificial que se encarga de emular el proceso de razonamiento humano para la solución de problemas específicos para los cuales fue programado, teniendo en cuenta los conocimientos previos adquiridos por expertos humanos y representados en el programa por medio de reglas.

El objeto de estudio de este trabajo es un vehículo ferroviario de la empresa Metro de Medellín y su interacción rueda-riel. El fin de este trabajo es la construcción de un sistema experto en mantenimiento y su aplicación en el índice de seguridad en marcha de vehículos ferroviarios.

## SISTEMAS EXPERTOS

Un sistema experto es un programa computacional que representa y razona con conocimientos de algún especialista en un tema específico, con el fin de resolver problemas o dar consejos.

### Componentes

- Un sistema experto está compuesto por :
- La base de conocimientos.
- Mecanismo de inferencia.
- Memoria de trabajo (base de hechos).
- Interfaces (con el usuario, con el desarrollador y con otros sistemas).

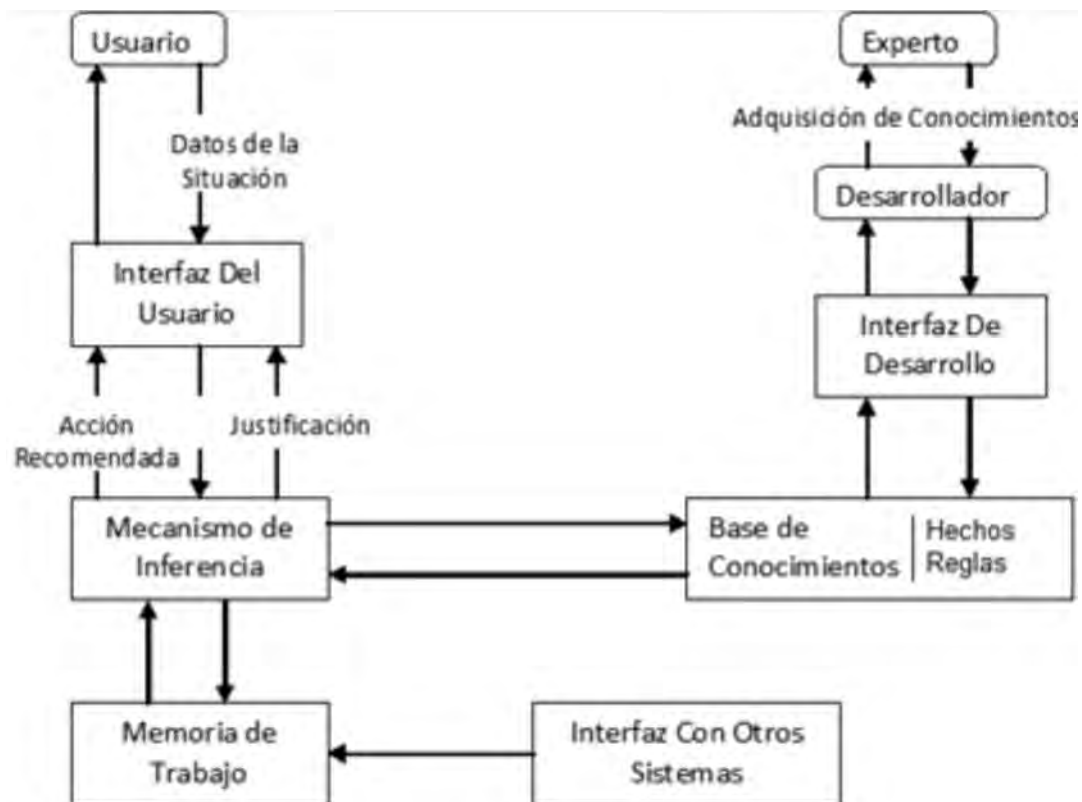
También puede tener un subsistema de explicación o justificador y un subsistema de aprendizaje. La estructura de un sistema experto se muestra en la Figura 1.

Base de Conocimientos: La información contenida en la base de conocimientos es una colección de normas que componen el conocimiento de un especialista en un área determinada.

En ellas esta todo lo necesario para comprender, formular y resolver el problema. Mientras más amplia sea la base de conocimientos, mayor capacidad tendrá el sistema experto para resolver problemas (JARAMILLO, VELÁSQUEZ, 1993, 7).

Mecanismo de Inferencia. También es llamado motor de inferencia, y es quizás la parte más importante de un sistema experto, ya que recorre todas las reglas que componen la base de conocimientos con el fin de solucionar un problema. Este hace inferencias al decidir cuales reglas satisfacen los hechos u objetos, da prioridad a las reglas satisfechas y ejecuta la regla de mayor prioridad (JARAMILLO, VELASQUEZ, 1993, 8).

FIGURA 1. Estructura sistema experto



Memoria de Trabajo: También es conocida como base de hechos, ya que en ella se mantienen los conocimientos activos. Allí se mantiene una parte de la base de conocimientos, reservada para la descripción del problema actual, tal como lo especifican los datos de entrada; también es utilizada para registrar resultados intermedios. (RESTREPO, 1993, 12).

Interfaces: Este componente hace posible la interacción entre varios tipos de entidades con el sistema experto. Las interfaces pueden ser de varios tipos:

Interfaz con el usuario: Maneja la relación directa entre el usuario y el sistema experto, presentándole preguntas para ayudar a la inferencia, o conclusiones que haya desarrollado el sistema así como algún tipo de explicación de cómo se llegó a esta conclusión, si el sistema cuenta con este módulo (JARAMILLO, VELASQUEZ, 1993, 9).

Interfaz con el desarrollador: Maneja la relación con el desarrollador del sistema para hacerle posible la actualización de la base de conocimientos o hacer mejoras al sistema. Interfaz con otros sistemas: Maneja la relación con otros sistemas como por ejemplo bases de datos, aplicaciones o hardware como sensores para la adquisición de datos (RESTREPO, 1993, 14).

Subsistema de Explicación: También se conoce como justificador y este se encarga de explicarle al usuario como se llegó a determinada conclusión, porque se llegó o no a esta o qué tipo de información adicional se necesita para garantizar la confiabilidad de los resultados (RESTREPO, 1993, 15).

Subsistema de Aprendizaje: Es un subsistema que permite al sistema experto mejorar sus conocimientos a partir de la experiencia, tal como lo haría un experto humano. Este lo hace analizando las razones de sus éxitos y fracasos para perfeccionar la base de conocimientos y así ser más eficaz y efectivo en el futuro. No muchos sistemas expertos comerciales cuentan con este subsistema de aprendizaje

por lo que su actualización se remite únicamente al desarrollador (RESTREPO, 1993, 15).

## **APLICACIONES**

Los sistemas expertos pueden ser utilizados en el mantenimiento preventivo y predictivo de sistemas de ingeniería en casos como el de la monitorización que consiste en la comparación continua de los valores de las señales o datos de entrada y unos valores que actúan como criterios de normalidad o estándares. En el campo del mantenimiento predictivo los sistemas expertos se utilizan fundamentalmente como herramientas de diagnóstico. Se trata de que el programa pueda determinar en cada momento el estado de funcionamiento de sistemas complejos, anticipándose a los posibles incidentes que pudieran acontecer.

Mayormente en la industria se utilizan los sistemas expertos como herramientas de diagnóstico para detectar fallos incipientes en máquinas. En sistemas rotativos los sistemas expertos se están utilizando para monitorear variables tales como vibraciones, temperatura de cojinetes, presión de lubricación, consumo de energía, gases de combustión etc.

## **OBJETO DE ESTUDIO**

El objeto de estudio de este trabajo es un vehículo ferroviario y su interacción rueda-riel.

### **Vehículo ferroviario**

La estructura de los coches de cada unidad está formada por dos coches motores en los extremos denominados "A" y "B", con una construcción casi idéntica, los cuales cuentan con cabina para conductores; y un coche remolque "R" intermedio el cual no tiene accionamiento (MARIN, 2006, 8) (Véase Figura 2). Las características del vehículo se muestran en la Tabla 1.



FIGURA 2. Dimensiones generales del vehículo



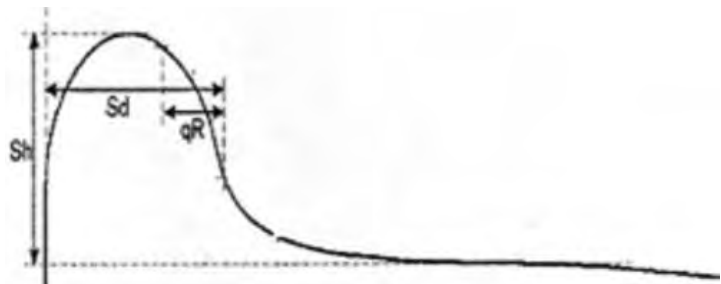
TABLA 1. Características básicas de la unidad

TIPO	VEHICULO BIDIRECCIONAL ARTICULADO
Bogie motor	4
Bogie portador	2
Ancho de vía	1435 mm
Altura del coche desde el riel al techo	3,8 m
Ancho exterior del coche	3,2 m
Longitud del coche sobre los enganches	22 860 (coche motor)
	22.760 (coche remolque)
Tensión de catenaria	1500 v.c.c +20%-30%
Tensión auxiliar	110 v.c.c batería
	3x220 V 60 hz. Convertidor
	3x440 V 60 hz. Convertidor
Tipo	Vehículo bidireccional articulado
Tracción	4 motores de tracción perpendiculares a ejes.
	Cada motor impulsa un eje de un bogie
Potencia del motor	205 KW (permanente)
Razón de transmisión	5.95 : 1 = Z1/Z2 = 119/ 20 : 1
Diámetro de las ruedas	850 mm (nueva)
	800 mm (desgastada)
Velocidad máxima de servicio	80 Km/h

## DESCRIPCIÓN DE LA RUEDA

Las ruedas son la parte fundamental que hace contacto con el riel para así producir la interacción rueda-riel. La superficie de la rueda que interactúa con el riel, se denomina perfil de rueda. En la Figura 3 se muestran los parámetros de las ruedas.

FIGURA 3. Parámetros del perfil de rueda



Manual de mantenimiento Metro de Medellín.

Donde  $S_d$  es el espesor de la pestaña de la rueda;  $Q_r$  es la escarpadura de la pestaña de la rueda;  $S_h$  es la altura de la pestaña de la rueda. Para hallar el ángulo de la pestaña  $\delta$ , se toman los valores medidos de  $S_h$  y  $Q_r$  y se toma la tangente inversa.

$$\tan^{-1}\left(\frac{S_h}{Q_r}\right) = \delta \quad (1)$$

Estos parámetros son independientes del perfil de rueda que se utilice.

### Fuerzas de Interacción Rueda-Riel

Estas fuerzas pueden ser de tres tipos: verticales, axiales y longitudinales, y estas a su vez se pueden clasificar como cuasi-estáticas y dinámicas. Las fuerzas cuasi-estáticas pueden ser causadas por: la carga del vehículo; fuerzas centrífugas en curvas, transiciones y cambiavías; vientos cruzados.

Las fuerzas dinámicas pueden ser debidas a: irregularidades verticales y horizontales en pista; irregularidades en la rigidez de la vía debido a variabilidades en el balasto; discontinuidades en soldaduras y uniones; defectos en el vehículo como planitudes en ruedas y vibraciones naturales.

Adicionalmente los efectos de la temperatura en la vía pueden causar fuerzas considerables a tensión y compresión que pueden resultar en pandeo del riel (ESVELD, 2001, 57).

Para este artículo sólo se consideraran las fuerzas axiales y verticales.

### Fuerzas Verticales

La fuerza vertical sobre el riel es causada por los siguientes componentes (Véase Figura 4):

$$Q_{Tot} = (Q_{estat} + Q_{cent} + Q_{viento}) + Q_{din}$$

Donde:

$Q_{estat}$ : Carga estática de la rueda (1/2 de la carga estática por eje)

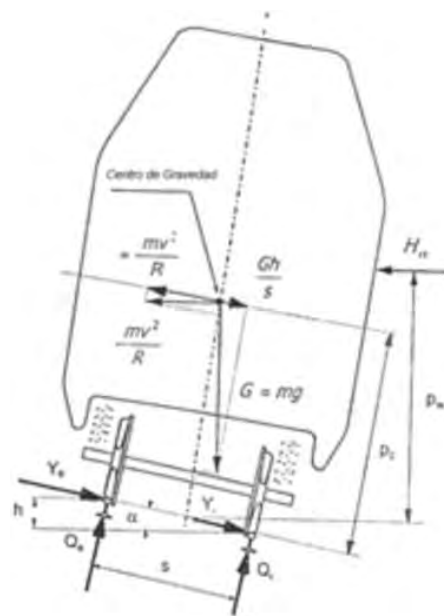
$Q_{cent}$ : Incremento de carga en el riel exterior debido a curvas.  $Q_e$  en la Figura 4.

$Q_{viento}$ : Incremento de la carga estática en el riel contrario a la aplicación de la fuerza debido a vientos cruzados.

$Q_{din}$  = Carga dinámica causada por: masas suspendidas, masas no suspendidas, corrugaciones en la vía, soldaduras y planitud en las ruedas.

Del equilibrio de fuerzas que actúan sobre el vehículo (Véase Figura 4), se puede deducir la siguiente fórmula para cada rueda en un pequeño ángulo de peralte (ESVELD, 2001, 58).

FIGURA 4  
Fuerzas cuasi-estáticas del vehículo en una curva



ESVELD, 2001, 58

Fuerzas verticales estáticas y centrífugas sobre el vehículo:

$$Q_{estat} + Q_{cent} = G \frac{P_c \cdot h_d}{s^2} + H_w \frac{P_w}{s}$$

Donde  $h_d$  es la deficiencia de peralte calculada con la siguiente fórmula:

$$h_d = \frac{s \cdot v^2}{g \cdot R} - h$$

Donde  $G$  es el peso del vehículo por juego de ruedas;  $H_w$  es la fuerza puntual ejercida por el viento cruzado,  $s$  es el ancho de la pista;  $v$  es la velocidad;  $g$  es la aceleración de la gravedad;  $R$  es el radio de la curva;  $h$  es el peralte;  $P_c$

es la distancia al centro de gravedad;  $P_w$  es la distancia de la fuerza resultante lateral del viento (ESVELD, 2001, 58).

### Fuerzas Axiales

La fuerza lateral total de la rueda tiene varios componentes (Véase Figura 4).

$$Y_{\text{tot}} = (Y_{\text{pestaña}} + Y_{\text{cent}} + Y_{\text{viento}}) + Y_{\text{din}}$$

Donde:

$Y_{\text{pestaña}}$  = Fuerza lateral ejercida por la pestaña de la rueda en el riel exterior.  $Y_e$  según Figura 4.

$Y_{\text{cent}}$  = Componente lateral de la fuerza centrífuga.

$Y_{\text{viento}}$  = Componente lateral de la fuerza ejercida por los vientos cruzados.

$Y_{\text{din}}$  = Componente lateral de la fuerza dinámica; en vía tangente es primordialmente debido al fenómeno de hunting.

Si se asume que  $Y_{\text{cent}}$  y  $Y_{\text{viento}}$  actual totalmente en el riel exterior, del equilibrio de fuerzas por juego de ruedas considerado en la Figura 4 se obtiene:

$$Y_{e\_Max} = G \frac{hd}{s} + Hw$$

La fuerza lateral en la vía  $Y$ , se puede asumir como la suma de todas las fuerzas  $Y$ , multiplicadas por un factor de amplificación debido a fuerzas dinámicas.

$$Y = DAF * (G \frac{hd}{s} + Hw)$$

Donde DAF es el factor de amplificación debido a fuerzas dinámicas (ESVELD, 2001, 60).

## ÍNDICE Y CRITERIOS DE SEGURIDAD EN MARCHA DE VEHÍCULOS FERROVIARIOS

Los descarrilamientos debidos a la pérdida de la guía lateral en la interface rueda-riel, se pueden clasificar en cuatro causas principales: escalamiento de la pestaña de la rueda, ampliación en el ancho de la pista, deflexión lateral del riel y movimiento lateral del riel (IWNICKI, 2006, 212). Para efectos de este trabajo, solo se consideraran los descarrilamientos por escalamiento de pestaña, ya que

estos son los directamente relacionados con la interface rueda riel, los otros son debidos a las condiciones de la pista.

### Escalamiento de Pestaña

Los descarrilamientos de escalamientos de pestaña son causados por el escalamiento de la rueda sobre el riel, para luego seguir moviéndose por encima del riel. Estos descarrilamientos generalmente ocurren cuando la rueda experimenta una alta fuerza lateral en combinación con situaciones donde la fuerza vertical sobre la pestaña es reducida.

Las altas fuerzas laterales son inducidas usualmente por un alto ángulo de ataque de las ruedas. La fuerza vertical sobre la pestaña puede ser reducida significativamente en bogies que experimentan mala ecualización de la fuerza vertical en situaciones como pistas defectuosas, curvas, o cuando el vehículo experimenta resonancias al rodar. El escalamiento de pestaña generalmente ocurre en curvas. Las ruedas en el riel exterior, experimentan una relación de fuerzas laterales a verticales ( $Y/Q$ ) la cual esta principalmente relacionada con:

- Radio de la curva.
- Perfiles de la rueda y el riel.
- Características de la suspensión del bogie.
- Velocidad del vehículo.

Estos factores se combinan para generar un ángulo de ataque, el cual genera una fuerza lateral en curvas. Un bogie desalineado (nivel de alineación por fuera del rango admisible) tiende a inducir mayores ángulos de ataque. Además, cualquier irregularidad o discontinuidad dinámica en la pista pueden influir en un incremento adicional de la relación  $Y/Q$  en la rueda. Cuando esta relación ( $Y/Q$ ) excede el límite que la rueda puede sostener, ocurre el escalamiento de pestaña.

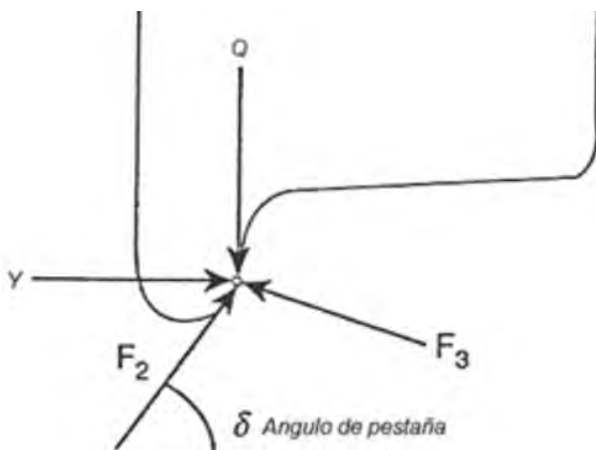
### Criterios de seguridad para el escalamiento de pestaña

El descarrilamiento producido por el escalamiento de la pestaña de la rueda ha sido investigado alrededor del

mundo por acerca de 100 años. Varios criterios de seguridad han sido propuestos, los cuales han sido aplicados por ingenieros como guía para certificaciones de seguridad en pruebas de vehículos (IWNICKI, 2006, 214).

Criterio de limite Y/Q para una rueda de Nadal: Nadal estableció la fórmula original para limitar la relación Y/Q para disminuir el riesgo de descarrilamiento (IWNICKI, 2006, 214). Esta fórmula se deduce a partir de un equilibrio de fuerzas en el punto de contacto de la pestaña (Véase Figura 5).

FIGURA 5. Fuerzas en el punto de contacto de la pestaña



IWNICKI, 2006, 213

$$\frac{Y}{Q} = \frac{\tan \delta - \mu}{1 + \mu \tan \delta}$$

Si se usa el ángulo máximo de contacto, esta ecuación da la relación mínima Y/Q a la cual ocurriría el descarrilamiento para este ángulo y un coeficiente de fricción  $\mu$ . En otras palabras, por debajo de este valor, no ocurrirá descarrilamiento por escalamiento de pestaña (IWNICKI, 2006, 215).

Criterio de Chartet: Un refinamiento práctico de la teoría de Nadal ha sido publicado por Chartet. Para analizar las fuerzas en equilibrio, en el momento inicial del descarrilamiento, Chartet considera la fuerza de diseño en la rueda que no descarrila del mismo eje, a demás de la rueda que descarrila.

El encontró que independientemente del aseguramiento, que el coeficiente de descarrilamiento continúa con el límite del valor Q, no debería caer debajo de cierto mínimo valor. Este valor es 40% de la carga nominal de la rueda, donde la carga nominal de rueda es la mitad de la carga del eje, en otras palabras la rueda descargada no debería ser mayor al 60%.

## SISTEMA PARA EVALUAR EL ÍNDICE DE SEGURIDAD EN MARCHA DE VEHÍCULOS FERROVIARIOS SEGÚN EL CRITERIO DE NADAL Y CHARTET

### Descripción del Sistema

El sistema experto evalúa la condición de la pestaña de la rueda, obteniendo el ángulo de la rueda de datos ingresados por el usuario y diciendo si este se encuentra en un valor admitido que no ponga en riesgo la seguridad del vehículo ferroviario. En caso de que este ángulo no esté en un valor admisible, el sistema da recomendaciones sobre procedimientos a realizar para que la rueda se encuentre en condiciones de operación segura.

El sistema también evalúa el coeficiente de fricción rueda-riel obtenido del usuario y da recomendaciones dependiendo de su estado. Utilizando el criterio de Nadal, el sistema halla la relación Y/Q teórica con la Ecuación 9 y según su valor, emite juicios acerca de su estado y da recomendaciones sobre como incrementar su valor.

$$\frac{Y}{Q} \text{ teo} = \frac{\tan \delta - \mu}{1 + \mu \tan \delta}$$

La relación Y/Q real se halla con datos de la fuerza lateral y vertical obtenidos del usuario para luego ser comparada con la relación Y/Q teórica y dependiendo de su estado, el sistema emite juicios y da recomendaciones. En caso de que la relación real sea menor que la teórica, el sistema da un porcentaje de seguridad que se tiene frente al riesgo de descarrilamiento. En caso contrario, el sistema emite recomendaciones sobre como incrementar la seguridad en el vehículo. El sistema también evalúa la seguridad del

vehículo según el criterio de Chartet, tomando el valor teórico de la fuerza vertical  $Q$  y comparándolo con la fuerza  $Q$  experimental, si esta última es menor que el 60% de la teórica, el sistema emitirá una alarma.

FIGURA 6. Entradas y salidas del sistema

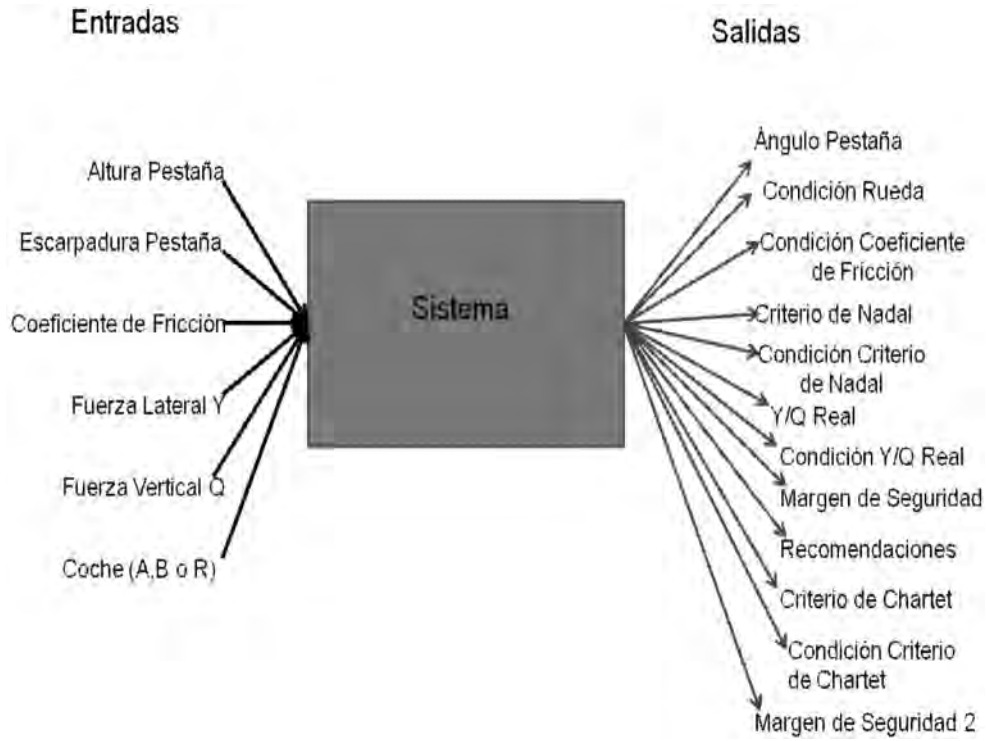
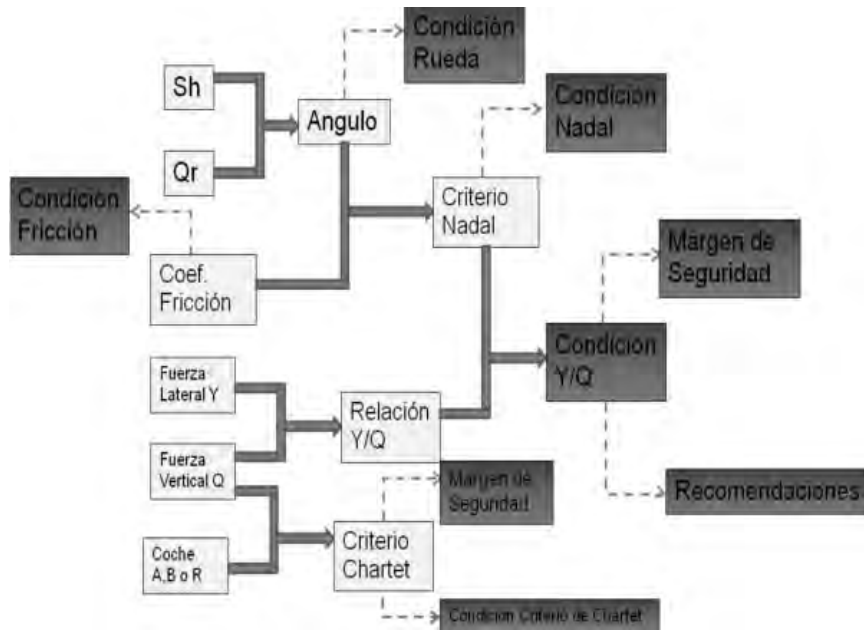


FIGURA 7. Diagrama de flujo de información del sistema

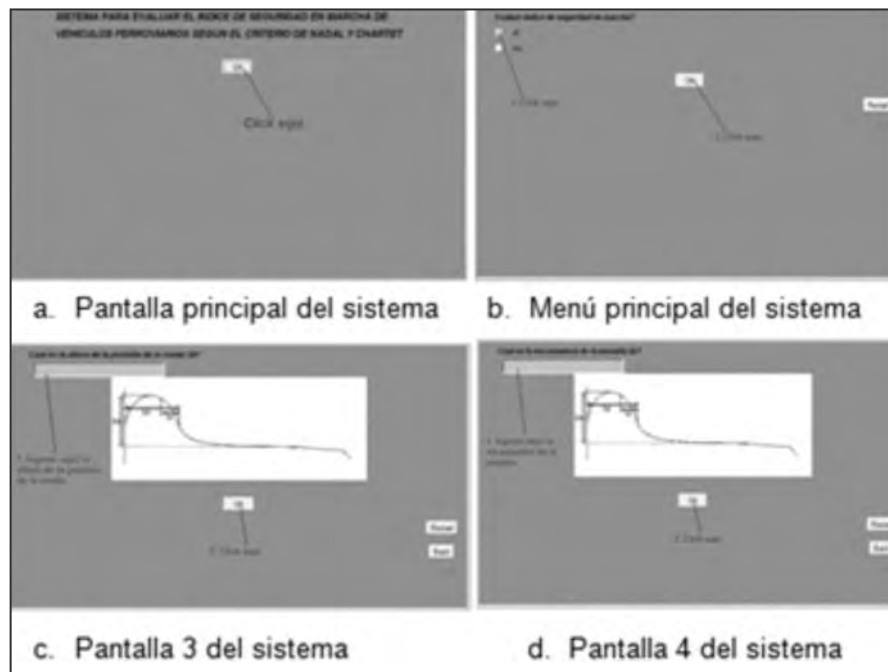


## Evaluación del Índice de Seguridad Mediante un Sistema Experto

Se alimenta el sistema experto con los datos de entrada y de esta manera se configura. Se definen los siguientes pasos a seguir para realizar la evaluación del índice de seguridad en el vehículo ferroviario objeto de estudio. A continuación se describirán los pasos de ejecución del sistema:

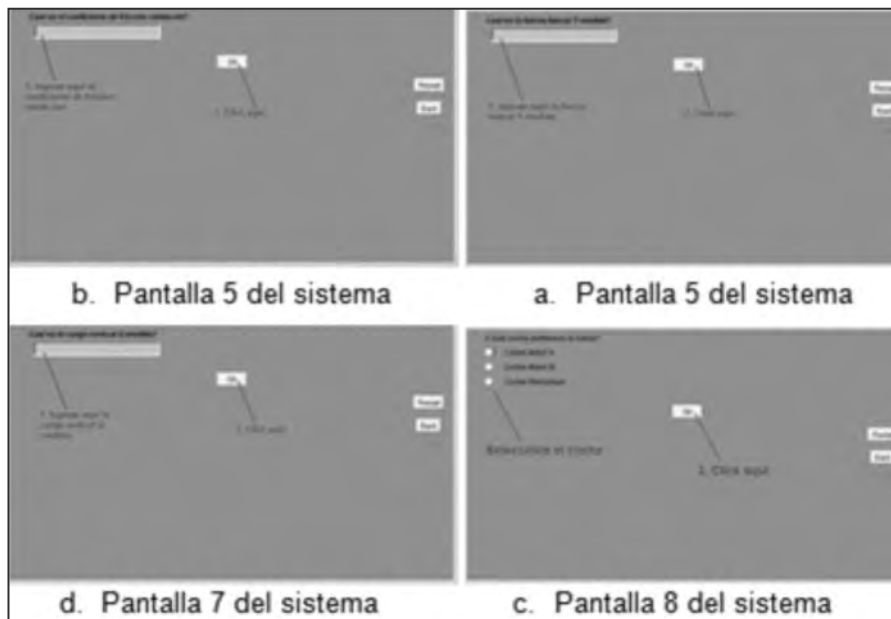
- **Paso 1:** Pantalla de presentación del sistema. Pulse ok para continuar (Véase Figura 8-a).
- **Paso 2:** Menú del sistema. De click en sí y luego en ok para continuar (Véase Figura 8-b).
- **Paso 3:** Ingresar la altura de la pestaña de la rueda. Pulse ok para continuar (Véase Figura 8-c).
- **Paso 4:** Ingresar la escarpadura de la pestaña de la rueda. Pulse ok para continuar (Véase Figura 8-d).

FIGURA 8. Primeros 4 pasos del sistema



- **Paso 5:** Ingresar el coeficiente de fricción rueda-riel. Pulse ok para continuar (Véase Figura 9-a).
- **Paso 6:** Ingrese la fuerza lateral Y medida experimentalmente. Pulse ok para continuar (Véase Figura 9-b).
- **Paso 7:** Ingrese la carga vertical Q medida experimentalmente. Pulse ok para continuar (Véase Figura 9-c).
- **Paso 8:** Seleccione a que coche pertenece la rueda. Pulse ok para continuar (Véase Figura 9-d).

FIGURA 9. Segundos 4 pasos del sistema



### Presentación de Resultados

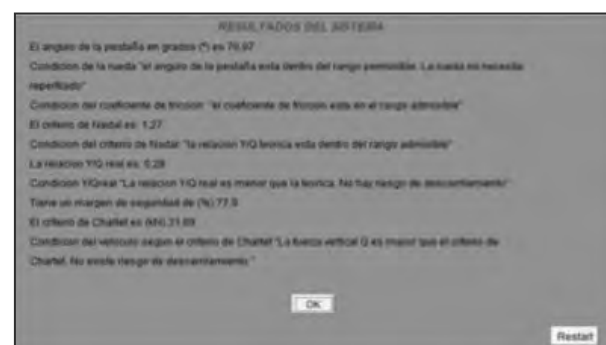
A continuación se presentaran dos escenarios con el fin de comparar el índice de seguridad bajo dos condiciones: uno con condiciones optimistas y otro con condiciones pesimistas.

Resultados Bajo Condiciones Optimistas: El siguiente escenario se realiza con condiciones optimistas y muestra unos resultados en los cuales el vehículo no se encuentra en riesgo de sufrir descarrilamiento (Véase Figura 10). Los parámetros utilizados para ejecutar el sistema bajo este escenario son los siguientes: Sh (Altura de la pestaña): 29 mm; Qr (escarpadura de la pestaña): 10 mm; Coeficiente de fricción  $\mu$ : 0.35; Fuerza lateral Y medida: 18.39 kN; Carga vertical Q medida: 65.75 kN.

Bajo las condiciones mencionadas anteriormente, en la Figura 10, se puede observar que el ángulo de la pestaña es de 70.97°, lo cual según los criterios anteriormente mencionados indica que la rueda está en buenas condiciones y no necesita reperfilado. El coeficiente de fricción ingresado de 0.35 está en el rango admisible. El criterio de Nadal según el ángulo de la pestaña obtenido, y el coeficiente de fricción ingresado, da un valor de 1.27,

el cual según la teoría esta dentro del rango admisible. La relación Y/Q real obtenida a partir de las fuerzas ingresadas, da un valor de 0.28 la cual es menor en un 77,9% que la teórica el cual es el margen de seguridad que se tiene bajo estas condiciones. El criterio de Chartet da un valor de 31.69 kN, el cual es menor que la carga vertical Q ingresada de 65.75 kN, lo cual indica que no existe riesgo de descarrilamiento según este criterio.

FIGURA 10  
Pantalla de resultados bajo condiciones optimistas



Al evaluar el vehículo bajo estas condiciones según los criterios de Nadal y de Chartet, se concluye que este está en buenas condiciones en cuanto al índice de seguridad en marcha y no existe riesgo de descarrilamiento.

Resultados Bajo Condiciones Pesimistas: El siguiente escenario se realiza bajo condiciones pesimistas y muestra unos resultados en los cuales el vehículo se encuentra en riesgo de sufrir descarrilamiento (Véase Figura 11).

Los parámetros utilizados para ejecutar el sistema bajo este escenario son los siguientes: Sh (Altura de la pestaña): 25 mm; Qr (escarpadura de la pestaña): 11 mm; Coeficiente de fricción  $\mu$ : 0.5; Fuerza lateral Y medida: 30 kN; Carga vertical Q medida: 29 kN.

Bajo las condiciones mencionadas anteriormente, en la Figura 11, se puede observar que el ángulo de la pestaña es de 66.25°, lo cual según los criterios anteriormente mencionados indica que el ángulo de la rueda se encuentra por fuera del rango admisible y necesita ser reperfilado hasta obtener un ángulo de 70°. El coeficiente de fricción ingresado de 0.5 está muy alto, por lo tanto se debe suavizar la superficie hasta obtener un coeficiente de fricción mínimo de 0.35. El criterio de Nadal según el ángulo de la pestaña obtenido y el coeficiente de fricción ingresado, da un valor de 0.83, el cual según la teoría es muy bajo por lo tanto se debe reperfil la rueda hasta obtener un ángulo de 70° y suavizar las superficies de esta hasta obtener un coeficiente de fricción de 0.35. La relación Y/Q real obtenida a partir de las fuerzas ingresadas, da un valor de 1.03 la cual es mayor que el criterio de Nadal e indica que el vehículo evaluado se encuentra en riesgo de descarrilamiento, por lo tanto se deben aumentar las cargas verticales Q o disminuir las fuerzas laterales Y. El criterio de Chartet da un valor de 31.69 kN, el cual es mayor que la carga vertical Q ingresada de 29 kN, lo cual indica que el vehículo se encuentra en riesgo de descarrilamiento según este criterio.

Al evaluar el vehículo bajo estas condiciones según los criterios de Nadal y de Chartet, se concluye que este está en riesgo de sufrir descarrilamiento.

FIGURA 13  
Pantalla de resultados bajo condiciones pesimistas



## CONCLUSIONES

Los sistemas expertos se encargan de llevar los conocimientos de un especialista en alguna materia, a una planta o instalación, que por motivos externos, no puedan tener disponibilidad de este a tiempo completo. El sistema experto se encarga de proveer la experticia y de dar recomendaciones especializadas a operarios o encargados de mantenimiento que no tienen dicho conocimiento, a partir de información básica ingresada por estos.

En este marco los sistemas expertos son de gran utilidad pues ayudan a disminuir costos de mantenimiento debido a que no es necesario tener un experto en algún tema a disposición completa de una organización y no es necesario hacerlo viajar hasta la planta o instalación para resolver el problema lo que genera un gran ahorro al no tener que estar pagando constantes pasajes, viáticos y honorarios exigidos por este.

La interface rueda-riel en un vehículo ferroviario, posee unos parámetros muy importantes de controlar a la hora de evaluar la seguridad en marcha del vehículo. Entre los parámetros más importantes de la rueda están la altura



y la escarpadura de la pestaña de donde se deriva el ángulo de la misma, el cual es un parámetro de mucho peso para establecer el índice de seguridad en marcha del vehículo, y cuyo valor óptimo se encuentra en 70° para el vehículo evaluado. El otro factor que altera la ecuación es el coeficiente de fricción rueda-riel, el cual es importante mantener en un valor cercano a 0.35 (para el vehículo evaluado), ya que su relación es inversamente proporcional al límite Y/Q del vehículo, a medida que aumenta el coeficiente de fricción, el límite Y/Q disminuye, aumentando así la posibilidad de que la relación Y/Q real supere el límite y se produzca un accidente por descarrilamiento.

El sistema experto desarrollado, toma los valores de altura y escarpadura de la pestaña de la rueda así como el coeficiente de fricción rueda-riel y deriva la relación Y/Q teórica para luego tomar la información de fuerzas laterales y verticales y de esta manera emitir conceptos del estado del índice de seguridad en marcha del vehículo y dar recomendaciones de acciones preventivas a tomar de ser estas necesarias. Este sistema constituye una herramienta para el diagnóstico de la interface rueda-riel la cual puede ayudar a llevar a cabo una mejor planeación de los mantenimientos con el fin de optimizar los recursos manteniendo un alto índice de seguridad en marcha del vehículo.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- ARNAIZ, Aitor y GILABERT, Eduardo. Mantenimiento Ingeniería Industrial y Edificios: Uso de Sistemas Expertos Probabilísticos Para Aplicaciones de Mantenimiento y Diagnóstico. España. N° 187. año 2005 mes 9. p. 39-46.
- CHARNIAK, E. and MCDERMOTT, D. Introduction To Artificial Intelligence. Massachusetts, Estados Unidos: Addison-Wesley- Reading, 1985.
- ESVELD, Coenraad. Modern Railway Track. 2 ed. Holanda: MRT- Productions, 2001. p. 57-68.
- GUIARRATANO, Joseph y RILEY, Gary. Sistemas Expertos principios y programación. 3 ed. Mexico: International Thompson Editores, 2001.
- HAUGELAND, J. Artificial Intelligence: The Very Idea. Massachusetts, Estados Unidos: MIT Press, 1985.
- HAYES-ROTH, Frederick, WATERMAN, Donald A and LENAT, Douglas B. Building Expert Systems. Vol 1. Massachusetts, Estados Unidos: Addison-Wesley Publishing Company, 1983.
- IWNICKI, Simon. Handbook of Railway Vehicle Dynamics. Londres, Inglaterra: CRC Press, 2006. p. 212-221.
- JACKSON, Peter. Introduction to expert systems. 2 ed. International Computer Science Series. Londres, Inglaterra: Addison-Wesley Publishing Company, 1990. p. 3-5.
- JARAMILLO MONTOYA, Juan Esteban y VELASQUEZ URIBE, José Vicente. Sistema Experto Para El Diagnostico De Fallas Automotrices. Medellín, Colombia, 1993. Trabajo de grado (Ingeniero de Sistemas). Universidad EAFIT. p. 7-9.
- LONDOÑO LOAIZA, Juan de Dios. Teoría General Sobre La Aplicación De Sistemas Expertos. Medellín, Colombia, 1988. Trabajo de grado (Ingeniero de Sistemas). Universidad EAFIT. p. 1-7.
- MARIN SEPÚLVEDA, Augusto León. Implementación de Criterios de Seguridad y Confort en la Evaluación del Estado Técnico de Vehículos Ferroviarios. Medellín, Colombia, 2006. Tesis de grado (Maestría en Ingeniería Mecánica). Universidad EAFIT. p. 8-21, 120.
- OSPINA GAVIRIA, Jorge Armando. Hacia una metodología para desarrollar sistemas expertos. Santa fe de Bogotá: Universidad de Los Andes. Centro de Estudios e Investigaciones de la Facultad de Ingeniería (CIFI); Centro de Documentación de Ingeniería, 1993. 22p.
- PALACIO LÓPEZ, Mauricio Enrico. Determinación de Componentes Principales de Observación Para Evaluar el Estado Técnico de la Interface Vía-Vehículo. Medellín, Colombia, 2006. Tesis de grado (Maestría en Ingeniería Mecánica). Universidad EAFIT.

RESTREPO RIVAS, Luís Guillermo. Curso Básico de Sistemas Expertos. Medellín, Colombia. 1993. p. 12-16, 58-60.

RICH, E. and KNIGHT, K. Artificial Intelligence. 2 ed. New York, Estados Unidos: Mc Graw Hill, 1991.

TORO VALLEJO, José Rodrigo. Implementación de Criterios de Seguridad y Confort en la Evaluación del Estado Técnico de la Vía Permanente. Medellín, Colombia, 2006. Tesis de grado (Maestría en Ingeniería Mecánica). Universidad EAFIT.

# **ANÁLISIS Y COMPARACIÓN ENTRE EL PROCESO DE CENTRIFUGADO E INYECCIÓN PARA LA FABRICACIÓN DE PIEZAS EN ZAMAC**

ANDRÉS FELIPE GALLEGO ALZATE

anfegal@eafit.edu.co

Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS

DISEÑO DE SISTEMAS TÉCNICOS

ASESOR PRINCIPAL

MARCO AURELIO PANIAGUA

SECTOR BENEFICIADO

EMPRESA PRIVADA DEL SECTOR INDUSTRIAL



## **RESUMEN**

El presente artículo expone diferentes pruebas en piezas elaboradas en Zamac (un metal a base de Cinc), con el fin de comparar dos procesos de producción, el proceso de inyección y el centrifugado.

El análisis de comparación se realizó sobre pruebas de dureza, metalografía, pruebas mecánicas y grosor de la capa de recubrimiento en las piezas elaboradas.

Al final se realiza una comparación entre las piezas fabricadas mediante estos procesos, determinando las diferencias en cuanto a porosidad y microestructura según los resultados, y se analiza como éstas pueden afectar la resistencia mecánica de las mismas.

## **PALABRAS CLAVES**

Zamac, centrifugado, inyección, dureza Vickers, esfuerzos, grosor de capa.

## **ABSTRACT**

This paper shows different tests on Zamac test parts (a metal – based Zinc), In order to compare two production processes, the injection process and the centrifuge process.

The compare analysis was based on hardness tests, metallographic tests, cechanical tests and thickness of the coating layer on the parts produced.

At the end, a comparison was made between the parts manufactured by these processes, identifying teh differences about porosity and microstructure according to the results, and analyze how they can affect the strength of them.

## **KEYWORDS**

Zamac, Centrifuge process, injection process, Vickers Hardness, strength, thickness of the coating layer

## **INTRODUCCIÓN**

En el área industrial, más específicamente en la ornamental o de bisutería, en los herrajes se busca encontrar y probar diversos materiales que cumplan con los requerimientos y especificaciones que el cliente desea y así, posiblemente tener una buena calidad a un costo menor. En la actualidad existe un material que está cumpliendo con estos requerimientos en cuanto a calidad y precio, el Zamac; éste metal a base de Cinc, gracias a sus propiedades proporciona en acabados y diseños infinidad de formas y texturas que lo hacen muy atractivo en el área de la bisutería. Existen diversas formas de producción de piezas, los dos más utilizados en la ciudad de Medellín para las aleaciones a base de Cinc (Zamac) por su facilidad de producción, y bajo costo en cuanto a infraestructura y materiales de producción, son el de inyección y el proceso por centrífuga y sus principales diferencias radican en los materiales y procedimientos que se usan en cada una de las mismas. Las piezas en Zamac son obtenidas en varias empresas que ven en sus propiedades mecánicas y bajos costos una forma atractiva de producción de piezas. Por lo general, cuando se utilizan este material en los procesos de centrífugado e inyección, con parámetros específicos, lo que se obtiene es una pieza que mediante procesos de pulido y galvanoplastia cumple con los requerimientos que el cliente desea, pero ignorando cuál de estos procesos genera un mejor resultado en cuanto a resistencia mecánica, porosidad o dureza. Este artículo busca una comparación de las piezas elaboradas en los procesos, analizando su microestructura y sus propiedades mecánicas.

## **ZAMAC**

El Zamac es una aleación de cinc con aluminio, magnesio y cobre, como aleación a base de cinc, posee características diferentes en cuanto a resistencia mecánica y dureza. En la actualidad se conocen infinidad de aleaciones a base de zinc que según su composición le proporciona su uso, las piezas de Zamac son utilizadas muy comúnmente desde perillas para puertas, hasta partes de automóviles. En su forma más pura, el cinc se encuentra disponible como lingotes y en polvo. Cuando se excede los límites de impurezas, éstas proporcionan mala resistencia mecánica

y bajas propiedades a la corrosión. Las piezas también podrían ser utilizadas con adiciones de recubrimientos electro galvánico que ayudan a la resistencia a la corrosión. Las piezas hechas en Zamac podrían llegar a ser de menor costo que otras aleaciones y con mejores resistencias mecánicas y colabilidad.

El material empleado tanto para inyección como para centrífugado es el Zamac 2 o SAE 921; ambos poseen cobre, aluminio y magnesio en cantidades similares.

## **PROCESOS DE FABRICACIÓN**

Los métodos más utilizados en la reproducción de piezas en Zamac son el proceso de inyección y de fundición por centrífugado.

## **PROCESO DE INYECCIÓN**

La fundición en moldes permanentes hechos de metal es utilizada para la producción masiva de piezas de pequeño o regular tamaño, de alta calidad y con metales de baja temperatura de fusión. Existen varios tipos de moldes metálicos utilizados para la fabricación de piezas, por lo regular de metales no ferrosos. El proceso que comúnmente se utiliza para producción de piezas es la fundición por matrices, el cual ayudado por uno o varios pistones empuja el material al molde.

En este proceso el metal líquido se inyecta a presión dentro de un molde metálico (matriz), la inyección se hace a una presión entre 10 y 14 MPa. Las piezas logradas con este procedimiento son de gran calidad en lo que se refiere a su acabado y a sus dimensiones. Este procedimiento es uno de los más utilizados para la producción de grandes cantidades de piezas fundidas. Se pueden utilizar dos tipos de sistema de inyección en la fundición en matrices. Existen dos clasificaciones por cámara caliente y cámara fría.

## **CENTRIFUGADO**

Es un sistema donde por medio de un ramal o tallo, se hace llegar metal fundido a racimos de piezas colocadas simétricamente en la periferia. Al poner a girar el sistema

se genera fuerza centrífuga, la que es utilizada para aumentar la uniformidad del metal que llena las cavidades de los moldes (@APRENDIZAJE, 2008).

## PRUEBAS REALIZADAS

Todos los ensayos fueron realizados en el laboratorio de materiales de la Universidad EAFIT.

## Ensayos mecánicos

Con los datos obtenidos en el programa INSTRON 3306 se realizó el diagrama Carga vs. Desplazamiento, con el fin de determinar los esfuerzos en las piezas obtenidas con los 2 procesos, los parámetros de las probetas se muestran en la tabla 1.

TABLA 1. Medidas de las probetas en el proceso centrifugado

Proceso	Fundición centrífuga	
Probeta	Ancho de la probeta	22.11 mm
	profundidad (espesor)	2.22 mm
	Separación de los rodillos	20 mm
	Velocidad	1 mm/minuto
Proceso	Fundición por Inyección	
Probeta 1	Ancho de la probeta	23.94 mm
	profundidad (espesor)	2,26 mm
	Separación de los rodillos	20 mm
	Velocidad	1 mm/minuto
Probeta 2	Ancho de la probeta	28 mm
	profundidad (espesor)	2.17 mm
	Separación de los rodillos	20 mm
	Velocidad	1 mm/minuto

Nota: Las 3 probetas tenían las mismas dimensiones

Con los valores de carga máxima y los valores de las probetas, se procedió a calcular los esfuerzos mediante la ecuación siguiente.

$$\sigma_f = \left( \frac{3 * F * L_c}{2 * b * E^2} \right)$$

(1) Esfuerzos por carga de flexión.

Donde:

F = Carga máxima en (kN)

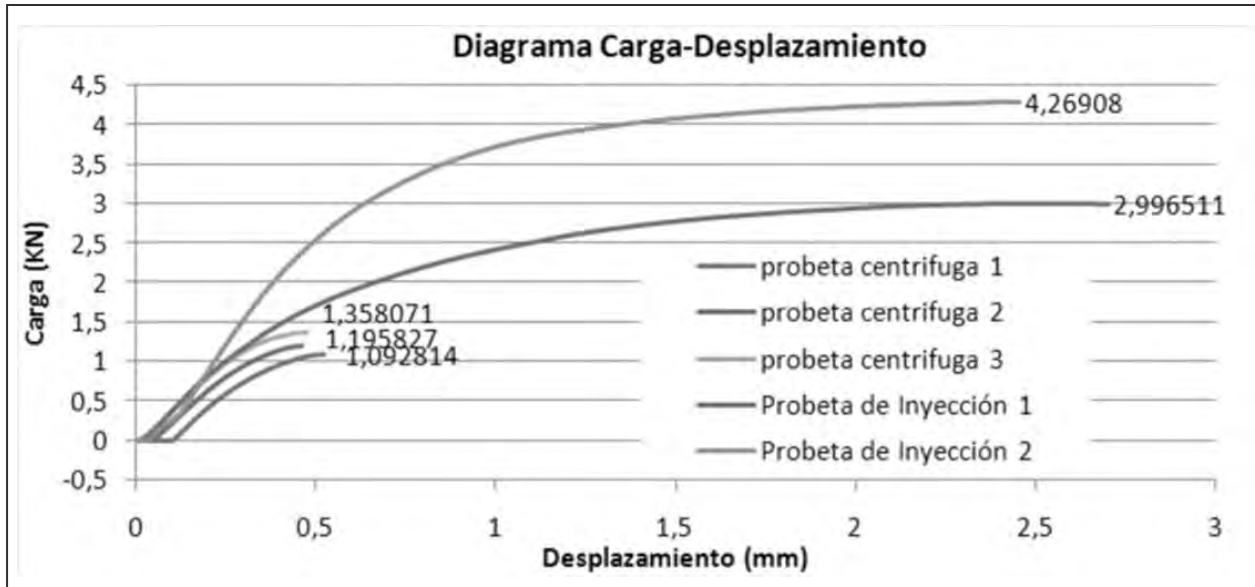
Lc = Longitud del claro o distancia entre apoyos en (mm)

b = Ancho en (mm)

E = Espesor en (mm)

(YAKOVLEV, ANATOLI y PISARENKO)

FIGURA 1. Comparación entre fundición por inyección y centrífuga



Los resultados en la tabla 2, muestran que los esfuerzos son mayores en las piezas elaboradas en inyección que en el proceso de centrifugado.

TABLA 2  
Esfuerzo de flexión de las probetas

Muestra	Carga	Esfuerzo
Inyección 1	2.9989 KN	825.6 N/mm <sup>2</sup>
Inyección 2	4.2669 KN	1174.7N/mm <sup>2</sup>
Centrífuga 1	1.0928 KN	300.8N/mm <sup>2</sup>
Centrífuga 2	1.1958KN	329.2N/mm <sup>2</sup>
Centrífuga 3	1.35807KN	373.8N/mm <sup>2</sup>

## PRUEBAS DE DUREZA

Prueba utilizada, dureza Vickers. En esta prueba se tomaron cargas de 15kg y 20kg para centrifugado e inyección respectivamente, además de tomar como patrón de muestra tres piezas de cada proceso. La dureza Vickers se mide bajo la ecuación siguiente.

$$HV = \frac{1.824 \cdot P}{d^2}$$

(2) Índice de dureza Vickers

Donde,

P = Carga de la penetración en (Kgf).

d = longitud de la diagonal promedio en (mm)  
(SMITH WILLIAM)

TABLA 3  
Dureza en Vickers de los procesos en las piezas analizadas

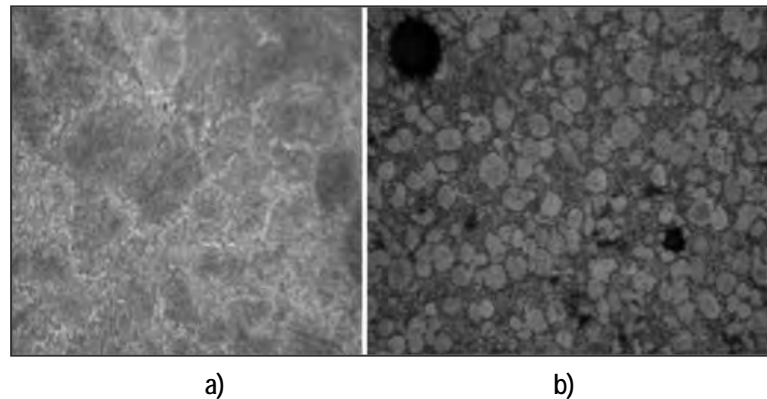
Proceso	Dureza en Vickers
Fundición por centrífuga	75,688
Fundición por inyección	83,920

Al comparar las durezas obtenidas en la tabla 3 se observa que la pieza más blanda es la del proceso por centrifugado, mientras que la pieza realizada mediante el proceso de inyección es más resistente a la penetración, ofreciendo una mejor resistencia al desgaste y a la abrasión.

## ENSAYOS METALGRÁFICOS

En las figuras 2 a) y b), se observa la microestructura de las piezas en centrífuga (a) y en inyección (b), ambas microestructuras consta de granos verdosos de  $\beta$  primaria (solución rica en cinc), rodeada por una mezcla oscura eutectoide ( $\alpha$  y  $\beta$ ) (AVNER, SYDNEY H ).

FIGURA 2. Micrografías de las piezas por centrifugado a) 500X y b) 1000X



Aunque ambas estructuras son similares, Los resultados que se observan en las anteriores figuras muestran que el tamaño de grano en el proceso de fundición por inyección es menor que el tamaño de los granos en el proceso de centrifugado, es decir los granos finos del proceso de inyección le atribuye mayores características de dureza y resistencia del material, mientras que el grano grueso posee menos juntas de grano que disminuyen su resistencia.

### CAPA DE RECUBRIMIENTO

Se tomaron diferentes medidas a lo ancho de la probeta con el fin de tener un promedio del grosor de la capa obtenida. Los recubrimientos a los que fueron expuestas las piezas son cobre (primera capa), níquel (capa intermedia) y por último plata (capa exterior). En la tabla 4, se muestran los valores de las capas obtenidas en las piezas realizadas tanto en el proceso de inyección, como el de centrifugado.

TABLA 4. Valores de las capas obtenidas para la pieza de inyección y centrífuga

		Espesor capa de cobre( $\mu\text{m}$ )	Espesor Capa de níquel ( $\mu\text{m}$ )	Espesor capa de plata ( $\mu\text{m}$ )
PIEZA DE INYECCIÓN	Medida 1	12,6 $\mu\text{m}$	3,9	2,9
	Medida 2	11,4	2,3	3,6
	Medida 3	11,7	1,9	2,6
PIEZA DE CENTRÍFUGA	Medida 1	11,2	33,8	6,2
	Medida 2	7	27	5
	Medida 3	12,4	36,6	5,5

El espesor de la capa obtenida depende del tiempo y de la densidad de la corriente eléctrica aplicada en las piezas. Con los resultados de la tabla 4 se puede concluir que todas las capas cumplen con los requerimientos mínimos de los recubrimientos, en los cuales especifican que los recubrimientos deben estar entre (2.5 y 5)  $\mu\text{m}$ .

### METODO DE ELEMENTOS FINITOS

Es importante conocer como es el comportamiento que posee la pieza, al estar sometido a esfuerzos de flexión, al estar con restricciones en los extremos y aplicada la fuerza sobre los pines, los resultados fueron los siguientes.

FIGURA 3  
Resultados de esfuerzos en la pieza analizada,  
superior

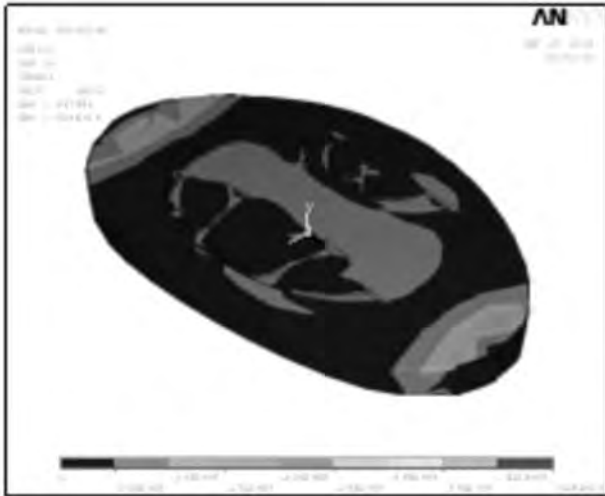
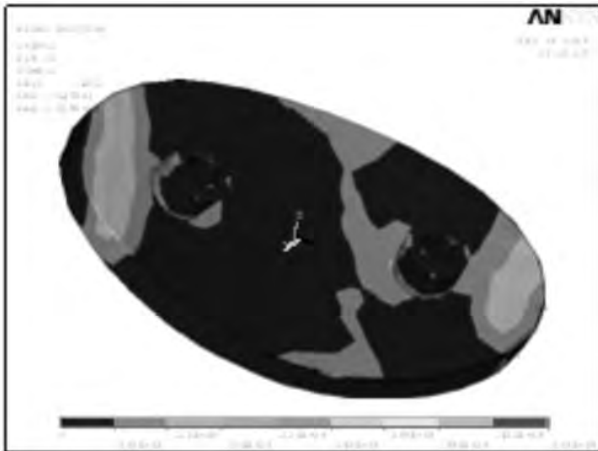


FIGURA 4  
Resultados de esfuerzos en la pieza analizada,  
Inferior



Los resultados obtenidos muestran que los valores máximo de esfuerzo están en 0.226 GPA (zona verde en las figuras 3 y 4) la pieza sufre una deformación normal por la carga, pero no tiene el riesgo de sufrir una ruptura debido a que el valor suministrado no supera el valor máximo de carga permitida, que se obtiene del diagrama carga-desplazamiento.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La dureza obtenida en los ensayos muestran que las piezas realizadas con el proceso de inyección, ofrecen mayor resistencia a la penetración que las realizadas por centrifuga, pero comparando estos resultados con la dureza en otros metales tales como el hierro, el latón y otras aleaciones, se determina que el Zamac 2 (composición obtenida en el análisis químico) es un material blando en relación a dichos metales.

En los ensayos mecánicos se observó que las piezas realizadas mediante el proceso de centrifugado soportan menos cargas que las piezas realizadas en el proceso de fundición por inyección.

El análisis de elementos finitos muestra como es el comportamiento de la pieza al estar sometidos a esfuerzos de flexión, con una carga de 1200 N, se observó que la pieza posee esfuerzos relativamente bajos.

En el proceso de inyección, la solidificación del metal se presenta en toda la pieza de una manera continua, mientras que en el proceso de centrifugado la solidificación se presenta primero en el núcleo y luego en las partes perimetrales lo cual puede generar la aparición de grietas, que a la postre generan un deficiente acabado superficial y disminución de la resistencia mecánica.

Se observó que las piezas bajo los procesos de fabricación de inyección y centrifugado poseen características de dureza, y resistencia mecánica diferentes.

En el diagrama de carga vs desplazamiento, al realizar la comparación entre los dos procesos se puede observar una mayor diferencia en cuanto a resistencia por parte de las piezas elaboradas en inyección que las obtenidas por el proceso de centrifugado.

Los resultados obtenidos en las pruebas de dureza nos muestran que son muy aproximados a los valores teóricos de las aleaciones que se expresan en la figura 1, es decir, el factor de error es por debajo de 1%, lo cual es muy confiable en las pruebas realizadas.



## **BIBLIOGRAFÍA**

AVNER, SYDNEY H. INTRODUCCIÓN A LA METALURGIA FÍSICA. MEXICO: MCGRAW-HILL, 1981. 695p. ISBN 9686046011.

SMITH, WILLIAM F. FUNDAMENTOS DE LA CIENCIA E INGENIERIA DE MATERIALES. 3 ed. MADRID: MCGRAW-HILL, 1998. 715p. ISBN 8448114299.

YAKOVLEV, ANATOLI y PISARENKO, G. S. MANUAL DE RESISTENCIA DE MATERIALES. MOSCU: MIR, 1979. 694p. 1v.

APRENDIZAJE@. Artículo relacionado a los procesos de fundición. [En línea] [Citado 30 de Agosto de 2008]. Disponible en: [www.aprendizaje.com.mx/Curso/Proceso1/Temario1\\_V.html](http://www.aprendizaje.com.mx/Curso/Proceso1/Temario1_V.html)

# APROXIMACIÓN DE APLICACIÓN DE INDICADORES DE PROCESO DE ENSAMBLE EN AKT MOTOS

SANTIAGO JARAMILLO BOCANUMENT

sjarami6@eafit.edu.co

Departamento de ingeniería mecánica

ALEJANDRO RAMÍREZ GAVIRIA

aramir13@eafit.edu.co

Departamento de ingeniería mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS

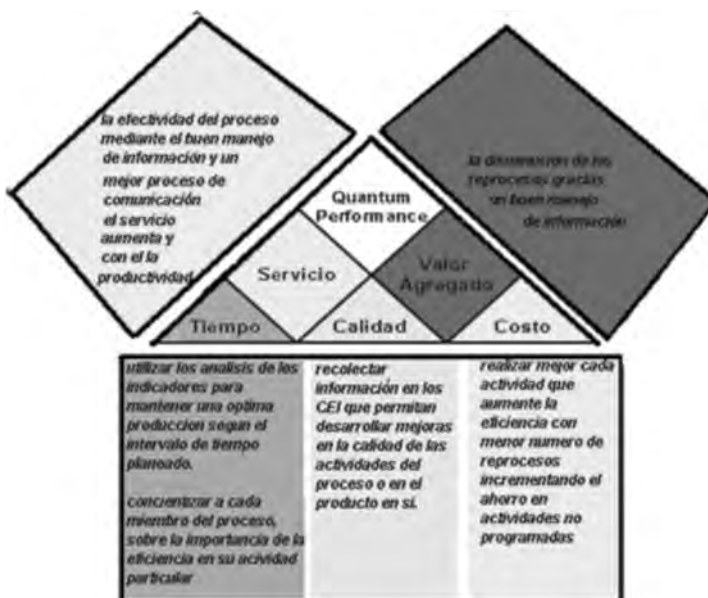
MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

ASESOR PRINCIPAL

LUIS ALBERTO MORA GUTIÉRREZ

SECTOR BENEFICIADO

AKT MOTOS



## RESUMEN

En este artículo se presentan las diferentes etapas que se llevaron a cabo para implementar una nueva cultura de desarrollo enfocada con la metodología Quantum Performance, para realizar rediseños de procesos en la producción, brindando así mayor competitividad a un menor costo. Contiene una relación directa del carácter administrativo con el ingenieril, uniéndose estos mediante la metodología de los signos vitales.

El artículo presenta estrategias que permite encaminar a toda la organización tras la misma meta, como lo son la generación de grupos primarios y el benchmarck interno, que evalúa los procesos de manera directa, para obtener mejoras esperadas. Generando así un valor agregado de vital importancia para cualquier tipo de organización.

El artículo regala al lector una noción de la metodología aplicada al proceso de ensamble de AKT MOTOS y presenta las mediciones realizadas para la obtención de los indicadores medibles que permitieron llevar a cabo dicha aplicación.

## ABSTRACT

In this article appear the different stages that allow to develop a new culture based on the Quantum Performance methodology, the idea is to redesign the production process, in a low cost. The project contains a direct relationship between the administration and engineering process, joining by Quantum Performance methodology,

The article presents strategies that permits to direct to all the organization after the same goal, as are it the generation of primary groups

and the benchmark internal, that evaluates the processes in a direct way, to obtain improvements expected. Generating thus an aggregate value of vital importance for any type of organization.

The articulate gives the reader a notion of the methodology applied to the process to join of AKT MOTORCYCLES and presents the measurements carried out for the obtaining of the measurable indicators that permitted to carry out said application.

## OBJETIVO GENERAL

Aplicar la metodología Signos Vitales al proceso de ensamble en AKT Motos, con el fin de plantear estrategias y acciones que lo mejoren.

La ensambladora de motocicletas AKT tiene participación en el mercado desde el año 2004. Esta ensambladora hace parte del gran portafolio empresarial del grupo Corbeta, con muchos años de experiencia en diferentes tipos de mercados con diferentes productos y organizaciones.

Las instalaciones de la ensambladora están ubicadas en Envigado (Departamento de Antioquia, República de Colombia), donde se cuenta con dos líneas de ensamble con el mejor equipamiento y con modernas herramientas.

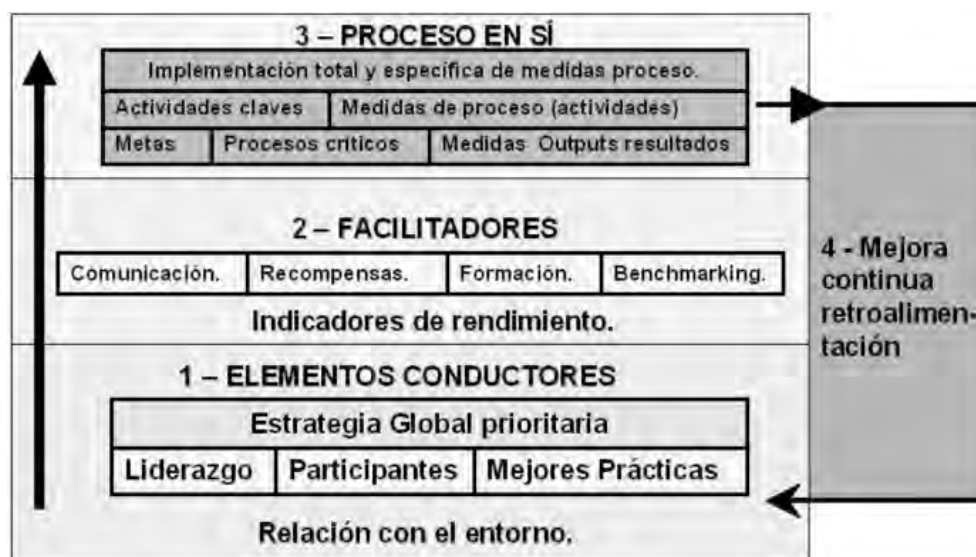
El objetivo final es brindarle al cliente una fuente de transporte económica y de grandes prestaciones que permitan un mejor desarrollo de la sociedad, aportando un producto de excelente calidad y respaldo de marca, que garantiza una buena inversión para el comprador.

## METODOLOGÍA

El método Quantum Performance es un modelo sistémico, lógico, coherente y general para la implementación de medidas de rendimiento y para el análisis de Actividades-Procesos-Macro procesos claves y críticos.

La real importancia de la metodología, es apuntar al perfeccionamiento de un sistema en el que se logran ventajas sustanciales en términos de costos, calidad, velocidad y flexibilidad. Pero para lograrlo es necesario realizar una correcta evaluación del sistema como un todo y sus particularidades de tal forma que los cambios propuestos sean de alto impacto. (Sarache y otros, 2002, 57).

FIGURA 1. Método quantum performance – Vital signs



Hronec, 1995, 30

FIGURA 2  
Familia de medidas

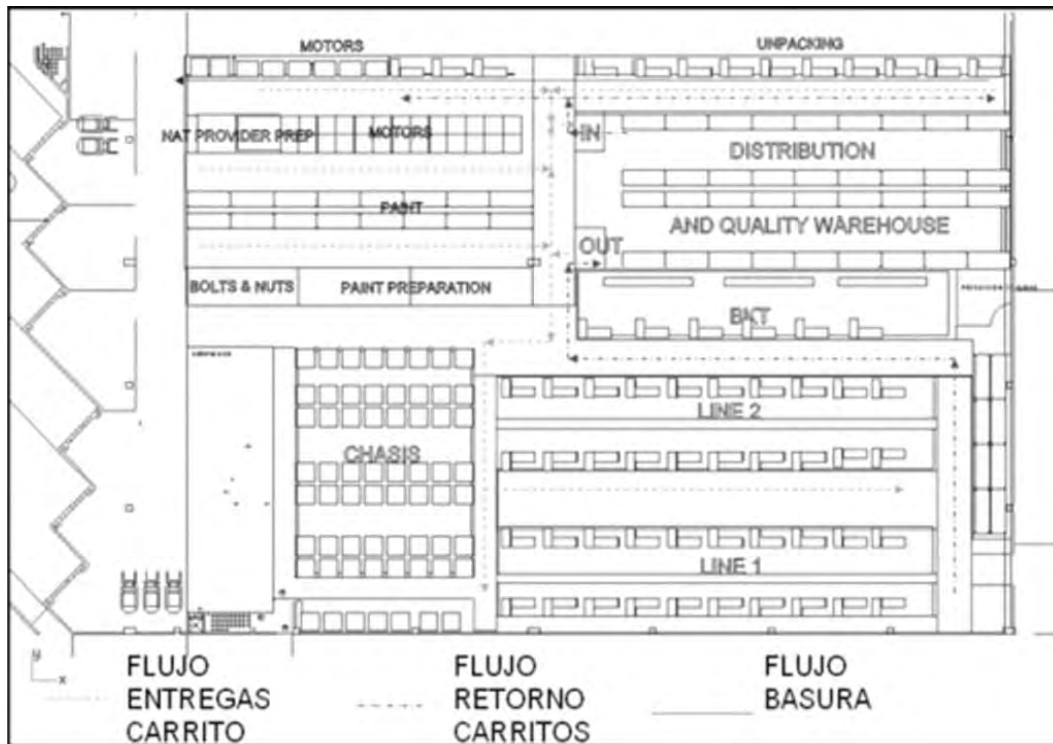


Hronec, 2006, 24

La metodología aplicada a la línea de ensamble de AKT, permite hacer un comparativo con las consideraciones hechas por una metodología de mantenimiento, relacionado de manera directa una serie de indicadores que pueden afectar las actividades realizadas o por el contrario ayudara a optimizar las mismas. Para el mejoramiento de la efectividad en el conjunto de actividades, dedicado al sector de ensamble de la compañía, se tiene una serie de eventos medibles, los cuales muestran las pérdidas durante el proceso.

La metodología está enfocada al proceso de ensamble de manera particular a las actividades realizadas al modelo AK110S, lo cual se da como base para ser aplicado en los demás modelos. La línea de ensamble cuenta con un excelente espacio físico que permite realizar cualquier tipo de cambio que generen mejoras en el proceso.

FIGURA 3. Línea de ensamble



## IMPLEMENTACIÓN DE INDICADORES

Los indicadores de procesos son herramientas aplicables a cualquier sistema productivo en cadena y a nivel particular, puesto que permiten llevar un control exhaustivo de las diferentes actividades que conforman un macro proceso, en el cual se elabora el producto o se presta el servicio.

La pirámide de la metodología del *Quantum Performance*, muestra los procesos de manera vertical uno tras otro, para lograr un buen desarrollo, esto mediante un proceso cuantificado con indicadores medibles que tienen como finalidad fortalecer una organización en tiempo, calidad y costo, a su vez conllevan un valor agregado y la posibilidad de prestar un mejor servicio, cumpliendo con los parámetros dicha metodología.

Los indicadores según su enfoque necesita mediciones, bien sea de tiempo o de características del proceso, como anomalías o diferentes eventos dentro de las actividades.

### Indicador de tiempo productivo (TP)

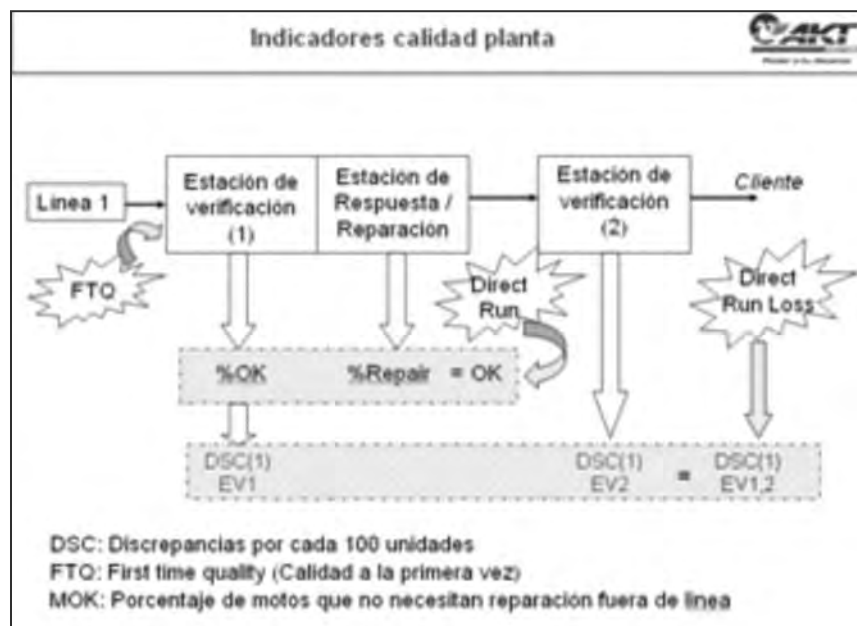
Constituye el factor fundamental para saber el grado de eficiencia con el que está trabajando la línea y así tomar decisiones.

$$45 \text{ min} + 2.7 \text{ min}(x) = \text{tiempo productivo}$$

Donde x= # motocicletas a ensamblar.

Los indicadores de calidad también están elaborados de igual manera con formulas que miden su frecuencia, para que sea un evento medible y de tal forma poder realizarle una mejora.

FIGURA 4. Indicadores de calidad de planta



### DSC: Discrepancias por cada 100 unidades

Este indicador comunica a la línea el total de discrepancias que llegan a la estación de verificación. Una lista diaria de los problemas más frecuentes (Pareto) es publicada como resumen de las discrepancias aguas arriba.

$$DSC = \frac{\sum \text{Defectos\_encontrados}}{\text{No.}_\text{Motocicletas}_\text{inspeccionadas} \text{ (producidas)}} \times 100 \text{un.}$$

### FTQ: First time quality (Calidad a la primera vez)

Este indicador comunica el porcentaje de unidades que llegan a la estación de verificación sin defectos.

$$FTQ = \frac{\text{Unidades Sin ningun defecto}}{\text{No. motocicletas inspeccionadas}_{(producidas)}} \times 100\%$$

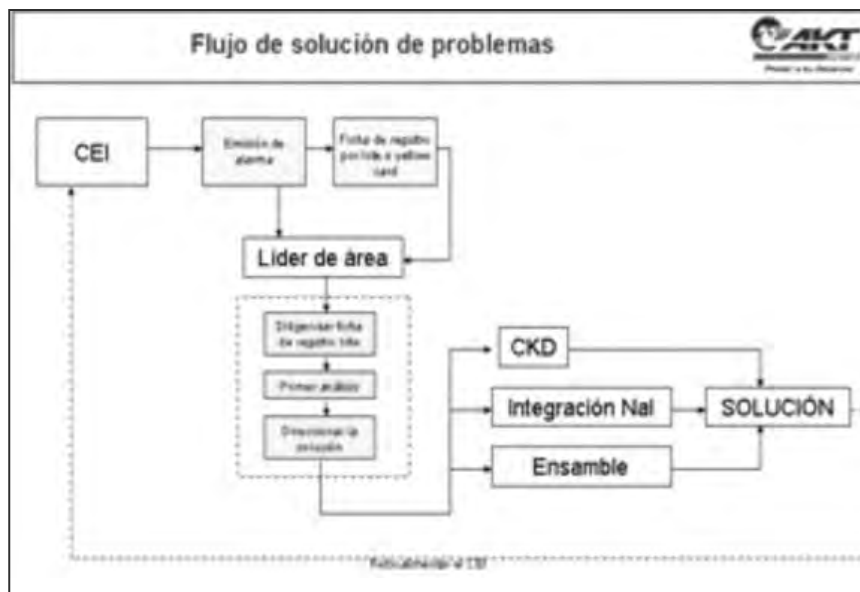
### MOK: Porcentaje de motos que necesitan no reparación fuera de línea

La información comunica el total de motocicletas que no necesitan "reparaciones fuera de la línea" como resultado del FTQ porque son unidades OK a la primera vez más las motocicletas reparadas en la estación de reparación.

$$MOK = \frac{\text{Unidades sin defecto} \oplus \text{Unidades reparadas en estación de reparación}}{\text{No. motocicletas inspeccionadas}_{(producidas)}} \times 100\%$$

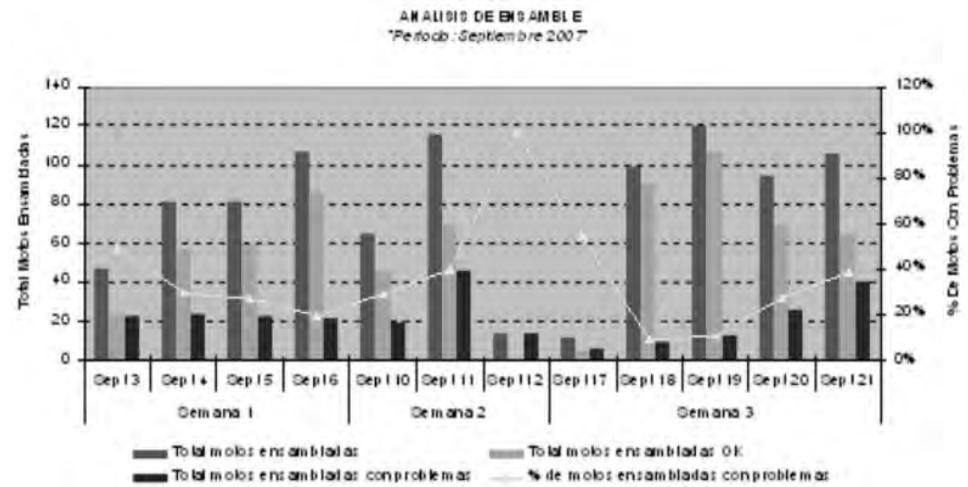
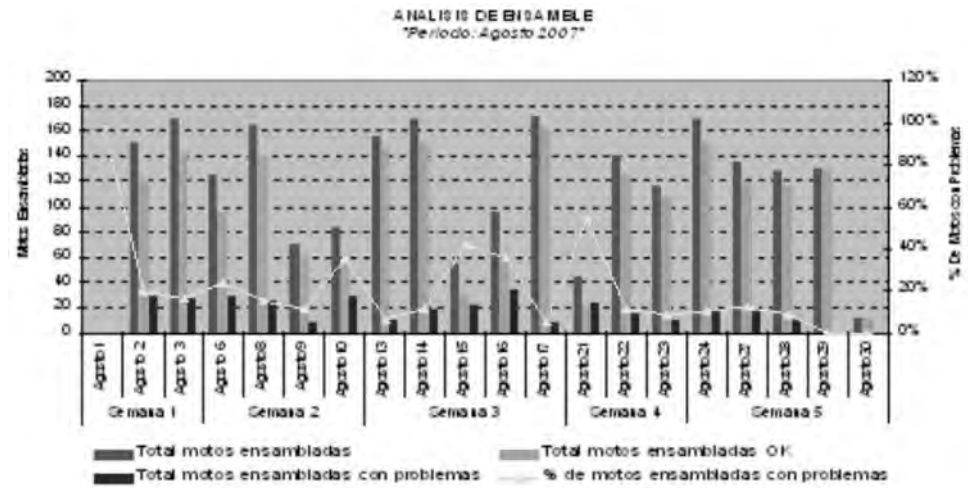
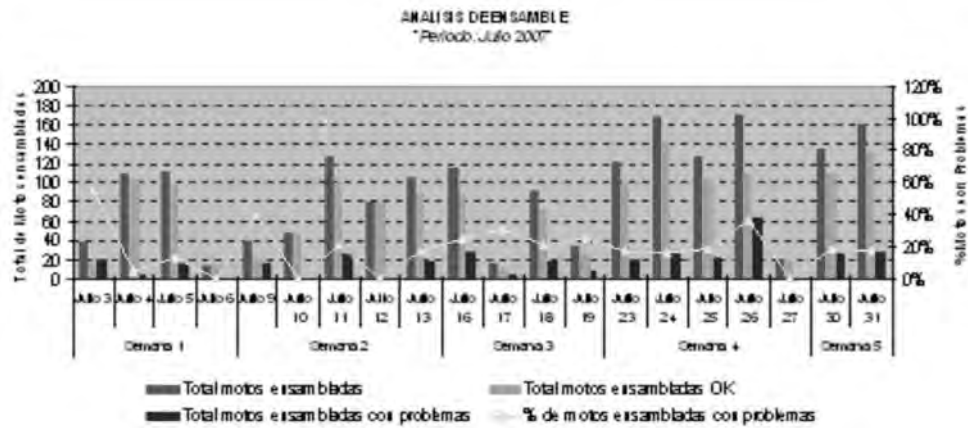
El flujo de la información dentro de un espacio físico es vital, ya que la obtención de datos de manera oportuna, puede librar el proceso de un paro no deseado o un reproceso en sí, para ello se diseño el siguiente flujo de la información mediante centros de información donde los indicadores aplicados en los procesos son vitales, al igual que la recolección de información de eventos en las actividades predispuestas dentro del proceso, es por ello que otro aporte de los autores al PEAKT, son los centros de información donde estos eventos son compilados y posteriormente procesados con los indicadores para la posterior toma de decisiones.

FIGURA 5. Flujo de solución del problema



Los OUTPUTS o los datos de salida recolectados mediante la toma de tiempos y eventos de calidad, arrojaron los siguiente datos los cuales son analizados para la toma de decisiones.

FIGURA 6. Datos de salida



Los resultados arrojados por la aplicación de indicadores, son de gran ayuda y de aceptación por parte del grupo de trabajo involucrado en el proceso, pues ayuda a tener una noción clara de el desempeño comprendido dentro de un intervalo de tiempo determinado, permite tomar correctivos, es por ello que los indicadores propuestos sigue en función hasta el día de la publicación de este documento.

## ESTRATEGIAS DE MEJORAMIENTO CONTINUO

Las anomalías o inconformidades tienen un papel relevante en la aplicación de la metodología, ya que son la raíz de los indicadores, por ello al definir las discrepancias dentro del proceso, deben ser emitidas de manera clara para todos los involucrados en el sistema de actividades, para tener así una total claridad de que se tiene, que se quiere y que se debe hacer para conseguirlo, para ello se esquematiza los pasos a seguir ante una discrepancia.

FIGURA 7. Diagrama estación de verificación



Salazar, 2006, 73

FIGURA 8. Acciones a mejorar





Las acciones de mejora parten de una serie de eventos que no permiten el flujo normal de las actividades, esto se denomina discrepancia, pero al interior de la metodología se debe analizar con la siguiente estructura las debilidades más relevantes de cada uno de los participantes al igual que sus responsabilidades para llegar a un producto exitoso con las medidas correspondientes.

FIGURA 9. Rediseño del proceso

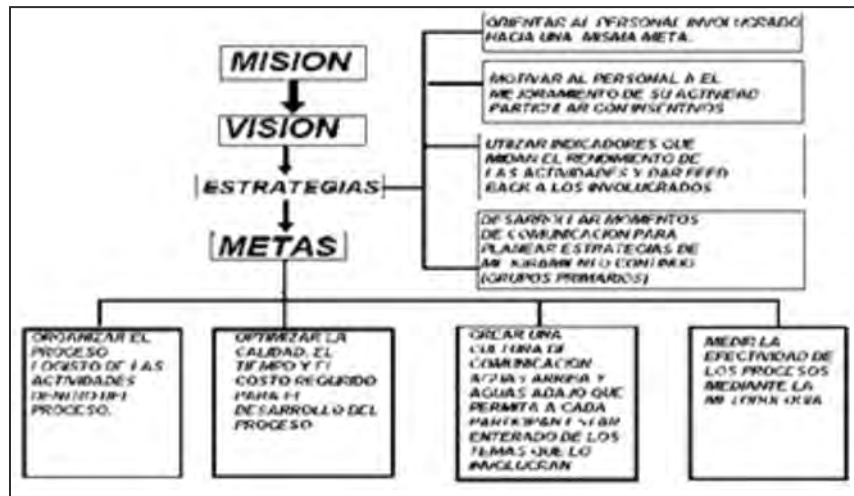
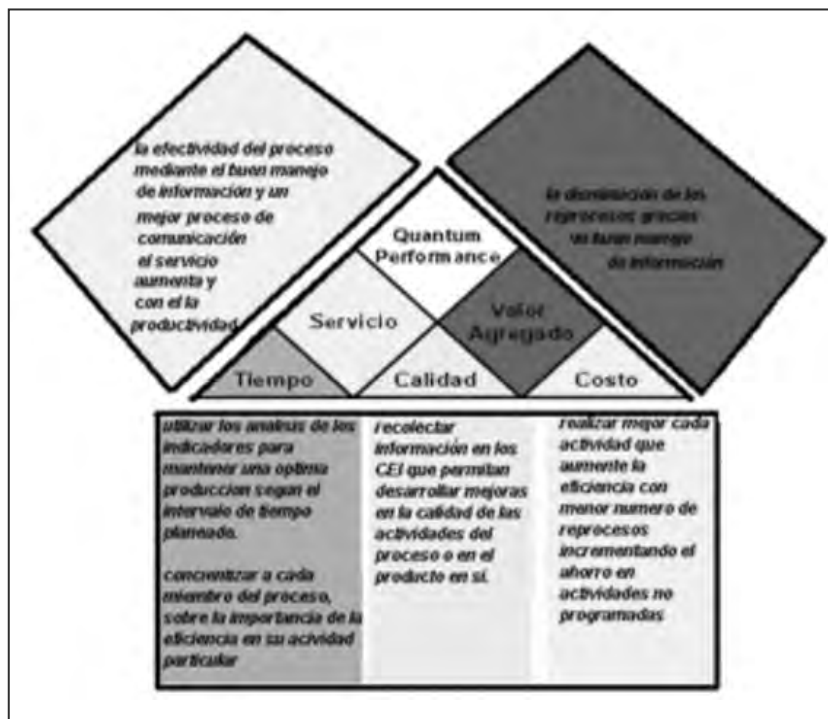


FIGURA 10. Diagrama de flujo del proyecto



FIGURA 11. Aporte particular de los componentes



## CONCLUSIONES

El manuscrito contiene una relación directa del carácter administrativo con el ingenieril, uniéndose estos mediante la metodología de los signos vitales.

La metodología fue directamente aplicada a un proceso productivo (línea de ensamble AKT), la cual cuenta con una serie de indicadores y evaluación de los mismos que permiten realizar, una retroalimentación directa del comportamiento general de las actividades realizadas dentro de este proceso. Además cuenta con un aporte estratégico como lo son las estaciones de información la cuales se colecta la información vital que permite tener un mejoramiento continuo y general un valor agregado

dentro de la cadena productiva dentro de la cual ha sido aplicada.

El desarrollo de la metodología permite a su vez crear nuevas estrategias que permite encaminar a toda la organización tras la misma meta, como lo son la generación de grupos primarios y el benchmarck interno, que evalúa los procesos de manera directa, para obtener mejoras esperadas.

El documento queda abierto para continuar con la implementación de nuevos indicadores y nuevas estrategias que permitan seguir con la descripción y obtención de resultados que conllevan al mejoramiento continuo, tanto en el proceso de ensamble AKT como es cualquier otro proceso en el cual sus actividades claves sean medibles.

## BIBLIOGRAFÍA

HARRINTON H. James. Administración total del mejoramiento continuo, Mc-Graw-Hill/Interamericana S.A. Santafé de Bogotá, Colombia 1997, ISBN: 958-600-562-3.

INMA S.A. Álbum de diseños INMA, INMA S.A. Medellín, Colombia, 2005

SARACHE W Y Otros, Aplicación de indicadores para el diagnóstico de sistemas de producción, Revista Universidad EAFIT, Medellín, Colombia No 126 (Abr – Jun. 2002)

ICAS@2007. Definición de indicador [en línea] [Citado el 25 de Agosto de 2007] disponible en. <http://www.icas.net/icasweb/glosario.htm>

AITECO@2007. La medición de los procesos es vital para el análisis de resultados y tener datos cuantificables [en línea] [Citado el 25 de Agosto de 2007] disponible en. <http://www.aiteco.com/indicador.htm>

Bscol@,2006. Información sobre las perspectivas del BSC [en línea] [Citado el 9 de Marzo de 2006] disponible en. <http://www.bscol.com>

Norton@,2006. Generalidades de las diferentes perspectivas que comprenden el BSC [en línea] [Citado el 9 de Marzo de 2006] disponible en. [www.balancedscorecard.org](http://www.balancedscorecard.org)

Gestion@,2006. Información sobre las perspectivas del BSC [en línea] [Citado el 9 de Marzo de 2006] disponible en. [www.gestiondelconocimiento.com/modelos\\_balanced\\_business\\_scorecard.htm](http://www.gestiondelconocimiento.com/modelos_balanced_business_scorecard.htm)

12Manage@2007. Información sobre las perspectivas del BSC [en línea] [Citado el 17 de Octubre de 2007] disponible en. [http://www.12manage.com/methods\\_balancedscorecard\\_es.html](http://www.12manage.com/methods_balancedscorecard_es.html)

Mante@2007. Conceptos básicos de una metodología de mantenimiento aplicado a los nuevos indicadores de la línea de ensamble AKT. [En línea] [Citado el 17 de Octubre de 2007] disponible en. [http://www.mantenimientoplanificado.com/j%20guadalupe%20articulos/tpm.ppt#312,8,Diapositiva 8](http://www.mantenimientoplanificado.com/j%20guadalupe%20articulos/tpm.ppt#312,8,Diapositiva%208)

Bsc@,2006. Graficas del Balanced Score Card [en línea] [Citado el 17 de Octubre de 2006] disponible en [www.balancedscorecard.org/basics/bsc1.html](http://www.balancedscorecard.org/basics/bsc1.html)

# **CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO FUNCIONAL DE GUÍAS PLÁSTICAS EN UNA ESTACIÓN DE INSPECCIÓN AUTOMÁTICA MÚLTIPLE DE BOTELLAS EN OI PELDAR**

CAMILO MEDINA CARDONA

cmedinac@eafit.edu.co

Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS

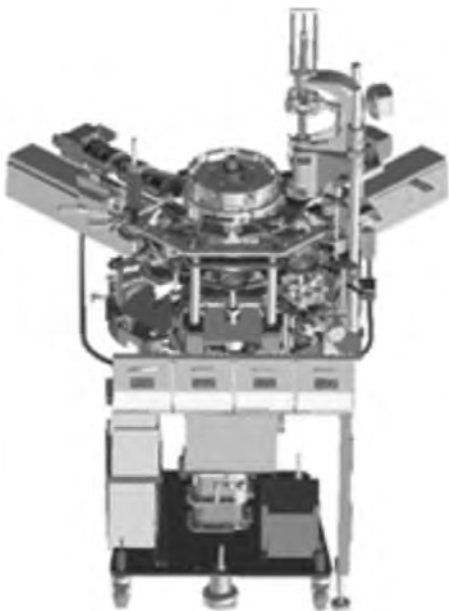
PLÁSTICOS

ASESOR PRINCIPAL

JUAN SANTIAGO VILLEGAS

SECTOR BENEFICIADO

O-I PELDAR ENVIGADO



## **RESUMEN**

Este artículo muestra como fue el desarrollo para la construcción de un prototipo funcional de guías plásticas para la estación múltiple de inspección de botellas en O-I Peldar Envigado. En el medio podemos encontrar una tendencia a cambiar muchos de los artefactos, mecanismos y objetos de diferentes materiales a plásticos, ya que, estos brindan una variedad de posibilidades debido al alto desarrollo que se ha venido dando en el mundo de los polímeros, proporcionando propiedades similares a las que tenía anteriormente, por ejemplo con un metal o un cerámico, con un costo mucho más bajo.

## **ABSTRACT**

This article show the development for the construction of a functional prototype of plastic rail guides for the station of multiple bottle inspection in O-I Peldar Envigado. Companies are having a lot of projects to change some of the artifacts, mechanisms and objects of different materials to plastics, because they give a lot of possibilities thanks to the high development in polymers these days, the properties are similar and the cost is really low.

## **PALABRAS CLAVE**

Polímero, vidrio, Botellas, guías, Costos, FP.

## **KEYWORDS**

Polymer, glass, Bottles, rail guides, costs, FP.

## INTRODUCCIÓN

Ingeniería mecánica es una de las carreras más completas donde se trabajan muchos aspectos técnicos relacionados con todo tipo de elementos y leyes físicas; uno de los más importantes dentro del plan académico es el relacionado con el tema de los esfuerzos en los materiales, el diseño de elementos que resistan los trabajos en los procesos productivos y la evaluación de todo tipo de ideas a nivel económico para una empresa; estos elementos están presentes en casi todos los campos de acción, en los cuales se puede desempeñar un ingeniero mecánico, en otras palabras, se puede encontrar en casi todas las empresas algún proceso industrial que tenga que ver con el diseño de nuevos productos, reformas a las máquinas existentes dentro de la planta o simplemente proyectos para discusión de nuevas ideas. El desarrollo de estos prototipos de guías contiene todo lo mencionado en el tema de resistencia de materiales, diseño, y evaluación de proyectos.

Con el proyecto se quiere alcanzar la construcción de un prototipo funcional para uso industrial, generando las condiciones necesarias, proporcionando un buen manejo de botellas a través de la inspección de una estación de inspección automática, y que traiga a la empresa unos beneficios tanto económicos como físicos debido al cambio de los sistemas metálicos existentes dentro de la planta O-I Peldar envigado

## METODOLOGÍA

El primer paso a realizar en el proyecto de este prototipo, es entrar a analizar todas las variables que encontramos dentro del proceso de inspección para esto es necesario conocer cómo es el vidrio y cómo es el proceso productivo de envases.

El siguiente paso es el análisis del funcionamiento de la estación múltiple de inspección automática de botellas, que tiene como nombre, máquina FP (Ferguson Power) y como es todo el sistema de manejo de botellas existente.

FIGURA 1. Mezcla materias primas vidrio

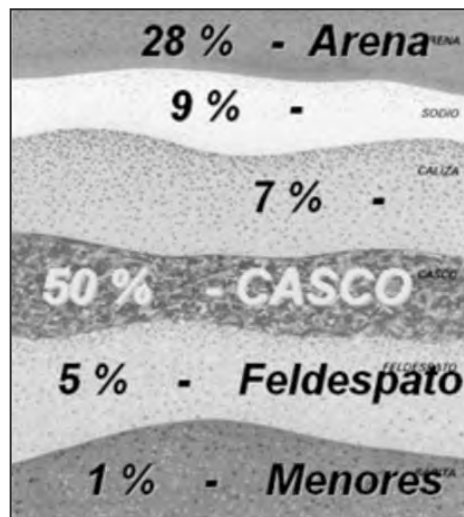


FIGURA 2. Vista superior del sistema de guías dentro de la máquina FP

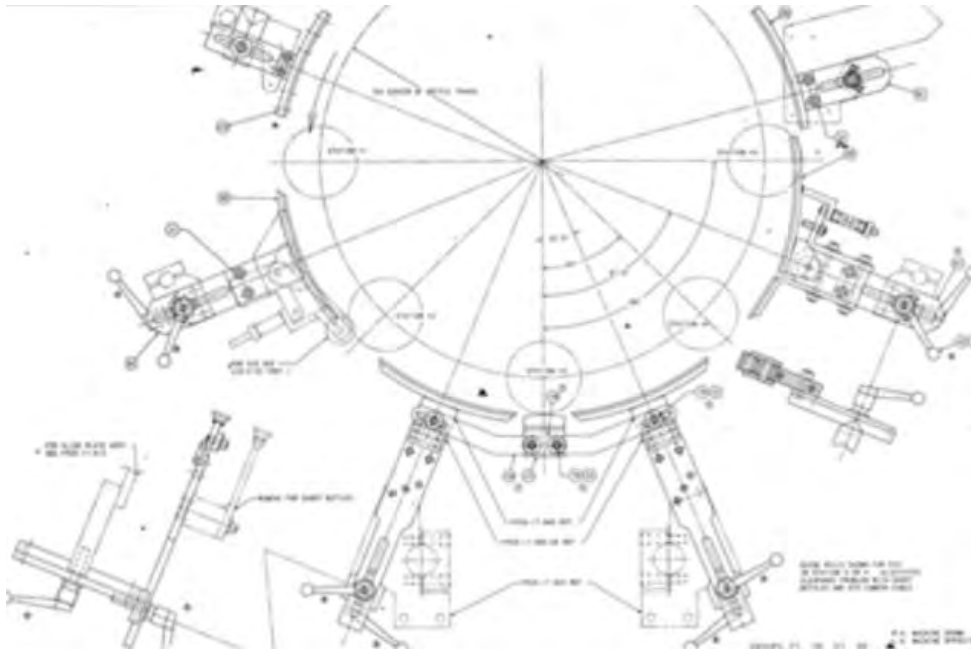


FIGURA 3. Sistema de guías metálicas



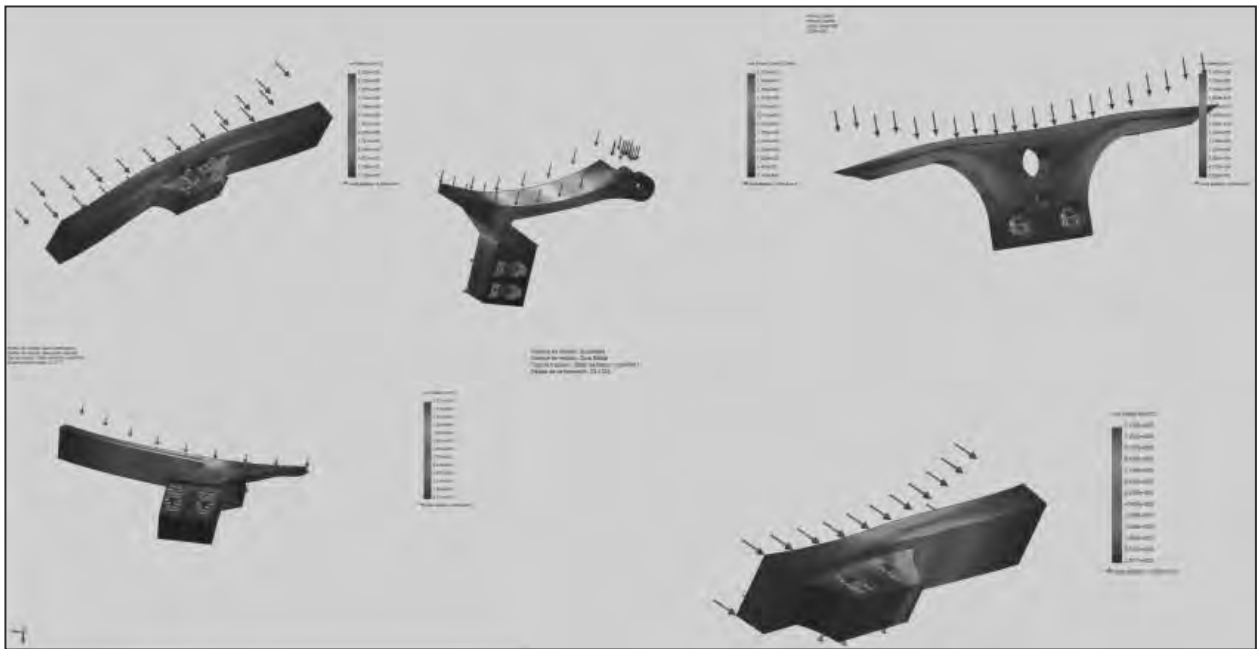
La selección del material más adecuado para el tipo de trabajo es el paso a seguir; debido a que es una variable muy importante dentro de este proyecto, porque en dos de los seis casos de guías de FP, es necesario reemplazar un mecanismo que provee una flexibilidad por medio de un resorte.

Los materiales se trabajaron con CARBOPLAST S.A. un proveedor de la planta O-I Peldar Envigado, ellos poseen patentes de materiales para soluciones industriales que poseen mejores características que los polímeros comunes. Los materiales más adecuados para la construcción de este prototipo fueron el DURATRON (tipo de polipropileno) y el POLITRON U4 (Tipo de polietileno de ultra alta densidad), estos dos materiales son patentes de CARBOPLAST S.A.

El dibujo del prototipo por medio de la búsqueda de geometrías que sean adecuadas para la conservación de ciertas medidas y que proporcionen la flexibilidad, resistencia y estética de la máquina. Para entrar a hacer el análisis adecuado de la geometría y el material, es necesario hacer una modelación en 3D en un programa CAD y realizar un análisis de elementos finitos para determinar el comportamiento de los esfuerzos y las deformaciones que se presentan con el trabajo.

Los costos son el paso a seguir para poder determinar la viabilidad del proyecto ante O-I Peldar envigado, mostrando la diferencia existente entre costos de mantenimiento de las guías metálicas y el costo general de la fabricación de este prototipo, ya que el sistema de guías pasaría a ser modular.

FIGURA 4. Análisis de elementos finitos de cada una de la guías



## RESULTADOS

Según los datos recolectados por el análisis de elementos finitos, los cuales fueron desarrollados con los valores reales de las propiedades del material, pero con una carga aplicada mucho mayor a la que realmente actúa en la máquina, se tiene como resultado que el prototipo construido es totalmente funcional y puede pasar a ser

evaluado para que la implementación de estas guías se aplique a las 24 máquinas FP de O-I Peldar.

El ruido es una variable de gran importancia dentro de cualquier empresa, cualquier reducción en los niveles, es altamente valorada. Las guías plásticas de FP logran una reducción notable en el ruido de la operación de la máquina FP, dando un valor agregado a la implementación de las guías en O-I Peldar.

El peso de las guías es mucho menor, ayudando a que los cambios sean mucho más rápidos, además el sistema en plástico es modular, simplemente se cambian y se reemplazan, no como las metálicas, que se debían reparar; ayudando a que los mantenimientos sean mucho más ágiles.

## CONCLUSIONES

Para el proceso de diseño de un elemento involucrado en la manufactura de botellas, es necesario tener entendimiento de todos los procedimientos de fabricación y características del vidrio, ya que éste posee componentes que proporcionan condiciones de trabajo hostiles a los elementos de trabajo de la maquinaria.

El prototipo funcional de guías plásticas es una opción para la mejora de los costos de operación y mantenimiento de la zona fría, por su bajo precio de construcción y rapidez de fabricación.

El diseño cumple con los requerimientos necesarios para que las condiciones de trabajo de inspección sean adecuadas, lo que implica la desaparición del posible contacto entre el metal y el vidrio que existía en el diseño viejo.

Los materiales utilizados en la construcción del prototipo de guías fueron esenciales para que el diseño haya funcionado exitosamente, ya que proveen las condiciones de flexibilidad, resistencia y costo requeridas para el proyecto y se pueden conseguir fácilmente en el área donde está ubicada la planta de O-I Peldar Envigado.

Los plásticos son una de las opciones más económicas para el remplazo de partes de maquinaria, gracias a los altos avances tecnológicos cada día se crean diferentes tipos de materiales con unas propiedades óptimas para el trabajo pesado de la industria.

## RECOMENDACIONES

Con la implementación del prototipo de guías plásticas para FP, se puede pensar en el desarrollo de un sistema de sujeción en estos materiales, para reducir el peso y mejorarle la estética a la máquina.

Investigar sobre nuevos materiales plásticos desarrollados en un futuro, que puedan mejorar la vida útil de las guías.

La geometría de las guías, se puede seguir estudiando, gracias a que los esfuerzos que tenemos por resultado del análisis de elementos finitos están muy por debajo del límite elástico de los materiales.

## BIBLIOGRAFÍA

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS. Normas colombianas para la presentación de trabajos de investigación. Quinta actualización. Bogotá, Colombia: ICONTEC, 2002. 34 p. NTC 1486.

ROBERTO RAVE, Procesamiento de plásticos, propiedades de los polímeros, Camilo Medina Cardona. Medellín: EAFIT, Agosto de 2006 (Notas de clase).

Carboplast@2008. Carboplast website. Información de materiales. [En línea]. [Citado Marzo 15 de 2008]. Disponible desde Internet: <<http://www.carboplast.com>>.

Mineraltown@2008. Tabla escala de Mohs. [En línea]. [Citado Abril 3 de 2008]. Disponible desde Internet: [http://www.mineraltown.com/infocoleccionar/dureza\\_escala\\_de\\_mohs.htm](http://www.mineraltown.com/infocoleccionar/dureza_escala_de_mohs.htm)

O-I Peldar@2008. O-I Peldar website. Información proceso productivo del vidrio. [En línea]. [Citado febrero 8 de 2008]. Disponible desde Internet: <<http://www.peldar.com.co/compania.htm>>.



O-I FP training manual@2008). O-I Peldar website Información proceso productivo del vidrio. [En línea]. [Citado febrero 8 de 2008]. Disponible desde Internet: [≤http://www.peldar.com.co/compania.htm≥](http://www.peldar.com.co/compania.htm).

Quiminet@2008. Información Polímetros. [En línea]. [Citado Marzo 14 de 2008]. Disponible desde Internet:  [<http://www.quiminet.com.mx>](http://www.quiminet.com.mx).

Textos científicos@2008 .Información Polímeros. [En línea]. [Citado Marzo 20 de 2008].

Disponible desde Internet:  [<http://www.textoscientificos.com/polimeros>](http://www.textoscientificos.com/polimeros)

Wikipedia@2008. Enciclopedia virtual. [En línea]. [Citado Abril 2 de 2008]. Disponible desde Internet:  [<http://www.wikipedia.com>](http://www.wikipedia.com).

# PROPUESTA DE MEJORAMIENTO SOBRE LA IMPLEMENTACIÓN DE PASO UNO Y DOS DEL PILAR DE MANTENIMIENTO PLANEADO EN COMPAÑÍA DE GALLETAS NOEL S.A.

CRISTIAN CAMILO VELÁSQUEZ ARISTIZÁBAL

cvelasq5@eafit.edu.co

Departamento de Ingeniería Mecánica

JORGE ESTEBAN AVALOS PATIÑO

javalo5p@eafit.edu.co

Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREAS DE ÉNFASIS

MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

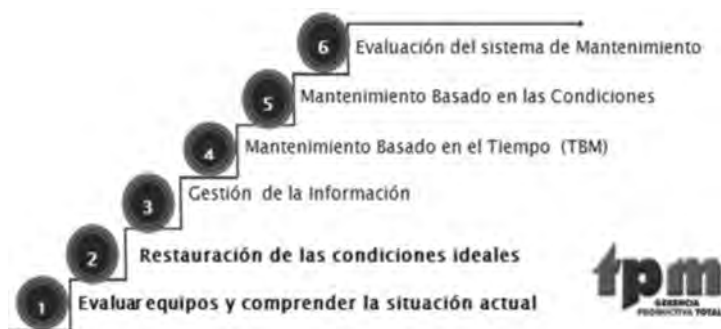
DISEÑO DE SISTEMAS TÉCNICOS

ASESOR

JUAN PABLO AGUDELO

SECTOR BENEFICIADO

COMPAÑÍA DE GALLETAS NOEL S.A.



## RESUMEN

El proyecto fue realizado con el objetivo de proponer mejoras en la implementación de la metodología TPM para el pilar de mantenimiento planeado, enfocados en el primer y segundo paso. Para esto se realizó un diagnóstico del estado actual de implementación identificando fortalezas y oportunidades de mejora para cada uno de los dos pasos y para la forma como se realiza el seguimiento al proceso de implementación.

Partiendo de este diagnóstico, se plantearon mejoras a cada una de las oportunidades detectadas y se recopiló fortalezas y mejoras planteadas en un plan maestro de implementación propuesto. Adicionalmente se diseñó una plantilla de certificación del pilar para paso 1 y paso 2, y se realizaron algunas propuestas para una relación más cercana entre el pilar de mantenimiento planeado, autónomo y educación y entrenamiento.

## ABSTRACT

The project was performed with the objective to propose improvement in the TPM methodology implementation in the MP pillar, this was focused in first and second step. For this was realized a diagnostic of the actual situation, identifying strength and improvement opportunities for each one of both steps and monitoring process implementation.

Based in this diagnostic, was proposed improvements for each detected opportunity and was compiled strength and improvement opportunities in a Master Plan implementation proposed. Additionally was designed a template certification for 1 and 2 step and was realized some proposals for a close relation between Planned Maintenance pillar, Autonomous Maintenance pillar and Education and Training pillar.

## **PALABRAS CLAVE**

TPM (Gerencia Productiva Total), Pilar, Mantenimiento Planeado, Paso 1, Paso 2, Plan Maestro, Certificación, Mantenimiento Autónomo, Educación y Entrenamiento.

## **KEY WORDS**

TPM (Total Productive Management), Pilar, Planned Maintenance, Step 1, Step 2, Master Plan, Certification, Autonomous Maintenance, Education and Training.

## **INTRODUCCIÓN**

Dentro del competitivo mundo industrial actual, es necesario que las empresas busquen alternativas para destacarse sobre sus rivales, para esto pueden optar por la diferenciación de sus productos, destacando sus bondades frente a similares, por otra parte pueden decidir competir a través de los precios, logrando así atraer una mayor cantidad de público, sin embargo estas estrategias no pueden garantizar por sí mismas el éxito de la compañía si no están apoyadas en modelos productivos altamente eficientes, es por esto que se ha hecho necesario adoptar metodologías enfocadas a incrementar la productividad para promover un crecimiento rentable y de este modo lograr los objetivos corporativos de las empresas.

TPM es una metodología orientada al mejoramiento industrial ampliamente difundida, y enfocada al crecimiento basado en la eliminación de las pérdidas, de este modo se atacan los problemas de raíz y de una manera compatible con cualquier estrategia que busque el crecimiento de una compañía. Sin embargo, a pesar de la connotación que ha adquirido TPM a través del tiempo, este surgió como una metodología de mantenimiento, enfocada a reducir las

fallas de los equipos, este concepto se encuentra ahora consignado en el Pilar de Mantenimiento Planeado, el cual es el objeto de este proyecto.

En este proyecto se presenta una propuesta de mejora a la implementación del pilar de Mantenimiento Planeado en una empresa del sector alimenticio, enfocados en la estrategia de lograr cero averías al costo óptimo, partiendo de la correcta implementación del paso 1 y 2.

## **ANÁLISIS DEL ESTADO ACTUAL DE IMPLEMENTACIÓN DEL PILAR DE MANTENIMIENTO PLANEADO EN LA COMPAÑÍA DONDE SE REALIZA EL PROYECTO**

Para realizar el diagnóstico, se partió de un análisis sobre la implementación de cada uno de los dos pasos del pilar de mantenimiento planeado:

### **ESTADO DE IMPLEMENTACIÓN DE PASO 1: “EVALUAR LOS EQUIPOS Y COMPRENDER LA SITUACIÓN ACTUAL”**

Análisis de:

- Estructura del área de mantenimiento.
- Estado de implementación del registro de equipos: Codificación de equipos, Levantamiento de Maestro de equipos, Actualización de Repuestos de Equipos, etc.
- Estado de implementación de la Evaluación de los equipos según la prioridad.
- Estado de implementación de la definición de prioridad de fallas y niveles de falla:

FIGURA 1. Matriz de Criticidad de averías

Criticidad de Averías	$X < 10$ Min	$10 < X < 20$	$20 < X$
Sin Conocimiento Profesional			
Con Conocimiento Profesional			
Con Conocimiento de Experto			

Leve	Media	Grave
------	-------	-------

Documentación área de Mantenimiento

Estado de implementación del levantamiento de indicadores orientados a cero fallas y costo óptimo y sus metas.

### **DESCRIPCIÓN DEL ESTADO DE IMPLEMENTACIÓN DE PASO 2: “RESTAURACIÓN DE LAS CONDICIONES IDEALES”**

Análisis de: Estado de implementación de la Restauración del deterioro forzado y cumplimiento de las condiciones básicas y estado de implementación de las herramientas de Análisis de Falla.

### **FORTALEZAS Y OPORTUNIDADES DE MEJORA EN EL PROCESO DE IMPLEMENTACIÓN DEL PILAR DE MANTENIMIENTO PLANEADO EN LA COMPAÑÍA DONDE SE REALIZA EL PROYECTO**

Basados en las observaciones del anterior capítulo, en el cual se analizó la situación actual de la implementación de la metodología TPM, del pilar de Mantenimiento Planeado; se detectaron situaciones específicas que pueden ser destacadas como fortalezas u oportunidades de mejora agrupadas en tres aspectos, así:

### **Metodología y Seguimiento a la implementación**

- Fortalezas: Metodología apoyada desde la alta dirección, conformación de la Secretaría TPM, liderazgo estratégico, alineamiento entre los objetivos de la compañía y la implementación de la metodología TPM, y piloto de implementación de la metodología.
- Oportunidades de Mejora: No se detectaron.

### **Paso 1: “Evaluar los equipos y comprender la situación actual”.**

- Fortalezas: Conformación el equipo de mantenimiento planeado, Codificación y Registro de equipos, y evaluación de los equipos según prioridad.
- Oportunidades de Mejora: Variación continua en los formatos, cambio de sistema de información, clasificación de niveles de falla, y falta de estandarización de la información (Ampliación numeral 3).
- Propuestas de Mejora: Disminuir el impacto de la variación continua en los formatos, potencializar el cambio de sistema de información, estandarización de la información y asociar la Clasificación de niveles de falla con el nivel de criticidad de los equipos.

FIGURA 2. Propuesta de Niveles de Falla

CONOCIMIENTO		
SIN CONOCIMIENTO PROFESIONAL	CON CONOCIMIENTO PROFESIONAL	CON CONOCIMIENTO DE EXPERTO
1	2	3

CRITICIDAD DE EQUIPO		
C	B	A
1	2	3

DURACION		
MENOS DE 10 MIN	ENTRE 10 Y 30 MIN	MAS DE 30 MIN
1	2	3

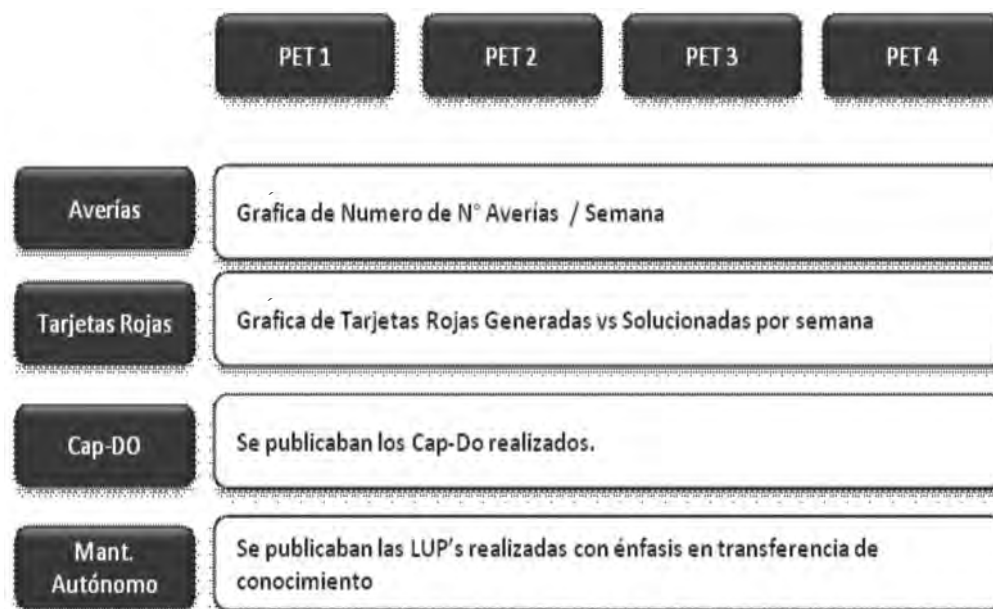
ESCALA DE EVALUACION	
3 Y 4	LEVE
5 Y 6	MEDIA
7, 8, 9	GRAVE

Toda la información anterior, incluyendo fortalezas y propuestas de mejora se consolidó en un plan maestro de implementación teniendo en cuenta una parte inicial de preparación para la implementación, paso 1 y paso 2 en un horizonte de tiempo de 18 meses según la magnitud de la compañía.

## **CONSTRUCCIÓN Y SEGUIMIENTO DE INDICADORES DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO COMO HERRAMIENTA PARA MEDIR EL DESEMPEÑO DE LA IMPLEMENTACIÓN**

FIGURA 3. Esquema Tablero de Técnicos (Inicial)

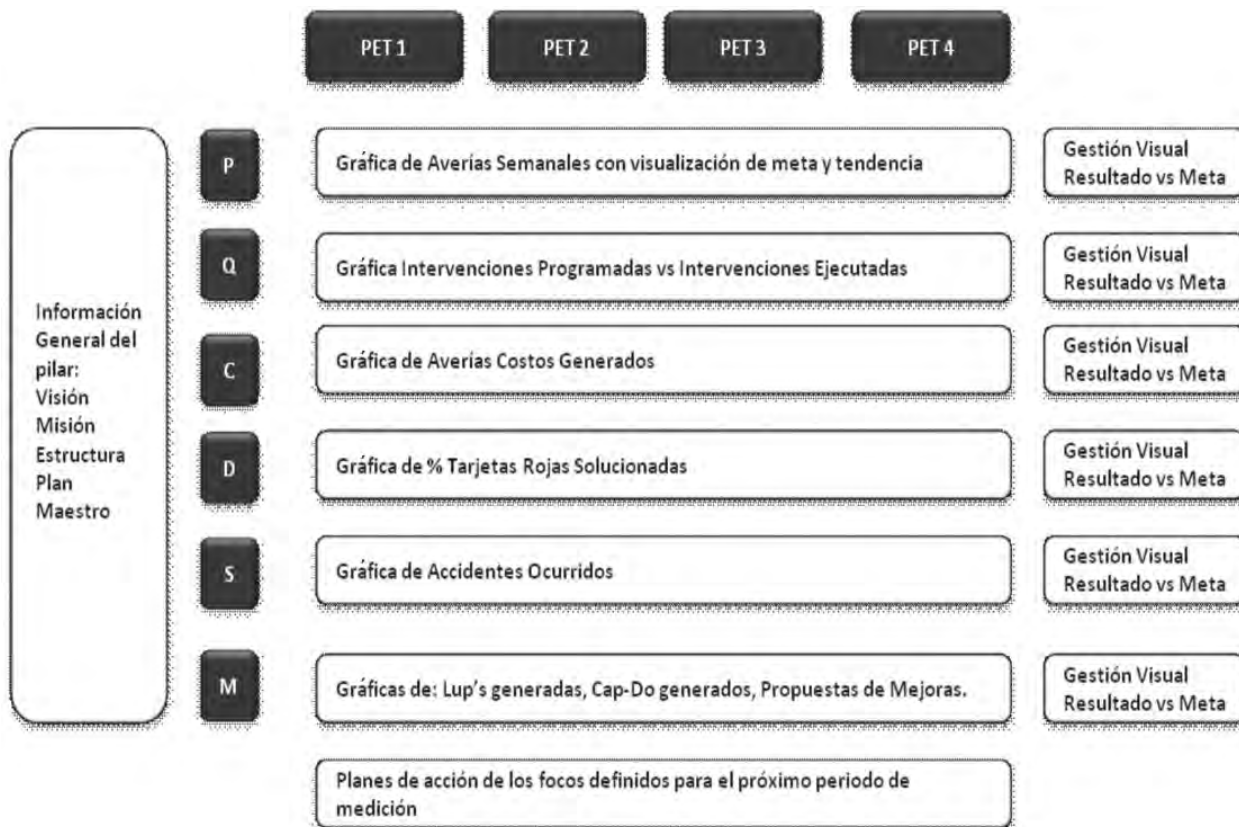
La situación inicial de seguimiento de indicadores mostraba un esquema según el cual no se podía establecer claramente



la relación entre la información que fluía a diferentes niveles (Técnicos, Jefes de Mantenimiento, Dirección de producción y mantenimiento), debido a esto no existía una adecuada gestión de los indicadores orientados a los resultados, además no estaban alineados con los indicadores estratégicos de la compañía y por lo tanto no se podía establecer un enlace adecuado de los indicadores y de la gestión surgida de éstos.

Por lo anterior, se rediseñaron los tableros de los técnicos, de cada una de las tecnologías (jefes de mantenimiento), y el tablero de mantenimiento (General); cumpliendo con el mismo esquema del tablero de la Dirección producción y Mantenimiento haciendo así más fácil la consolidación de la información y la toma de decisiones oportuna.

**FIGURA 4**  
Esquema Tablero Actual de Técnicos de Mantenimiento / Pet



## PLANTILLA DE CERTIFICACIÓN PROPUESTA PARA AUDITAR LA IMPLEMENTACIÓN DE PASO UNO Y DOS DEL PILAR DE MANTENIMIENTO PLANEADO

TABLA 1. Plantilla de evaluación del proceso de implementación del pilar de mantenimiento planeado

PASO	ACTIVIDADES	OBJETIVO	PORCENTAJE DE IMPLEMEN					
			20%	30%	40%	50%	60%	
<b>PASO 1</b>	PREPARAR O ACTUALIZAR LOS REGISTROS DE LOS EQUIPOS.	IDENTIFICACION DE EQUIPOS EN PLANTA.	Elaborar Formato Registro de equipos (nombre, capacidad, repuestos, ubicación, etc...)		Establecer ubicación de registros planos de los equipos, aplicar 5 eses planos			
	EVALUAR EQUIPOS: ESTABLECER CRITERIOS DE EVALUACION, PRIORIZACION (CRITICIDAD).	DEFINICION DE CRITICIDAD A B C.	Elaborar listado de maquinas o áreas	Establecer criterios ABC	Establecer peso (%) de cada criterio	Hacer primera valoración ABC	Revisar con jefe de producción o jefe de equipo	Establecer indicadores de equipos
	DEFINIR NIVELES DE FALLA.	DEFINICION DE NIVELES DE FALLA (GRAVE, MEDIA, Y LEVE)	Reportar tiempos de paro (operación)	Definir clasificación de tiempo improductivos Definición de avería				
	COMPRENDER LA SITUACION: MEDIR NUMERO DE AVERIAS, FRECUENCIA, SEVERIDAD, PAROS MENORES, COSTOS.	IMPLEMENTACION	Definir indicadores de mantenimiento a	Asignar escalas y Unidades de			Relaci. mant.	

## ESTRATEGIA DE ENTRENAMIENTO, RELACIÓN CON EL PILAR DE MANTENIMIENTO AUTÓNOMO Y EL PILAR DE EDUCACIÓN Y ENTRENAMIENTO

FIGURA 5. Modelo de análisis y entrenamiento para averías



## CONCLUSIONES

El proceso de implementación de TPM debe contar con el apoyo y soporte de toda la empresa, fundamentado desde sus directivos, sin el soporte adecuado de la administración de la compañía el proceso puede verse altamente debilitado, entorpeciendo su avance e inclusive poniendo en riesgo el éxito del proceso de implementación.

El enfoque de la implementación de TPM debe estar alineado con los objetivos corporativos de la compañía para que sea coherente con la orientación de la compañía y apunten al logro de los mismos objetivos.

Los indicadores de gestión son una herramienta vital para la toma de decisiones, por lo tanto siempre deben de estar bien definidos, estableciendo metas adecuadas y en continuo seguimiento, de modo que se conviertan en información oportuna acerca del estado del área de mantenimiento y así apoyar de manera más efectiva y eficiente las necesidades que los procesos de producción demandan, además de esto, los indicadores permiten identificar focos de mejoramiento y medir la efectividad de las acciones tomadas a partir del correcto uso de la información que proporcionan.

Partiendo del hecho de que la información debe ser la herramienta básica para la toma de decisiones, se concluye que se debe asegurar el registro oportuno de datos y la calidad de la información final para que las decisiones no se vean afectadas por desviaciones originadas por errores de procedimiento durante el seguimiento y recolección de datos.

La gestión tanto de la información como de los equipos, debe estar siempre apoyada con ayudas visuales que favorezcan la difusión tanto de la información como del conocimiento, por lo tanto debe hacerse especial énfasis en la gestión visual tanto de la información (a través de tableros informativos y de seguimiento) como de controles visuales sobre condiciones o parámetros de las máquinas.

Siendo el proceso de implementación de TPM un proceso complejo, que requiere de gran participación por parte de los miembros de la compañía, es necesario definir de manera organizada el despliegue de actividades que definan tanto el avance como la participación de los integrantes de la compañía, esto demuestra la importancia del uso de un plan maestro que oriente el proceso.

Dentro del seguimiento de las actividades de implementación del pilar de mantenimiento planeado, se debe hacer seguimiento tanto al desempeño como a los resultados, de esta manera se puede determinar la efectividad de la implementación del pilar dentro de la compañía, ya que las variaciones en los resultados deben ser el reflejo de las mejoras asociadas a la implementación del pilar, y las variaciones en los desempeños deben ser una herramienta para el mejoramiento continuo del pilar, siendo este seguimiento a los indicadores la información de entrada para la adecuada toma de decisiones.

Este proyecto parte de un proceso de implementación de la metodología TPM existente hace algunos años en la compañía. Durante este tiempo se ha generado ya una cultura de implementación entre todas las personas de la planta las cuales ya están familiarizadas con conceptos, terminologías, procedimientos, etc. Esta cultura ya generada en los colaboradores de la planta es uno de los factores más influyentes para que actualmente se esté logrando implementar la metodología de una forma más fluida, es decir, en menos tiempo y de manera más exitosa logrando los objetivos planteados.

Uno de los aspectos que se observó que inicialmente no permitía un buen flujo de implementación de la metodología en la planta en general es la relación establecida entre técnico y operario (Mantenimiento planeado y Mantenimiento Autónomo) ya que ambas eran personas con mucho recorrido y experiencia en el proceso y las dos partes querían hacer respetar su posición y su forma de actuar según la situación. Detectado esto, se planeó de una



forma diferente la relación entre las dos partes llevándolos a que fueran más objetivos con las situaciones, y por medio de estandarización de actividades evitando así el actuar según el criterio de una u otra parte.

La estrategia de relación propuesta con el pilar de educación y entrenamiento es un ciclo continuo que al llegar a su fin siempre debe retroalimentar el inicio del proceso porque este es de mejoramiento continuo ya que constantemente con el aporte de los técnicos y operarios se encuentran mejores formas de solucionar las situaciones que se presentan logrando alcanzar metas más exigentes de cara a los resultados de los indicadores.

Anteriormente aunque cada pilar mantenía informados de sus actividades a los demás pilares, estas actividades no se planeaban de forma conjunta, observando así que en algunas ocasiones estas actividades no cumplían totalmente el objetivo planteado, ante esto se definió que entre los pilares de Mantenimiento planeado, Mantenimiento Autónomo y Educación y Entrenamiento debe haber una relación más cercana y una planeación de actividades conjuntas logrando así un mejor cumplimiento de cada una de las actividades planeadas y un mejor resultado de estas actividades, entre ellas: paradas autónomas, transferencia de conocimiento, apoyos en limpieza, etc.

## BIBLIOGRAFÍA

WIREMAN, Terry. Total Productive Maintenance [en línea]. 2. Ed. New York. Industrial Press Inc, 2004. <<http://www.books.google.com>> [consulta: 19 Jul: 2008].

GOTOH, Fumio. Equipment Planning for TPM: Maintenance Prevention Design. Portland, OR. Productivity Press Inc. 1991. ISBN 0915299771, 9780915299775

MOUBRAY, John. Reliability Centered Maintenance. New York: Industrial Press Inc. 2004. ISBN 0831131462, 9780831131463

WIREMAN, Terry. Inspection and Training for TPM. 1. Ed. New York: Industrial Press Inc, 1992. ISBN 0831130423, 9780831130428

SUZUKI, Tokutaro. TPM in Process Industries. Portland. Productivity Press Inc, 1994. ISBN 1563270366, 9781563270369.

RAJIV, Kumar Sharma, DINESH, Kumar and PRADEEP Kumar. Manufacturing Excellence through TPM Implementation: a practical analysis. En Industrial Management & Data Systems [en línea]. Vol 106, No 2 (2006); p 256-280 <[www.emeraldinsight.com/0263-5577.htm](http://www.emeraldinsight.com/0263-5577.htm)> [consulta: 21 Jun. 2008].

Mora Gutiérrez, Luis Alberto. (2007). Mantenimiento Estratégico Empresarial: Enfoque Sistémico Kantiano. ISBN: 978-958-8281-8281-46-9.

Conversaciones con el Ingeniero Luis Felipe Velásquez López, Jefe de Mantenimiento Compañía de Galletas Noel S.A.

# ADAPTACIÓN DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN AM EN UNA EMPRESA DEL MEDIO TEXTIL

JUAN DAVID RAMÍREZ BETANCUR

Jramir44@eafit.edu.co

Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS

MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

ASESOR PRINCIPAL

PABLO ENRIQUE PINILLA

SECTOR BENEFICIADO

UNIVERSIDAD EAFIT

ENKA DE COLOMBIA S.A

## RESUMEN

El propósito de este proyecto es adaptar la estructura de mantenimiento con la que cuenta actualmente Enka de Colombia S.A para el sostenimiento de los equipos, al sistema de información AM. También se plantearán nuevas alternativas de mantenimiento en las que se estudiarán las posibilidades que ofrece el programa en sus diferentes aplicaciones. Con el fin de evaluar el comportamiento de los equipos a través del tiempo.

## ABSTRACT

The purpose of this project is to adapt the structure keeping with the currently Enka de Colombia SA for the upkeep of equipment, information systems AM. It also raised new ways of keeping in to explore the possibilities offered by the program in its various applications. In order to evaluate the performance of the equipment over time.

## PALABRAS CLAVES

CMMS: Sistema computarizado para la administración de mantenimiento.

Orden de trabajo: Es el conjunto de información o registró de una actividad de mantenimiento por ejecutar o en ejecución.

Programas de mantenimiento: Conjunto de información que se define para que se genere una orden de trabajo de mantenimiento programado.

Indicador: Expresión cualitativa o cuantitativa utilizada para medir el comportamiento de los equipos.

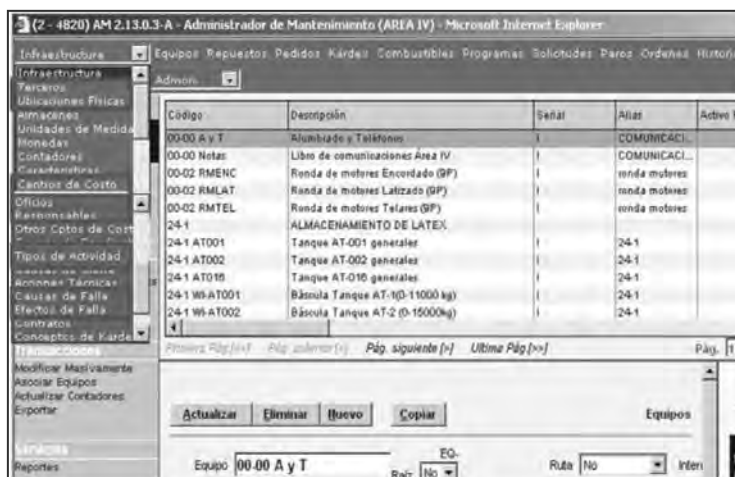
## KEY WORDS

CMMS: Computerized maintenance Management system.

Work order: It is all recorded information or an activity or perform maintenance in progress.

Maintenance program: Set of information that is defined so that it generates a work order for scheduled maintenance.

Indicator: Qualitative or quantitative expression used to measure the behavior of the teams.



## **INTRODUCCIÓN**

La realidad empresarial del nuevo siglo se traduce en retos muy importantes para las empresas colombianas, con los nuevos tratados, es necesaria una garantía de su producción con las especificaciones acordadas y pactadas. Esto, induce a que los empresarios dentro de sus organizaciones se preocupen por crear líneas de producción más eficientes, que les permitan satisfacer las necesidades del mercado.

Además, se debe garantizar una alta confiabilidad en los equipos para que cuando el área de producción demande de sus servicios, éstas presten de una manera eficaz y oportuna la labor encomendada.

La experiencia empresarial demuestra que los equipos industriales utilizados en la producción de bienes y servicios se ven claramente influenciados por constantes degradaciones debido a su uso, tiempo y la tecnología, por esto, la demanda en mantenimiento requerirá atención y monitoreo para que las degradaciones no afecten ni la calidad, ni los volúmenes de producción.

El lograr resultados exige la inversión en un conjunto de herramientas para gerenciar las funciones relacionadas con el mantenimiento: administración de equipos e inventario de repuestos, ordenes de trabajo, planeación, presupuestación, programación, control y seguimiento a la ejecución, registro histórico, mantenimiento preventivo y predictivo programados, y seguimiento cercano a toda actividad pendiente y análisis de la información. Al tiempo que permite incrementar la capacidad productiva de los equipos y maquinaria, también mejora la eficiencia de los trabajos de mantenimiento, permitiendo la reducción de costos administrativos y operativos mediante la optimización de los recursos y los activos de la empresa y la programación y control de todas las actividades propias del área.

La adaptación del sistema en Enka de Colombia S.A. logrará servir de apoyo a todas las funciones administrativas relacionadas con la planeación, programación, presupuestación y análisis de la información de mantenimiento. Al poseer una base de datos completamente

actualizada e integrada ayudara a evaluar el comportamiento de los equipos y prever fallos posteriores.

## **DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA**

Enka de Colombia S.A. es una empresa dedicada a la producción y comercialización de polímeros y fibras químicas de poliéster y nylon, materias primas para la industria en forma de gránulos, fibras, filamentos textiles e industriales y lona para llantas. Con estos insumos cientos de empresas fabrican envases, hilos, telas no tejidas, rellenos, redes de pesca, bandas transportadoras, carpas, llantas y muchos otros productos de excelente calidad que mejoran el nivel de vida y permiten el desarrollo de Colombia.

Hoy en día Enka de Colombia S.A se ha convertido en el mayor fabricante de fibras sintéticas del Grupo Andino, ampliando su oferta de productos.

## **PROPUESTA DEL PROYECTO**

El proyecto se planteo en varias etapas, con el fin de que logran poder administrar las funciones de mantenimientos. Se empezaría recolectando información de las diferentes formas de trabajo y el aprovechamiento del sistema para su ejecución. Luego se haría unas actualizaciones necesarias para la creación de programas y generación de órdenes de trabajo, que permitirían tener información sobre tiempos, procedimientos y presupuestos de todas las diferentes actividades realizadas o por realizar. Una vez se contara con la información necesaria se establecerían indicadores para el seguimiento y cumplimiento de las todas las labores que se realizan diariamente, ayudando a tener un control sobre los equipos y disminuir los tiempos muertos presentes en una mala organización.

## **MODELO DE ADAPTACIÓN - ACTUALIZACIÓN DE LA BASE DE DATOS**

Con base en el diagnóstico inicial realizado a las áreas de mantenimiento, se establecieron los módulos que necesitan mayor cantidad información para alimentar los programas, equipos y generar las órdenes de trabajo. A continuación se presentan las actualizaciones correspondientes.

Responsables: se integraron las personas encargadas de realizar labores correspondientes a reparaciones de daños que ocurren en el área, el cual está constituido por mecánicos, soldadores, torneros, fresadores y contratistas. Ubicaciones físicas: Están asociadas directamente con la ubicación geográfica del equipo y se integraron de acuerdo al manejo de nomenclatura que posee el departamento de diseño en donde se ubican las áreas y los metros de altura en los que se encuentra.

Centro de costos: Se codificaron de tal forma que los costos de mantenimientos estén referenciados a las líneas de producción. Tipos de actividad: Están asociados directamente a las órdenes de trabajo y se establecieron de tal forma que los mecánicos se guíaran en la elaboración de sus mantenimientos, algunas de las actividades que se ingresaron son las inspecciones, lubricaciones, modificaciones, etc.

Causas de falla: los problemas referenciados con desalineamiento, filtros sucios, rodamientos malos, desgaste, fugas son algunos de los que se integraron para poder hacer un análisis de fallos más frecuentes en cada equipo a través de un historial. Efectos de falla: Como todo efecto tiene una causa, se asociaron los problemas generales más frecuentes, en donde se estableció ingresar los llamados de producción como el motor no prende, las galletas no calientan, el tornillo de inyección no se mueve, el multiciclón está pegado. Entre otros.

La actualización de datos permite dar paso a la generación de órdenes de trabajo y mantenimientos programados, debido a que el programa funciona bajo información ya establecida desde la infraestructura que es como la base de datos del programa.

FIGURA 3. Infraestructura

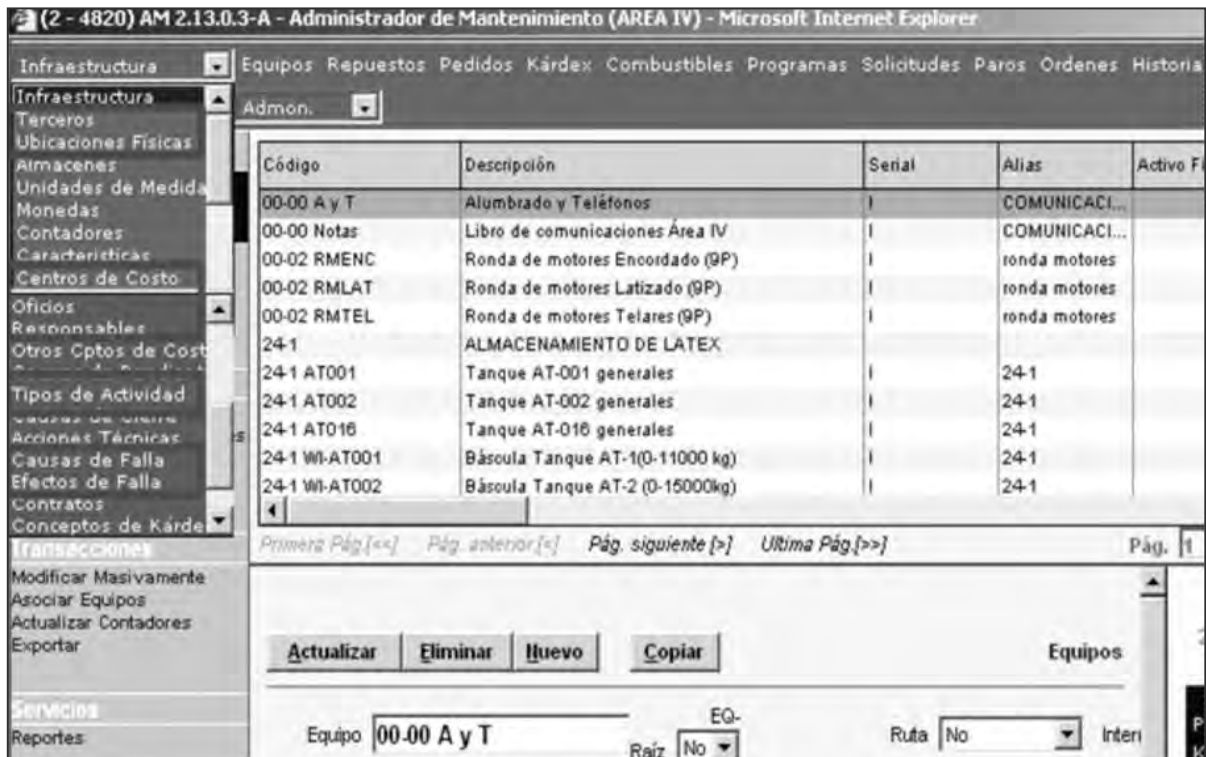
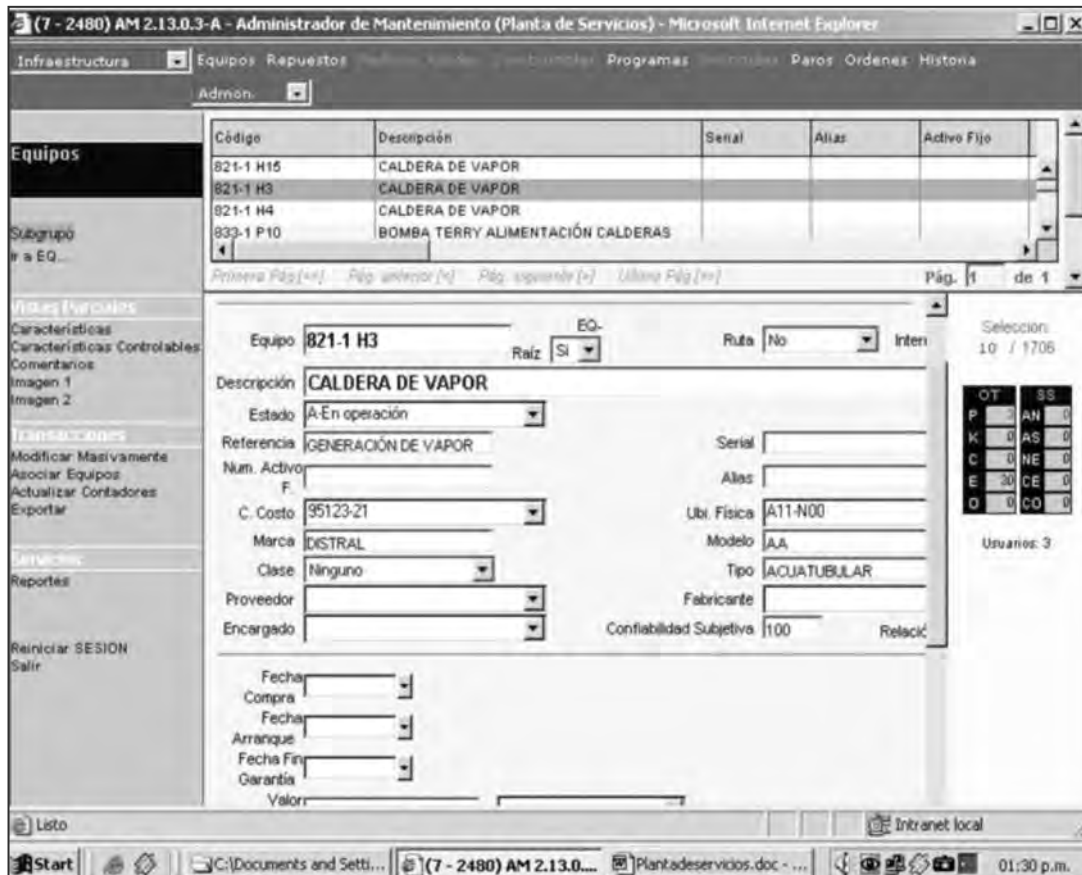


FIGURA 2. Equipos



## PROGRAMACIÓN DE MANTENIMIENTOS

Con la ayuda de los datos que se ingresaron al sistema, se plantean 2 formas de trabajo en las que se podrá tener control tanto en los equipos críticos como no críticos.

## RONDAS DE INSPECCIÓN

La primera de ella consiste en la elaboración de rondas de inspección y generación de órdenes manuales por anomalías. El procedimiento consistía en dividir en rondas a los equipos críticos y no críticos que no tuvieran

definido una programación de frecuencias establecidas como cambios de piezas cada cierto tiempo o de ciertas horas, y de los cuales no se tenían mucho registro por su alta confiabilidad. Con el fin de tener control sobre ellos y no dejarlos trabajar hasta el correctivo o un fallo inesperado.

La división de las rondas se realizaron según la cantidad mecánicos de turno 1,2 y 3 del área, dichas rondas se programaron y se asociaron a los responsables de la ejecución los cuales tenían que revisar el sistema en el modulo de ordenes de trabajo y descargar el archivo adjunto de los equipos a los que se le realizarían las inspecciones.

FIGURA 3. Programas de las rondas de inspección

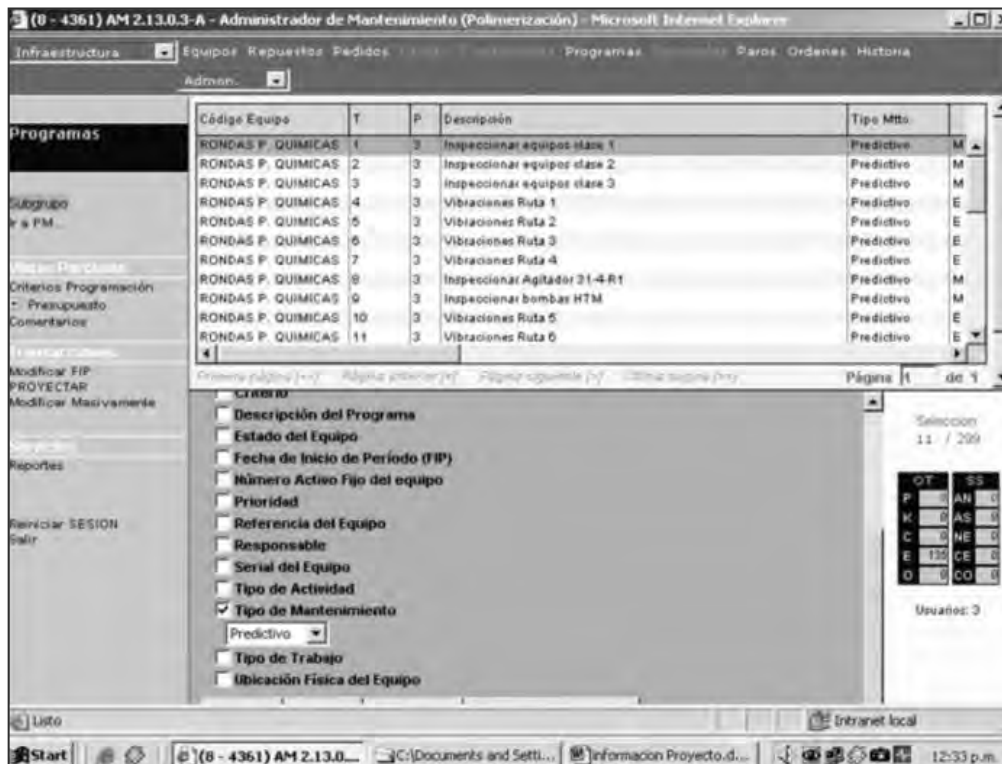


FIGURA 4. Órdenes de trabajo con archivos asociado



De igual forma se trabajaría para los equipos rotatorios a los que se les programaron rondas de análisis de vibraciones y se asociaron archivos de Excel donde informaban el estado del equipo en velocidades horizontales, verticales, axiales y de envolvimiento. Según una escala de colores se generaría ordenes manuales.

FIGURA 5. Formato de análisis de vibraciones

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following content:

**CONTROL GRAFICO DE VIBRACIONES**

EQUIPO: U44-2 P6 Bomba\_Centrifuga    **BUENO**    **ALARMA**    **GRAVE**

CLASE: 2    2

PUNTO 1    2008

SEMANA	23	32	6	36								
LECTURA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
HI	1,1	0,8										
VI	0,8	0,7										
A1	1,2	1,2										
HE	1,3	1,2										

PUNTO 2

H2	5,3	5,7										
V2	0,9	1,2										
A2	1,8	2										
HE	2,7	0,9										

PUNTO 3

H3	1,3	1,4										
V3	2	1,8										
A3	1,1	1,2										
HE	2	1										

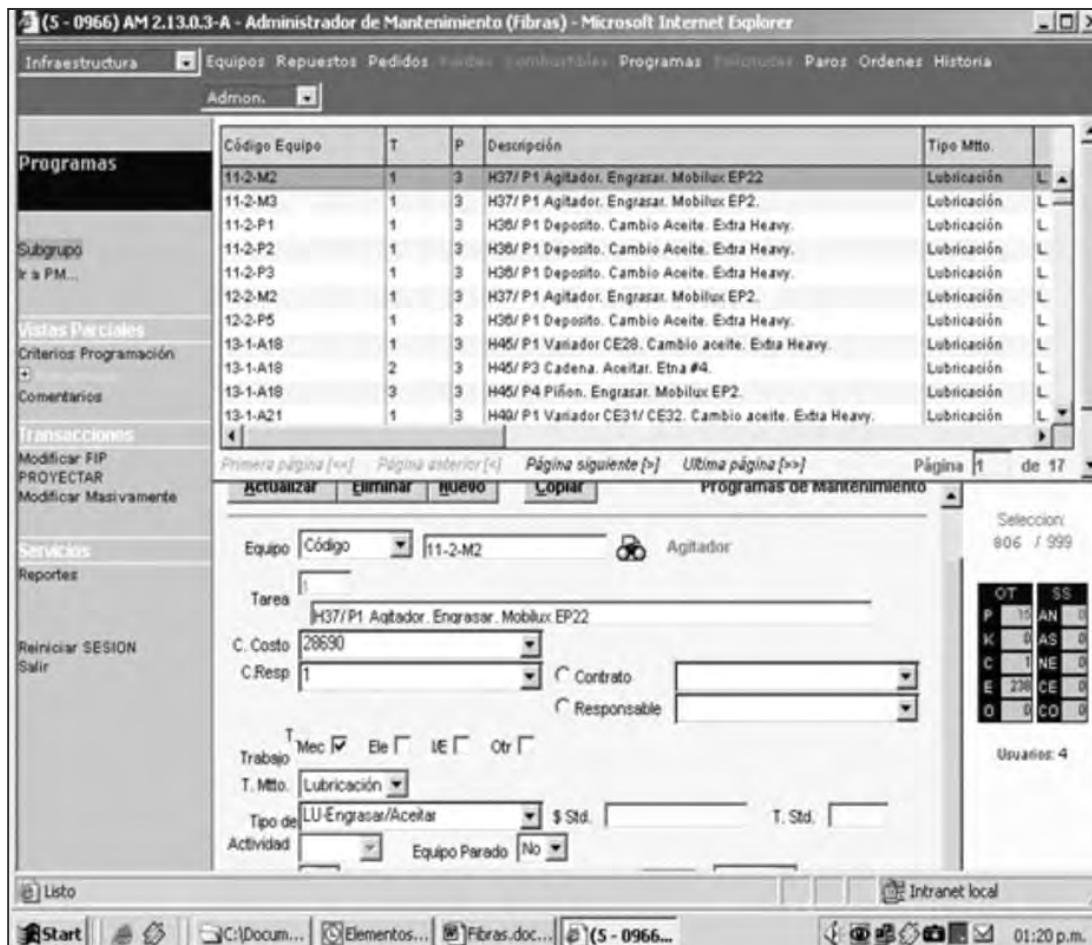
En esta forma de inspecciones los mecánicos no tenían definida la labor a realizar, si no que de acuerdo a las revisiones surgían las actividades.

## PROGRAMAS DEFINIDOS

La segunda forma de trabajo consistió en reunir e ingresar al AM la información de las actividades programadas

que se tenían en papeles o que por la experiencia de los mecánicos se habían establecido. Esta forma de trabajo le dice a los mecánicos las labores o actividades que se deben de realizar cada semana y solo tienen que ir al modulo de ordenes de trabajo y podrán visualizar el equipo, la ubicación física, la actividad y los repuestos necesarios para ejecutar dicho trabajo.

FIGURA 6. Programas establecidos



## METODOLOGÍA PARA LA GENERACIÓN DE ÓRDENES

Las rondas consisten inspecciones de variables como fugas, altas temperaturas, bajo nivel de aceite, vibraciones altas y otros presentes en los equipos. Una vez es revisado el equipo se debe de anotar en la hoja, las anomalías que presenta, para luego crear una orden en estado pendiente que permita a los mecánicos saber cuáles son las ordenes que se están dejando de solucionar.

Cuando la orden se ejecuta, se cierra involucrando los tiempos de reparación, causas de falla, efectos de falla y horas de información del paro, fecha y hora de atención; para luego ser tomados en cuenta en un análisis de indicadores o reportes.

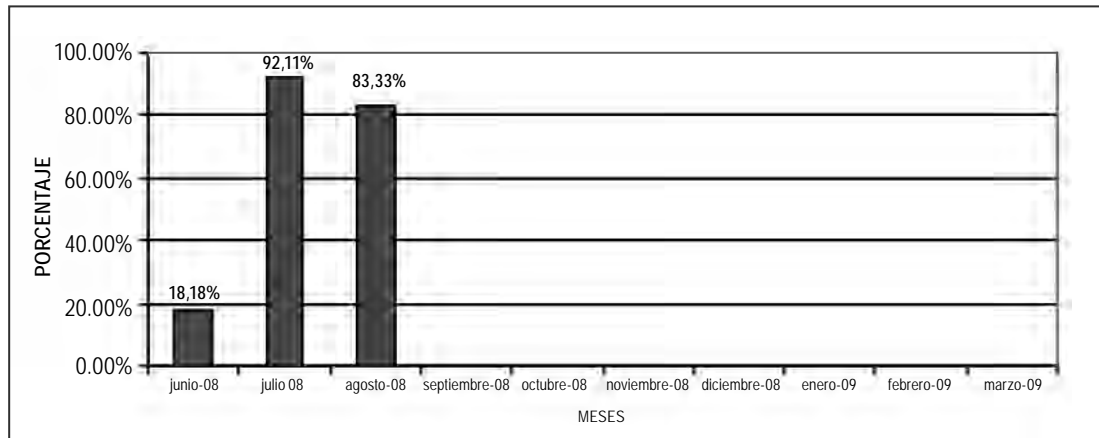
## INDICADORES DE SEGUIMIENTO

Para facilitar la evaluación de las actividades de mantenimiento, permitir tomar decisiones y establecer metas, se crearon informes específicos formados por indicadores, en los que se representan todas las actividades de mantenimiento, inspecciones, lubricaciones, correctivos, etc.

El primer indicador establecido en la empresa hace referencia al cumplimiento del mantenimiento preventivo, el cual me indica si las ordenes programadas si se están ejecutando e enviados a historia o se están quedando en el módulo de ordenes de trabajo sin ejecutar.

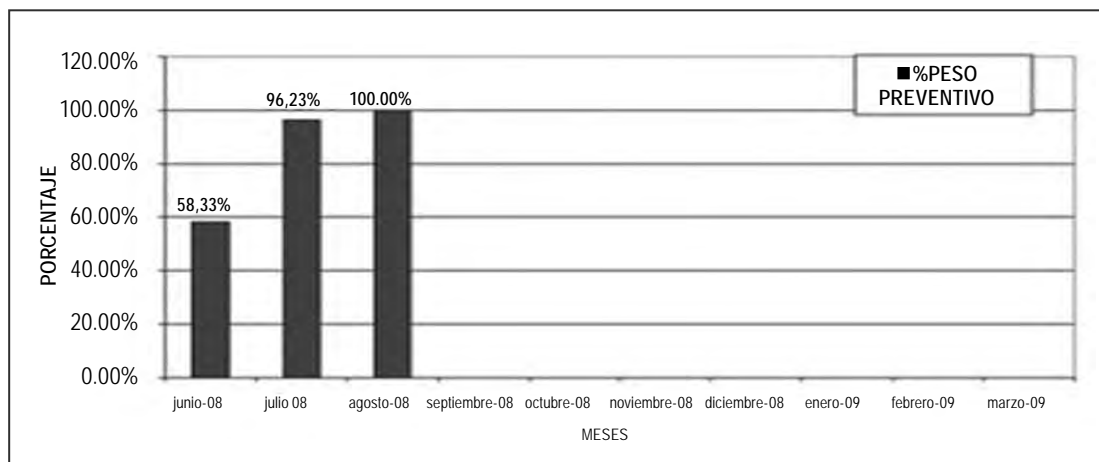


FIGURA 7. Porcentaje de cumplimiento del mantenimiento preventivo



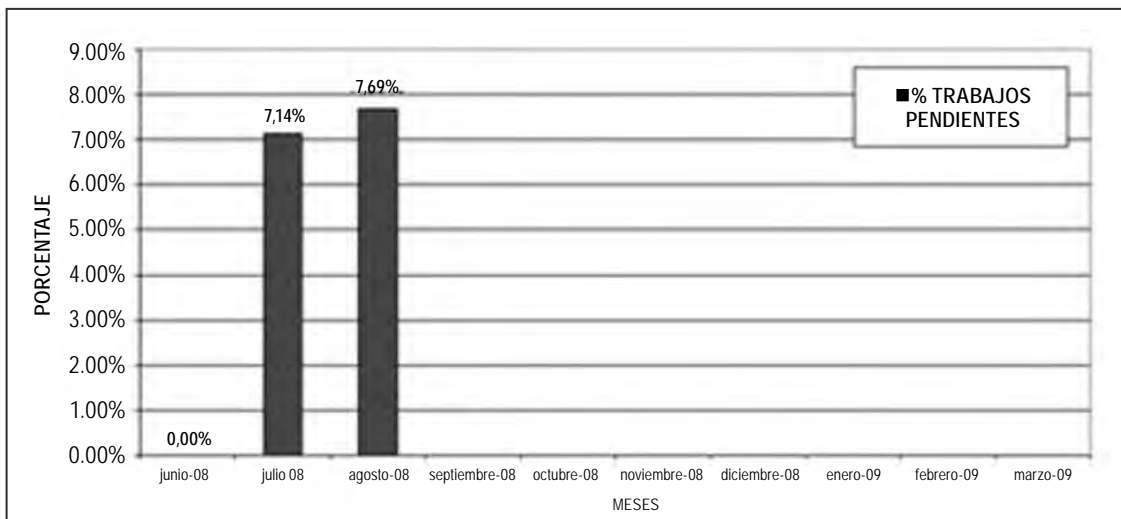
El segundo indicador toma en cuenta no solo los mantenimientos preventivos, sino también los correctivos. Lo que se quiere mostrar es si realmente una buena ejecución programada, permite disminuir los fallos imprevistos, este indicador se le denominó como el porcentaje del peso del preventivo sobre el correctivo, en donde cualquier reparación no programada disminuye el resultado.

FIGURA 8. Porcentaje del peso del preventivo sobre el correctivo



Por último se reunieron todas las actividades de mantenimiento con las que cuenta la empresa, y se definió un indicador en los que se muestra que ordenes se están quedando pendientes y que pueden generar fallos posteriores.

Figura 9. Porcentaje de todos los trabajos pendientes



Unos porcentajes altos en estos indicadores permitirán sostener a los equipos en periodos de vida útil, debido a que para que las maquinas no pasen a estado de envejecimiento, se deben de cumplir con lubricaciones, análisis de vibraciones, preventivos, etc.

## RECOMENDACIONES

El personal a pesar que fue capacitado en diferenciaciones de los mantenimientos correctivos, preventivos y predictivos se les debe recordar y evaluar cada vez que sea necesario para poder lograr que la información sea real y no se estén sacando indicadores con credibilidad baja.

Se debe de mantener el programa actualizado con cierta periodicidad ya que en cierto tiempo pueden ingresar a la compañía nuevos equipos, repuestos y personal.

Finalizando cada mes se deben de generar los informes y mostrárselos a todo el departamento mecánico para que ellos planteen alternativas de mejora.

El ingreso de todas las labores de mantenimiento programado se deben de ingresar al sistema para tener control de la ejecución del mismo. El personal mecánico debe de estar pendiente de la generación de las órdenes y cumplirlas de acuerdo al programa siempre y cuando no se presenten prioridades en el área

## CONCLUSIONES

La empresa tiene el beneficio de contar con personal autónomo donde cada mecánico tiene la responsabilidad de mantener disponible los equipos del área y de reportar los eventos en el CMMS lo que resulta beneficioso debido a que no existe un secretario encargado de esa labor y demuestra la importancia de tener al personal capacitado en el manejo del CMMS.

El respaldo, motivación, ejemplo y compromiso por parte del jefe del departamento influyo directamente en el comportamiento del resto del personal.

Al tener la información actualizada le permitió a la empresa generar las órdenes de trabajo y crear los programas de mantenimiento con sus respectivos datos de acuerdo al equipo, responsable, centro de costos, tipo de mantenimiento, tipo de trabajo a los que estuviera referido a la acción de mantenimiento.

El manejo de un CMMS ocasiona un cambio de cultura para las áreas de mantenimientos que se debe de manejar de tal manera que vean las ventajas que traería para ellos.

Las labores de mantenimiento preventivo en el área se están realizando con una alta efectividad ya que la cantidad de fallas correctivas han disminuido como se

puede apreciar en la gráfica del % del peso del preventivo sobre el correctivo en el cual se muestra claramente que a medida de que las ordenes correctivas aumenten el índice disminuye.

El porcentaje de trabajos pendientes en la compañía es pequeño, lo que muestra la efectividad del departamento mecánico para elaborar los programas de mantenimiento y el adecuado entendimiento con el área de producción ya que ellos son los que proporcionan el tiempo de acuerdo a sus demandas de producto.

## **BIBLIOGRAFÍA**

NAVARRO, Luís; PASTOR, Ana Clara y MUGABURU, Jaime Miguel. Gestión Integral de Mantenimiento. Barcelona: Marcombo Boixareu, 1997. p.05

NEWBROUG, E. Administración de mantenimiento industrial, México, Diana.

REY SACRISTÁN, Francisco. Hacia la excelencia en mantenimiento. Madrid, España. TGP Hoshin. 1996. p 1, 3, 61

WIREMAN, Terry. Developing Performance Indicators for Managing Maintenance New York, USA. Industrial Press. 1998.

PINILLA CELIS, Pablo. Notas de Clase Especialización en mantenimiento industrial. Sistemas de información. Universidad EAFIT. Medellín. Colombia. 2008.

Enka de Colombia S.A [En línea]. [Citado el 10 de enero de 2008]. Disponible en Internet en: <http://www.enka.com.co>

Expertos en mantenimiento [En línea]. [Citado el 15 de marzo de 2008]. Disponible en Internet en: <http://www.soporteycia.com.co/>

Mantenimiento mundial [En línea]. [Citado el 10 de febrero de 2008]. Disponible en Internet en: <http://internal.dstm.com.ar>

Winsoftware Asociados Ltda. [En línea]. [Citado el 10 de febrero del 2008]. Disponible en: <http://www.winsoftware.com.co/>

# **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL PARA PLIEGUE, CORTE Y TRANSPORTE DE TELA TUBULAR COMPACTADA**

OSCAR JOSÉ GIRALDO MONTOYA  
ogirald3@eafit.edu.co  
Departamento de Ingeniería Mecánica

GERMÁN FELIPE ORTIZ CALAD  
gortizca@eafit.edu.co  
Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS  
DISEÑO DE SISTEMAS TÉCNICOS

ASESOR PRINCIPAL  
MARTÍN ALONSO TAMAYO

SECTOR BENEFICIADO  
EMPRESA PRIVADA DEL SECTOR TEXTIL



## **RESUMEN**

El sector textil es uno de los que más cambios tecnológicos sufre. La maquinaria va evolucionando y en los últimos diez años los cambios han sido significativos, tanto en ingeniería como en desarrollo. Estas innovaciones han obligado a todas las empresas que han deseado seguir en a la cabeza del sector, a reinvertir continuamente en equipo y desarrollo.

El proceso de compactación de tela tubular, es la etapa final por la cual este tipo de tela pasa para obtener las propiedades mecánicas y de apariencia que el cliente requiere. Este proceso maneja variables como velocidad, temperatura y presión que deben ser controladas para obtener excelentes resultados de calidad en la tela.

Este trabajo presenta el proceso de cálculos, desarrollo, diseño y modelación de una máquina capaz de plegar cortar y transportar tela tubular compactada automáticamente. La realización del proyecto tiene como base los procedimientos utilizados en la técnica del Diseño metódico, la cual permite una conducción científica del proceso de diseño además de lograr una visión más global en el campo del diseño de máquinas y de automatización.

## **PALABRAS CLAVES**

Textiles, Tela tubular, Compactado, Automati-  
zación, Diseño de maquinas, Control.

## **ABSTRACT**

The industry of textiles is one of the most dynamic on technology advances. Its machinery has evolved significantly over the last 10 years. With these developments, most

of the leading textile companies of the region have changed their view towards investment in new technology.

The process of steaming and compacting is the finishing process for tubular knitted fabrics. With this process the tubular fabric can obtain the mechanical properties and appearance that the client wants. For this process to be perfect, variables such temperature, speed, pressure.

The following paper exposes all the necessary work needed to design and construct the machine that is able to fold, cut and transport automatically the finished compacted tubular fabric.

## KEY WORDS

Textiles, Tubular fabric, compacting, Machinery design, Control.

## PROPUESTA DEL PROYECTO

Este proyecto nace de la necesidad de trabajar dentro de las políticas de la Tintorería Industrial TEÑIMOS S.A., que hablan sobre obtener la mejor calidad posible en el acabado final de la tela producida y estar en el proceso de mejoramiento continuo, además de mejorar los tiempos de producción, obtener un proceso de repetitividad más homogéneo, reducir los defectos por errores humanos y ser más competitivos en tiempos de entrega. Partiendo de unos conocimientos básicos se propuso, y se estructuró, el concepto de diseñar y construir un "sistema de control para los procesos de pliegue, corte y transporte de tela tubular compactada".

## DESARROLLO DEL PROYECTO

El proceso inicia desde el diseño conceptual, pasando por la visualización gráfica del artefacto que se va a construir y la aplicación de los cálculos estáticos y dinámicos, resistencia de materiales, estudio de mecanismos y control que sea necesario para la buena estructuración y desarrollo de este. También, se tienen en cuenta las necesidades del usuario y el ciclo de vida que a este se le asigne; y desde luego, teniendo en cuenta su viabilidad económica.

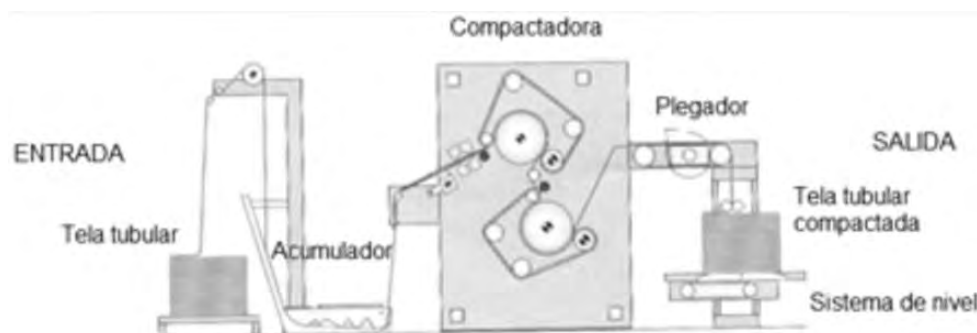
## PRIMER PASO DEL DISEÑO METÓDICO

Formulación específicas de la situación de diseño: Diseñar una máquina con capacidad de plegar, cortar y transportar tela tubular compactada de forma automática. Diseñar conjunto de sistemas mecánicos y eléctricos que realice la función principal requerida, para luego adoptar un sistema de control que regule todas las subfunciones existentes dentro de la máquina.

## PDS

El PDS es un documento que describe las especificaciones de Diseño de la máquina; contiene uno a uno los requerimientos que debe cumplir el producto en términos de ingeniería, es decir, con una medida y un valor. Se puede decir que es el momento inicial o punto de partida para comenzar a generar alternativas. Es un grupo de requerimientos individuales de los atributos que un determinado producto debe tener para satisfacer demandas y deseos.

FIGURA 1. Representación máquina compactadora





### TERCER PASO DEL DISEÑO METÓDICO

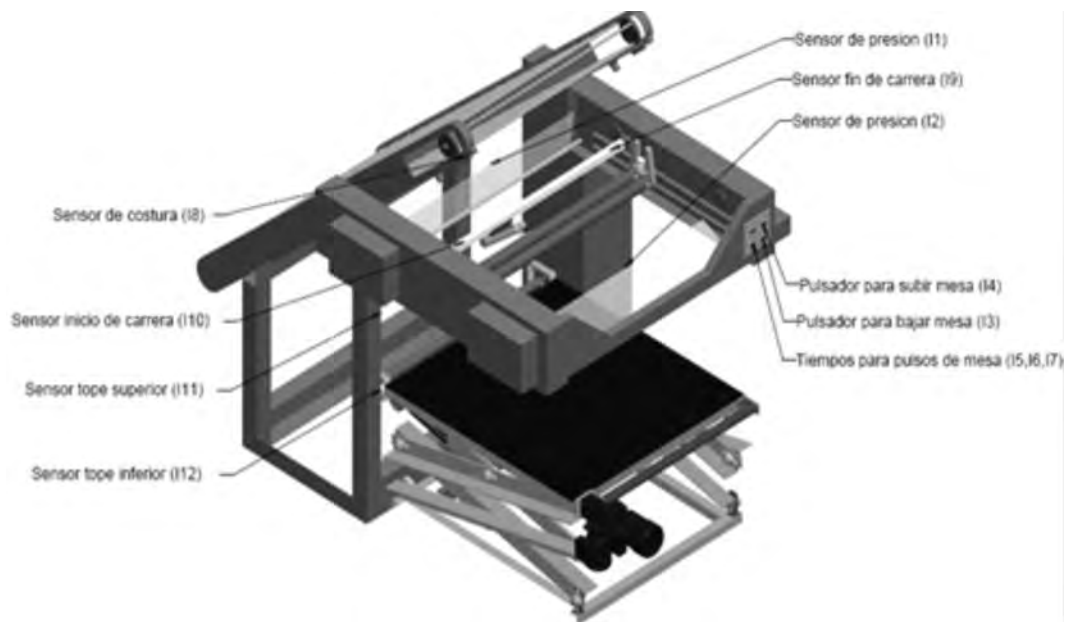
Con el fin de hallar la solución más adecuada para las necesidades y contando con el presupuesto que se tiene, se ha elaborada una matriz de evaluación con los ítems o aspectos considerados más importantes del PDS y se tomaron en cuenta los siguientes ítems:

- Determinación de los portadores físicos para cada función.
- Combinación de los portadores físicos (matriz morfológica).
- Evaluación técnico económica de las alternativas de solución.
- Representación esquemática de la solución.

FIGURA 4. Matriz de evaluación PDS

Función / Portador	Transportar 1	Cuenta metros	Sensor costura	distribuir	Plegar 1 y 2	Transportar 2	costar	Transportar 3	Sensor de posicion	Transportar 4
Portador 1	Barra	Cinta mesa	Sensor efecto	Papel aluminio	Papel aluminio	Tela con sensor puntual	Escucha	Motor con cable	Conector	Barra
Portador 2	Barra		Sensor inductivo	Carro motorizado	Papel aluminio	Tela con sensor puntual	Motor	Transmisor y receptor	Sensor foto	Papel aluminio
Portador 3	Barra			Robot motorizado	Barra motorizada	4 columnas con sensores de posición	Carro con cable	Motor		Barra motorizada

FIGURA 5. Modelo funcional



## CUARTO PASO DEL DISEÑO METÓDICO

El proceso de diseño metódico de este proyecto finaliza con los cálculos estáticos y cálculos dinámicos de cada uno de los componentes que conforman la maquina, se desarrolla con los límites superior e inferior del sistema,

y las cargas externas presentes, teniendo en cuenta un factor de seguridad.

El diseño de control también hace parte de este paso, en este se realiza la máquina de estado finito, para ser aplicada en el control lógico programable instalado para dar orden a la secuencia de pasos definidos.

FIGURA 6. Cargas presentes en el sistema

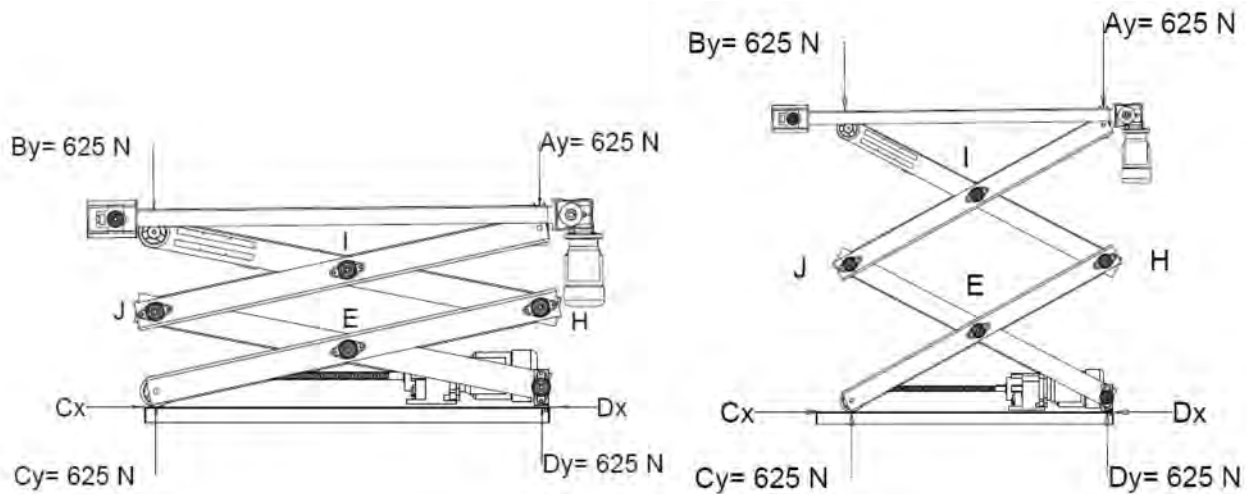
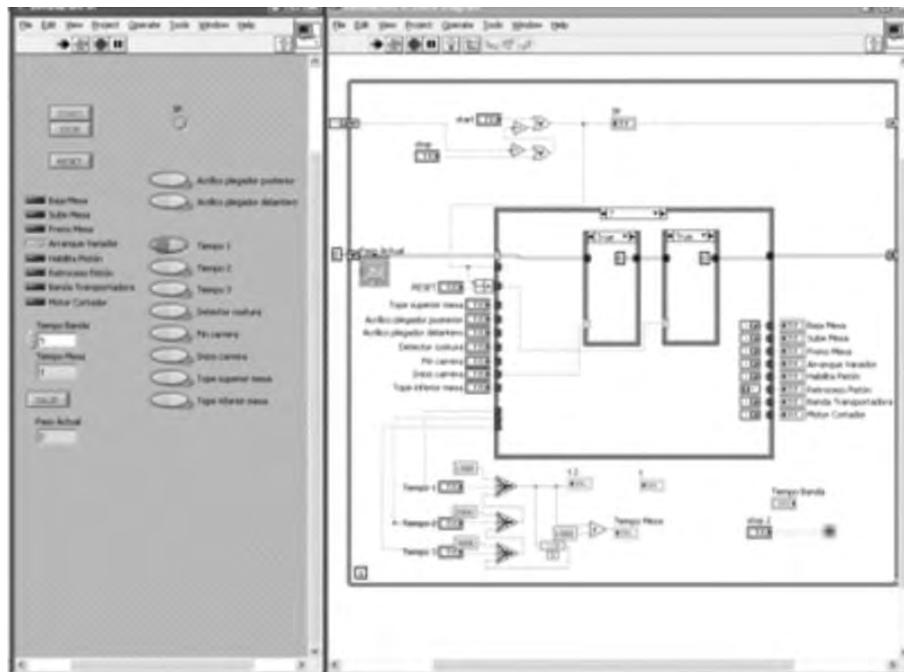


FIGURA 7. Máquina de estado finito





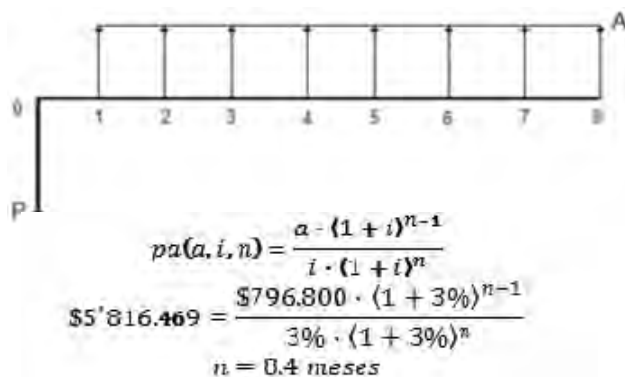
## EVALUACIÓN ECONÓMICA

El propósito es presentar una evaluación económica del proyecto con el fin de determinar los beneficios monetarios que de él se puedan obtener. Para la realización de esta evaluación económica se tendrá en cuenta los siguientes puntos:

- Estimación de los costos de los materiales y procesos de manufactura.
- Estimación de los costos que serán eliminados o reducidos al implementar esta automatización.
- Cálculo del tiempo en que se cubren los costos de la automatización.

Se calcula el número de periodos "n" dado un presente "p" y una mensualidad "a" ya conocidos.

**FIGURA 8**  
Evaluación económica



Esto indica que el costo de la automatización se cubre en poco menos de un año, lo cual es un plazo favorable para la empresa.

## CONCLUSIONES

Realizar cálculos estáticos en los límites del sistema, facilita decidir los elementos adecuados para el correcto funcionamiento del sistema. Adoptar un factor de seguridad adecuado para esto, responde a los requisitos establecidos por el usuario según sus expectativas de producción.

Implementar un diseño de máquina de forma metódica, despliega un número significativo de alternativas de solución que pueden ser evaluadas según los requerimientos del usuario, para seleccionar de forma adecuada el sistema óptimo a diseñar.

Adaptar controladores electrónicos dentro de un sistema mecánico, garantiza que un proceso complejo funcione de manera secuencial, según las tareas que se deben realizar. Un sistema automatizado mediante controladores lógico programables garantiza que estas funciones se realicen ordenadamente y que exista buena repetitividad en los procesos.

Conocer cada subsistema presente en la máquina, genera oportunidad de aportar en el diseño todos los posibles dispositivos mecánicos y eléctricos, que pueden ser usados para dar solución a cada función que se debe realizar en el proceso.

Utilizar un sistema CAD, con capacidad de modelar elementos y ensamblajes mecánicos, y realizar simulaciones mecánicas, muestra los puntos exactos donde se pueden presentar problemas al momento de su fabricación, para los cuales se deben tomar decisiones de ingeniería para solucionarlos.

La automatización de una máquina es una ventaja dentro de las empresas pues genera reducción de costos en la mano de obra, mejoramiento de la calidad, repetitividad en el proceso, garantiza continuidad en la producción sin los errores que generan los operarios.

Utilizar conceptos teóricos relacionados con el control, ayuda a realizar el diseño de máquinas de estado finito, que a su vez servirán para la creación de la programación lógica usada en el control de la máquina.

## BIBLIOGRAFÍA

SHIGLEY, Joseph Eduard y Charles R. Mishke. Diseño de ingeniería mecánica. Ed. MacGraw – Hill. Mexico. 1990, p. 166 - 168, 231 – 234.

BEER, Ferdinand P. y E. Russell Johnston. Mecánica de materiales. Ed. MacGraw – Hill. México. 1995, p. 189 – 195.

BEER, Ferdinand P. y E. Russell Johnston. Dinámica. Ed. MacGraw – Hill. Mexico. 1995, p. 74 – 78.

BEER, Ferdinand P. y E. Russell Johnston. Estática. Ed. MacGraw – Hill. México. 1995, p. 95 – 102.

HIBBELER, Russell Charles. Mecánica de materiales. Ed. Prentice Hall. México. 1997, p. 469 – 472.

RODRÍGUEZ, Alberto. Artefactos: Diseño Conceptual. Primera Edición. Fondo Ed. Universidad EAFIT. Medellín, Colombia. 2003. ISBN: 970-17-0163-1.

CASA, F. Diccionario de la industria textil. 1ª Edición. Madrid. Labor S.A. 1968, p. 56 – 62.

ICONTEC. Normas Colombianas para la presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación. Quinta actualización. Santa fe de Bogotá D.C.: ICONTEC, 2002. NTC 1486. I.C.S.: 01.140.40

@ Wikipedia, 2008. Ingeniería de control. [En línea] [Citado el 15 de Mayo del 2008] Disponible en: [http://es.wikipedia.org/wiki/Ingenier%C3%ADa\\_de\\_control](http://es.wikipedia.org/wiki/Ingenier%C3%ADa_de_control).

@ EAFIT, 2008. Diseño mecánico. [En línea][Citado el 25 de Mayo de 2008] Disponible en: <http://www.eafit.edu.co/EafitCn/Ingeniería/Posgrados/DiseñoMecanico/index.htm>

@ Wikipedia, 2008. Automatización industrial. [En línea] [Citado el 27 de Mayo del 2008] Disponible en: <http://es.wikipedia.org/wiki/Automatizaci%C3%B3n>

@ Sistemas de automatización, 2008. Automatización. . [En línea] [Citado el 28 de Mayo del 2008] Disponible en [http://www.juntadeandalucia.es/averroes/ies\\_sierra\\_magina/d\\_tecnologia/bajables/2%20bachillerato/SISTEMAS%20AUTOMATICOS%20DE%20CONTROL.pdf](http://www.juntadeandalucia.es/averroes/ies_sierra_magina/d_tecnologia/bajables/2%20bachillerato/SISTEMAS%20AUTOMATICOS%20DE%20CONTROL.pdf)

@ Wikilearning, 2008. Automatización. . [En línea] [Citado el 28 de Junio del 2008] Disponible en: [http://www.wikilearning.com/articulo/que\\_es\\_un\\_controlador\\_logico\\_programable\\_plc-que\\_es\\_un\\_plc/18471-1](http://www.wikilearning.com/articulo/que_es_un_controlador_logico_programable_plc-que_es_un_plc/18471-1)

# EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UN TROQUEL USANDO HERRAMIENTAS CAE

ESTEBAN CASTAÑO ZAPATA

ecastan1@eafit.edu.co

Departamento de ingeniería mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS

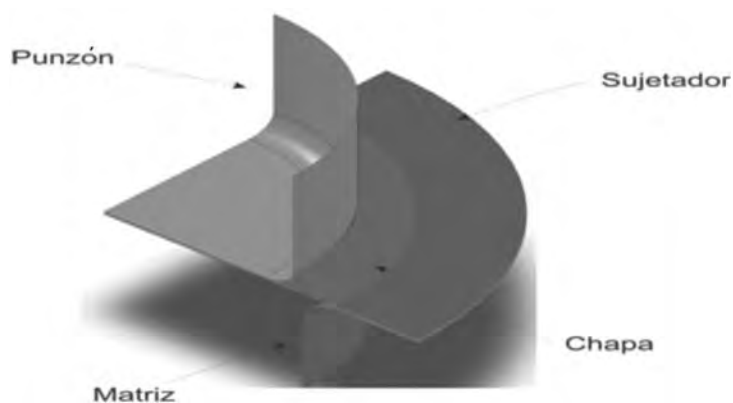
DISEÑO DE SISTEMAS TÉCNICOS

ASESOR PRINCIPAL

GABRIEL JAIME PÁRAMO

SECTOR BENEFICIADO

UNIVERSIDAD EAFIT



## RESUMEN

Desde el punto de vista de ingeniería, el proceso de embutición se realiza a partir de procedimientos empíricos, los cuales varían dependiendo de las características bajo las cuales se realizaron, como el material, el espesor y la geometría de la pieza.

Estos procedimientos impiden que se logre visualizar formas más eficientes de realizar ciertos productos y limitan la capacidad de los mismos para fabricar piezas más complejas. Este proyecto pretende explorar las capacidades de una herramienta CAE como soporte para la manufactura de este tipo de piezas.

## ABSTRACT

From the point of view of engineering, the deep drawing process it's realize from empiric procedures, which differ from each other in terms of the sheet material, thickness and geometry.

These procedures makes it difficult to visualize more efficient production methods to fabricate new products. This project explores the possibilities of analysis that can be obtain with CAE tools for this type of manufacture process.

## PALABRAS CLAVE

Embutición, lamina metálica, elementos finitos, dinámica explícita.

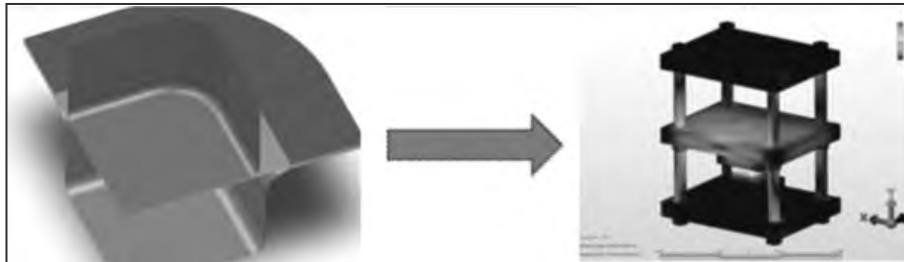
## KEYWORDS

Deep drawing, sheet metal, finite elements, explicit dynamics.

## INTRODUCCIÓN

El enfoque del trabajo para realizar la simulación del proceso de embutición, se basa en la obtención de las fuerzas de reacción de la operación de formado de lamina, siendo este el paso más complicado y de donde se parte el análisis para el resto de la estructura (Figura 1).

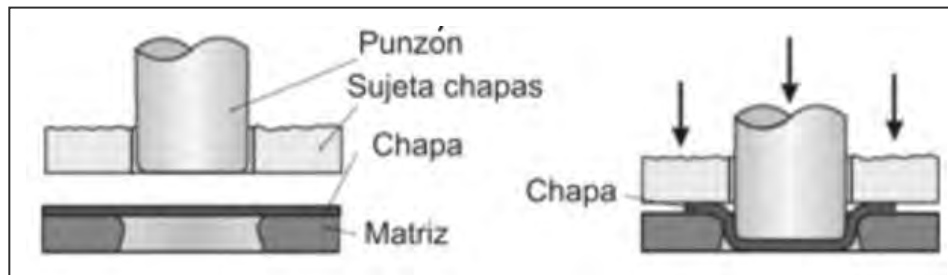
FIGURA 1. Relación entre el producto y el proceso



## Embutición

Se trata de un proceso de conformado de chapa por deformación plástica (Figura 2) en el curso del cual la chapa sufre simultáneamente de esfuerzos a compresión y a tensión, produciéndose cambios en el espesor.

FIGURA 2. Componentes que intervienen en la embutición



Para la realización de la operación de la embutición, se deben tener en cuenta los siguientes factores:

- Determinación del diámetro del elemento a embutir.
- Determinación del número de embuticiones.
- Determinación del radio de la matriz y del punzón.
- Tolerancia entre matriz y punzón.
- Velocidad de embutición y Presión del sujeta chapas
- Fuerza de embutición

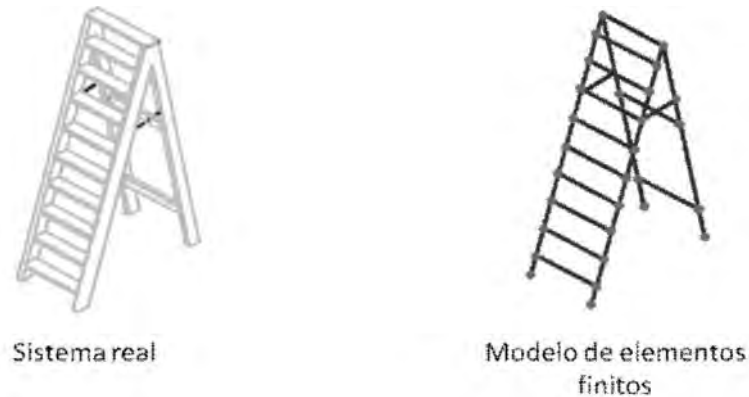
La obtención de estos factores se realiza en base a experimentos empíricos, los cuales varían dependiendo de

las características de la embutición, como el material y la geometría.

## Elementos finitos

El análisis por elementos finitos es una simulación del sistema físico usando una aproximación matemática. En este método, se emplean bloques de forma simple llamados elementos, los cuales permiten resolver un sistema real de infinitas incógnitas por uno aproximado de con un numero finito de incógnitas (Figura 3).

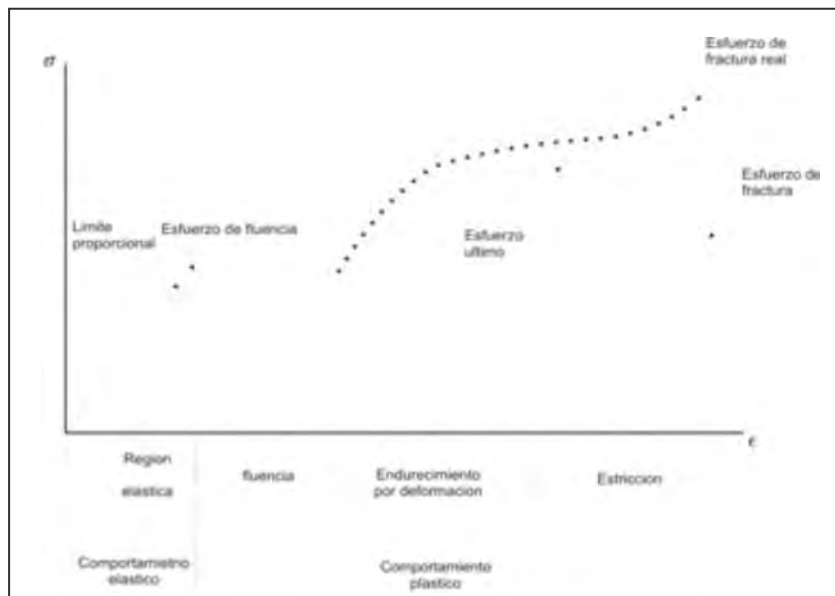
FIGURA 3. Representación de un modelo físico con elementos finitos



## Plasticidad

Se dice que un material presenta deformación plástica cuando ha sufrido una deformación permanente en su forma. En este caso, a diferencia de la deformación elástica (Figura 4), existe una relación no lineal entre los esfuerzos y las deformaciones unitarios, por lo que es necesario establecer el modelo adecuado para su implementación en la simulación computacional, los cuales a su vez dependen de las condiciones físicas que se presentan en el objeto de estudio.

FIGURA 4. Diagrama de Esfuerzo-deformación unitaria de una probeta a tensión uniaxial



## CASO DE ESTUDIO

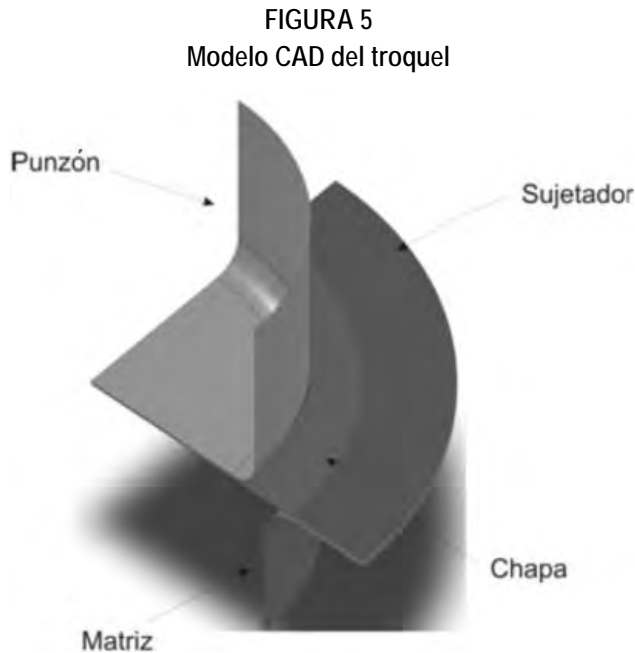
El caso consiste principalmente de la realización de una embutición cilíndrica de una sola etapa. Debido a la dificultad de encontrar datos reales a partir de procesos en la industria, se evaluó los resultados a partir de efectos físicos esperados.

Para la realización de la simulación, el cual se ejecuto en el modulo LS-DYNA de ANSYS, el cual usa dinámica explícita, se los siguientes pasos:

- Geometría
- Elementos
- Materiales

- Mallado
- Contactos
- Condiciones de frontera

Para la geometría (Figura 5), se aprovecha la simetría del sistema, y la utilización de superficies en lugar de sólidos, con el fin de minimizar el costo computacional.

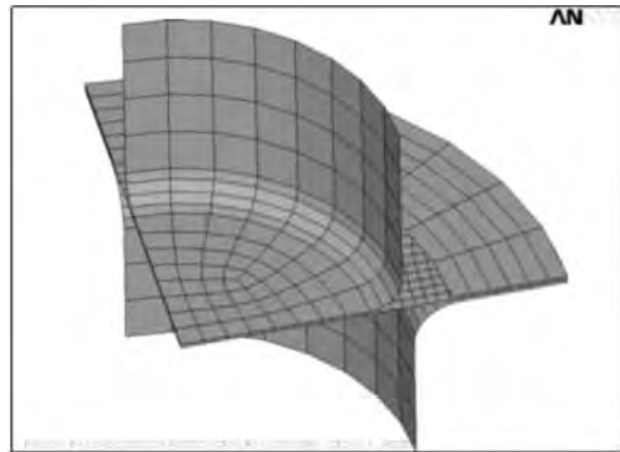


Los elementos varían dependiendo del componente representado, para la chapa, se utiliza un elemento tipo Shell, que permita altas deformaciones y cambios en el espesor.

Para los demás componentes, como la deformación en estos es insignificante en comparación a la lámina, se les representa como cuerpos rígidos, para disminuir el tiempo de cómputo (Figura 6).

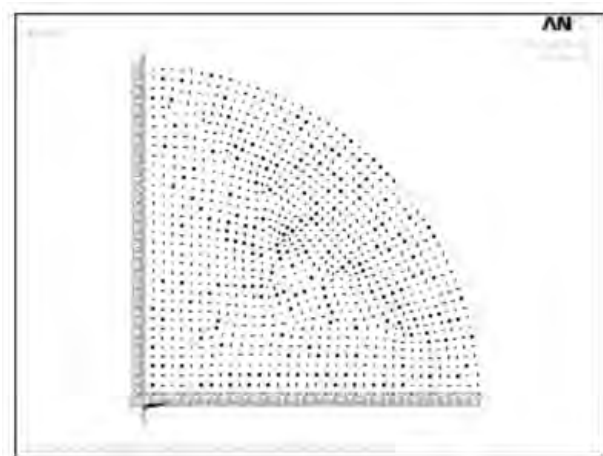
Los contactos se definen entre los elementos, usando las propiedades mecánicas de estos, de modo de que se pueda calcular las fuerzas de reacción que permiten evaluar los demás elementos del troquel. En esta etapa también es posible implementar el coeficiente de fricción entre componentes.

**FIGURA 6**  
Representación en elementos del CAD

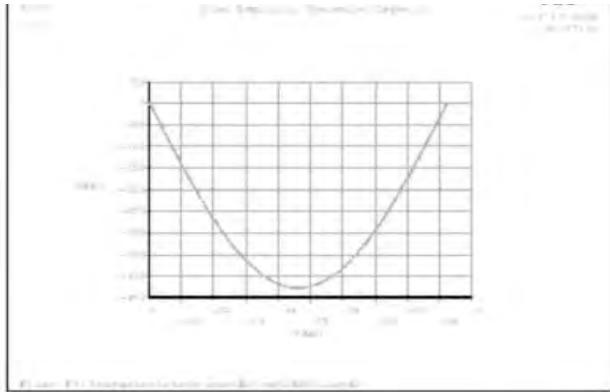


En las condiciones de frontera se incluyen las restricciones de la chapa para tomar en cuenta la simetría del modelo (Figura 7), junto con la velocidad del punzón (Figura 8) y la fuerza del sujetador (Figura 9)

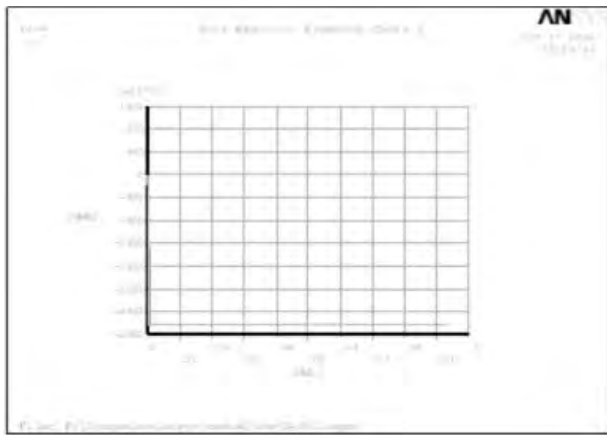
**FIGURA 7**  
Condiciones de simetría de la lámina



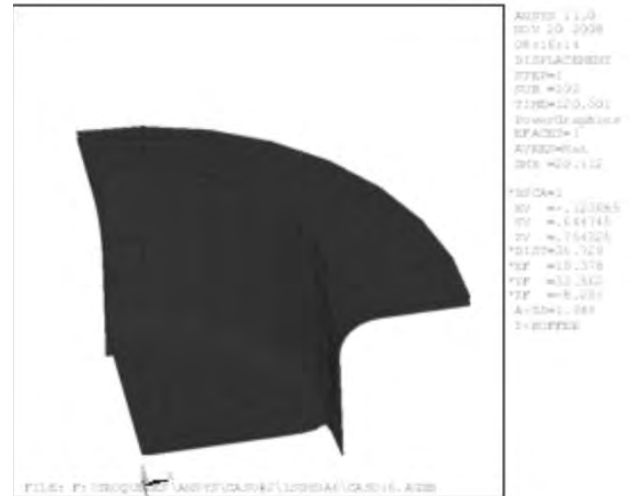
**FIGURA 8**  
Velocidad del punzón



**FIGURA 9**  
Fuerza del sujetador sobre la chapa

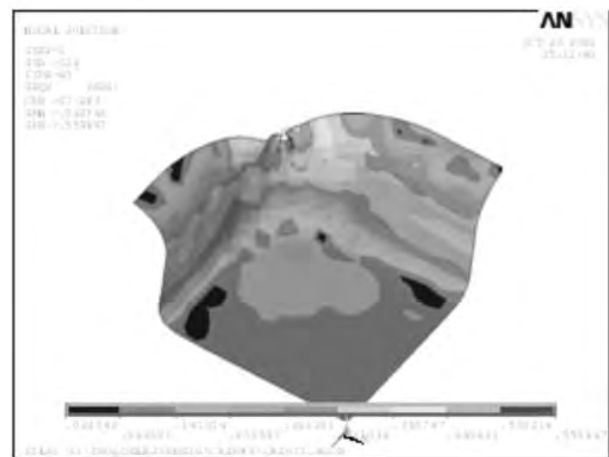


**FIGURA 10**  
Deformación del sistema en la última etapa de cálculo



Luego se observa lo que sucedería si se presenta problemas con el sujetador, con el fin de reconocer si se presenta los pliegues en la chapa debidos a la combinación de esfuerzos a compresión y a tensión (Figura 11). En este caso se usó un modelo de embutición rectangular en donde el desarrollo de la lámina, el cual fue calculado teóricamente, es menor al requerido, causando que parte del material se deforme sin la intervención del sujetador en la etapa final.

**FIGURA 11**  
Formación de pliegues en una embutición rectangular

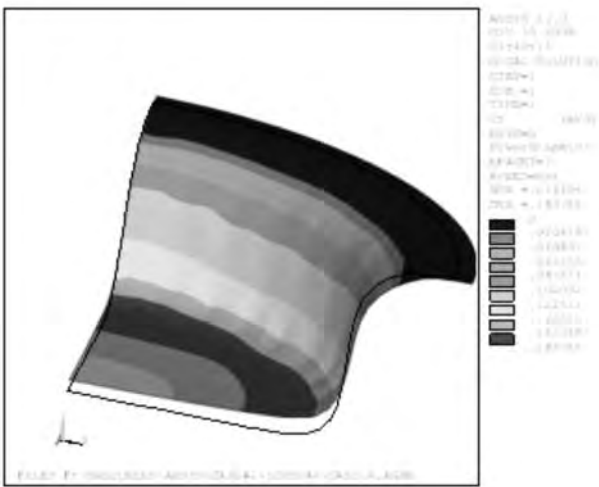


## RESULTADOS

El primer mecanismo para reconocer errores en la simulación consiste en observar la deformación de los componentes (Figura 10). Resultados incorrectos como modelos de materiales, unidades o condiciones de frontera erróneas pueden ser reconocidos al observar la forma deformada del sistema.

El siguiente fenómeno observable que corresponde con la realidad, es la recuperación elástica que tiene la lámina luego del proceso de embutición. Para esto se uso los datos de la energía de deformación almacenada durante la simulación de dinámica explícita y se empleo en un análisis elástico no lineal. En la figura 12 se observa la lamina embutida (línea negra) junto con la lamina luego del proceso. Se observa que el desplazamiento es en dirección contraria a la acción del punzón, como es de esperarse.

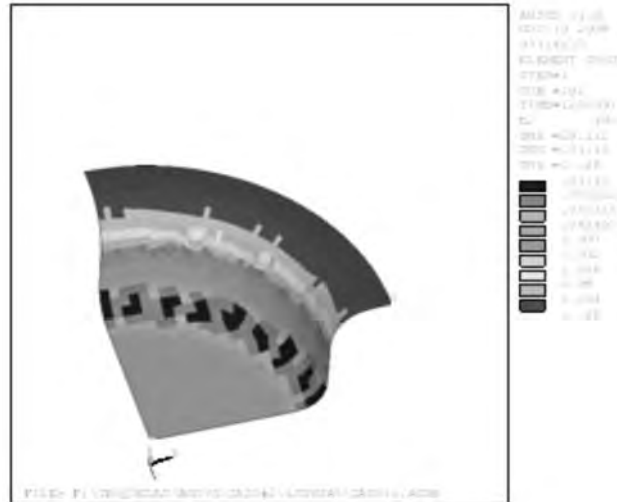
**FIGURA 12**  
Recuperación elástica del material



Otro aspecto importante, es el del cambio de espesor en la chapa (Figura 13). En él se observa como en la parte superior se presenta un incremento en el espesor, debido al cambio de área por la que debe pasar el material, mientras se presenta una disminución en el espesor en la parte inicial de contacto del punzón, desde donde se empieza a empujar la lamina. Ambos cambios de espesores son de alrededor del 12% del espesor original, lo cual está dentro de lo esperado de acuerdo a casos experimentales.

**FIGURA 13**

Cambios de espesor en la chapa



## CONCLUSIONES

Existen diferentes maneras de calcular un mismo dato y todas ellas pueden ser correctas y satisfactorias. La razón de todo ello la podemos encontrar en que los valores reales hallados casi nunca serán exactos y en la mayoría de casos su exactitud dependerá de factores tales como el material, el herramental y en cualquier caso, casi siempre deben ser corregirlos. He aquí la posibilidad económica de la simulación, ya que pueden ser probados diferentes parámetros de forma rápida para obtener la pieza requerida sin necesidad de incurrir en sobrecostos de manufactura.

Durante las simulaciones, se lograron identificar los siguientes ítems para caracterizar el comportamiento de la matriz y de los componentes del troquel: Cambio en el espesor de la chapa, fuerzas de reacción en las interfaces de contacto definidas, coeficientes de fricción estáticos y dinámicos en los contactos de piezas, cálculo de fatiga a partir de fuerzas de reacción del proceso, especificaciones de las condiciones de frontera (Velocidades, fuerzas) en el tiempo, recuperación elástica del material y esfuerzos y deformaciones en los componentes del troquel.

Retos: embutición por goma, embutición en varios pasos y realizar una librería de casos industriales solucionados.



Aplicaciones del Método: embutición, hidroformado, formado superplástico, rolado, extrusión, estampado, maquinados y perforaciones.

## **BIBLIOGRAFÍA**

ADAMS, Vince, ASKENAZI, Abraham. Building better products with finite element analysis. Nuevo México, EUA. Primera edición. OnWord press. 1999. ISBN 1-566690-160X

ANSYS. Explicit dynamics with Is-dyna. Workshop for release 7.1. Segunda edición. 2003

-----, -----, Training manual for release 5.5. Segunda edición. 1999

-----, Advanced structural nonlinearities Training manual for release 7.0. Segunda edición. 2003

-----, Advanced structural nonlinearities Workshop for release 7.0. Segunda edición. 2003

-----, Theory reference for ansys and ansys workbench. Ansys release 11. 2007. Disponible para clientes ansys en: <http://www.ansys.com>

ASCAMM. Tecnología de matrices.[citada el 10 de julio de 2008].Disponible en <http://josemguerrero.iespana.es/>

BECKER, A. Understanding non-linear finite element analysis through illustrative benchmarks. Glasgow, Escocia. Nafems. 2001. ISBN 1-874376-35-2

BOLJANOVIC, Vukota. Sheet metal forming processes and die design. Nueva York, EUA. Industrial press. 2004. ISBN 0-8311-3182-9

HIBBELER, R. Mecánica de materiales. Juarez, Méjico. Tercera edición. Editorial prentice hall. 1997. ISBN 0-13-256983-3

HILL, R. The mathematical theory of plasticity. Oxford, Inglaterra. Primera edición. Oxford press.1950. ISBN 1183517247

HOSFORD, William. Mechanical behavior of materials. Detroit, EUA. Primera edición. Cambridge university press. 2005. ISBN 0-521-84670-6

MARCINIAK, Z., DUNCAN, J., HU, S. Mechanics of sheet metal forming. Oxford, Inglaterra. Segunda edición. Editorial Butterworth-Heinemann. 2002. ISBN 0-7506-5300-0

OEHLER, Gerhard. Herramientas de troquelar, estampar y embutir. Barcelona, España. Edición española. Editorial Gustavo Gili. 1977. ISBN 84-252-0640-5

ROSSI, Mario. Estampado en frio de la chapa. Madrid, España. Novena edición. Editorial dossat.1979

SCHULER. Metal forming handbook. Gotinga, Alemania. Editorial Springer. 2002 ISBN 3-540-61185-1

SUCHY, Ivana. Handbook of die design. New york, EUA. Segunda edición. McGraw-hill. 2006 ISBN 0-07-146271-6

WU, Han-Chin. Continuum mechanics and plasticity. Boca Raton, EUA. Primera edición. CRC press. 2000. ISBN 1-58488-363-4



## ABSTRACT

The purpose of this article is to describe how a preventive maintenance plan was implemented at the "Tintorería Industrial Teñimos S.A." Factory, due to the needs of improvement of the situation in which the maintenance of their machinery was in.

The first phase of the project consisted in getting to know, studying and analyzing everything about the machinery that is contemplated in the preventive maintenance plan. Information was compiled about the functioning, mechanisms, spare parts, providers, manufacturers, etc. With the purpose of having a data base that could give enough information.

Based on the compiled information, different registry format to standardize activities, obtain futures history of the machinery that will help make decisions about them, were implemented. In theses we have, resume formats, anomalies and failures, lubrication, parts, plus the criticality of each machine in the dyeng zone and factory services was determined.

Taking into account the recommendations of the manufactures, catalogs, manuals, criticality of the machinery and maintenance operators, a preventive maintenance program was created, in wich the machine and the mechanism to intervene is indicated, putting in detail the parts and spare parts, activities to do and their frequency. This format will allow a more detailed and controlled maintenance, plus it will help standardize maintenance activities.

Finally the present performance of the maintenance department could be measured, through the use of indicators such as availability, maintainability, and trust. These same indicators will keep being calculated every month as a way of evaluation of the maintenance department and to control its management.

## PALABRAS CLAVES

Mantenimiento preventivo, máquinas, disponibilidad, mantenibilidad, confiabilidad, estado de falla, estado de funcionamiento, tiempo medio entre fallas, tiempo medio para reparar.

## KEY WORDS

Preventive maintenance, machinery, availability, maintainability, trust, state of failure, state if function, mean time between failures, mean time to repair.

## INTRODUCCIÓN

Las labores de mantenimiento dentro de las empresas son necesarias para los procesos productivos, ya que mediante el uso de éstas se puede lograr mejorar la calidad, la rapidez, la efectividad y la eficiencia de los procesos.

Una herramienta utilizada en la industria son los planes de mantenimiento preventivo que permiten mejorar la confiabilidad de los equipos previendo las fallas en infraestructura, sistemas, elementos, etc. antes de que ocurran y repararlas en el momento oportuno. Es una de las labores necesarias y adyacentes a los procesos productivos, ya que se debe velar por el funcionamiento de todos los sistemas existentes en la planta. Este proporciona a los departamentos de producción el soporte técnico y la disponibilidad de los equipos para que se pueda producir a cualquier hora, en cualquier día del año sin ningún inconveniente.

## DESARROLLO

Para el desarrollo del proyecto se siguieron unos pasos los cuales se describirán en este artículo, para cumplir con los objetivos, los cuales se citarán a continuación:

Identificar los aspectos principales de la empresa (procesos, maquinaria, campo de acción, sector comercial, etc.).

El objetivo era entender los procesos al interior de la empresa y las máquinas que allí intervienen, además de conocer el departamento de mantenimiento y su gestión. Igualmente, conocer las necesidades existentes en cuanto al mantenimiento de los equipos y reconocer el entorno de la empresa.

La planta productiva puede distribuirse en varias zonas, para facilitar el entendimiento de los procesos y los diferentes tipos de maquinaria. Dentro de esta se identificaron cuatro tipos de zonas, entre las cuales está el área de tintorería, acabados, servicios y calidad.

El plan de mantenimiento preventivo se aplicó a los equipos pertenecientes a la zona de tintorería y servicios. En la zona de tintorería se llevan a cabo los procesos de teñido

de la tela, blanqueo, lavado y secado por centrifugado. En la zona de servicios se llevan a cabo los procesos de generación de vapor, suministro de electricidad a la planta, de aire comprimido, de agua para procesos y gas.

## EQUIPOS PRODUCTIVOS

En esta parte del proyecto se generó un inventario de equipos en la zona de tintorería y servicios con su respectiva recopilación de toda la información posible

de manuales, planos y listados de características de los equipos. Este formato contiene información básica pero de gran importancia para el proceso de mantenimiento, pensada para efectos de administración de los mismos.

La criticidad del equipo fue determinada mediante un formato de análisis RPN, el cuál evalúa los equipos en un rango de 1 hasta 10 en cuanto a criticidad de fallas, detectabilidad de las fallas y ocurrencia de las mismas. Los equipos referenciados como tipos A fueron los más críticos.

FIGURA 1. Inventario de equipos de la zona de tintorería y servicios

CODIGO	EQUIPO	FABRICANTE	REFERENCIA	C. COSTOS	CRITICIDAD	UBICACIÓN
109	Air Then #1	THEN	5026598	120	A	Tintorería
110	Air Then #2	THEN	15652897	120	A	Tintorería
119	Air Then #3	THEN	568963	120	A	Tintorería
23	Brazzoli	BRAZZOLI	0680	120	A	Tintorería
120	Centrifuga #1	AMETEK	ZA-36834	120	C	Tintorería
27	Centrifuga #2	AMERICAN MACHINE AND METAL	ZA-27976	120	C	Tintorería
315	Elevador #2	HYUNDAI		120	C	Tintorería
16	JET #1 Thies	THIES	10213	120	A	Tintorería
96	JET #10-1 Air flow	THEN	34-008	120	B	Tintorería
327	JET #11	GASTON COUNTY DYENG MACHINE	G9503331	120	A	Tintorería
331	JET #12	GASTON COUNTY DYENG MACHINE		120	A	Tintorería
340	JET #13 allit 120	FONG'S	30017984	120	B	Tintorería
341	JET #14 allit 120	FONG'S	30017983	120	B	Tintorería
342	JET #15 Eco 8	FONG'S	30017985	120	B	Tintorería
	JET #16 Air flow	THEN		121	A	Tintorería
17	JET #2 Samill	SAMILL	3756	120	B	Tintorería
18	JET #3 Pong-A	DONG-A		120	B	Tintorería
19	JET #4 Sotexcol	SOTEXCOL		120	A	Tintorería
	JET #4-1 Air flow	THEN		120	B	Tintorería
	JET #5-1 Air flow	THEN		120	B	Tintorería
83	JET #6 Pong-A	DONG-A	8801001	120	A	Tintorería
93	JET #7 Argathen	THEN	34-001	120	A	Tintorería
94	JET #8 Argathen	THEN	34-009	120	A	Tintorería
95	JET #9-1 Air flow	THEN	34005	120	B	Tintorería
84	Lavadora Bruckner	BRUCKNER	3359701	120	A	Tintorería
319	Volteadora de tela	SPEFOTTO		120	C	Tintorería
42	Compactadora Ferraro	FERRARO	3254	130	B	Acabados
	Compactadora Poong Kwong	POONG KWONG	PC-TC-1350	130	B	Acabados
309	Compactadora Santei tubular	SANTEX	CH-9555	130	A	Acabados
88	Elevador #1	SWF		130	C	Acabados
333	Esmiladora	TANDEMALLC		130	C	Acabados
513	Foulard Full Flow	PROECO		130	B	Acabados
39	Perchadora Biteima	BITEIMA		130	A	Acabados
35	Rama #1	KRANTZ		130	A	Acabados
122	Rama #3	KRANTZ		130	A	Acabados
99	Secador Santei	SANTEX	FREELAX P01	130	A	Acabados
72	Secadora Essico	ESSICO		130	B	Acabados
	Termofijadora tubular	ICOMATEX	ICOFIK	130	B	Acabados
64	Caldera de Vapor #1	DINATERM		180	A	Servicios
65	Caldera de Vapor #2	DINATERM		180	A	Servicios
92	Caldera de Vapor #3	DINATERM		180	A	Servicios
63	Calentador Termico V.R	VR		180	A	Servicios
75	Compresor Ingersoll Rand	INGERSOLL RAND	SSR-EP40SE	180	C	Servicios
107	Compresor Kaeser	KAESER	BS51	180	C	Servicios
70	Planta electrica Perkins	F.G. WILSON	DA100	180	C	Servicios
	Subestacion ppal.	SUNTEC		180	A	Servicios

Se creó un formato de hoja de vida para los equipos contemplados en el plan de mantenimiento preventivo.

FIGURA 2. Formato de hoja de vida creado

HOJA DE VIDA			
NOMBRE	CODIGO MAQUINA	C. COSTOS	CODIGO HOJA
IMAGEN DEL EQUIPO			
CARACTERISTICAS DEL EQUIPO			
DESCRIPCION			
FABRICANTE			
REFERENCIA			
UBICACION			
CARACTERISTICAS DE LOS SUB-SISTEMAS			
MECANISMO	ELEMENTO	CARACTERISTICAS	

Allí se consignó información general en cuanto a fabricante, descripción, referencia, ubicación en la planta, etc. Además información técnica del equipo y en estructura arbórea de mecanismos principales, con sus principales elementos y características. De esta manera, si se necesita alguna información no es necesario remitirse al catálogo, sino que la hoja de vida del equipo puede suministrar información de una manera más eficiente

## **ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO**

Después de haber conocido, identificado y analizado todas las máquinas que estarían involucradas en el plan de mantenimiento preventivo y con base en literatura, catálogos, recomendaciones de fabricantes, experiencia del departamento de mantenimiento de tejidos y en las criticidades de los equipos, se desarrolló el plan de mantenimiento preventivo de los equipos, con sus respectivas frecuencias de intervención, mecanismos, actividades a realizar, etc. Y se implementó un formato para indicar toda esta información.



Finalmente, se creó un formato de historial de anomalías y fallos con el fin de que se empiece a crear toda una historia de fallos de cada una de las máquinas contempladas en el plan de mantenimiento preventivo. A futuro, el departamento de mantenimiento podrá tomar acciones sobre los equipos basados en todo lo que aquí se registre.

FIGURA 5. Formato de historial de anomalías y fallos

HISTORIAL DE ANOMALIAS Y FALLOS				LABOR REALIZADA
FECHA	MECANISMO	OBSERVACION	CONTRAMEDIDA	LABOR PENDIENTE
10/04/08	Motor Bomba auxiliar	Mala ventilacion	Limpieza	
10/04/08	Motor Bomba auxiliar	Superficie de aislamiento tiene grietas y esta oxidada		
10/04/08	Motor Bomba auxiliar	Motor no tiene base de apoyo	Instalar nueva en acero inox	
10/04/08	Motor Agitador	Mala ventilacion	Limpieza	
10/04/08	Motor Bomba Principal	Dificil acceso que afecta seguridad	Cambiar ubicacion	
10/04/08	Motor Bomba Principal	Alta suciedad	Limpieza	
10/04/08	Bomba Principal	No tiene instrumentos de medida de variables		
10/04/08	Bomba Principal	Alta suciedad	Limpieza	
10/04/08	Turbina de Aire	Ruido leve en rodamientos		
10/04/08	Turbina de Aire	Vibracion leve		
10/04/08	Motor Molinete Interno	Alta suciedad	Limpieza	
10/04/08	Motor Molinete Interno	Bornera sin tapa	Colocar tapa nueva	
10/04/08	Motor Molinete Interno	Mala ventilacion	Limpieza	
10/04/08	Molinete Descarga	Alta suciedad	Limpieza	
10/04/08	Molinete Descarga	Acople desalineado	Alinear	
10/04/08	Cuerpo de maquina	Fuga en valvula de llenado	Corregir	
10/04/08	Cuerpo de maquina	Fuga en ducto turbina flanche superior	Corregir	
10/04/08	Cuerpo de maquina	Valvula VX muy sucia	Limpieza	

## INDICADORES CMD

La última parte del proyecto consistió en medir el desempeño del departamento de mantenimiento en la actualidad mediante la utilización de indicadores tales como disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad.

La confiabilidad, la mantenibilidad y la disponibilidad son las medidas técnicas y científicas que tiene el mantenimiento para su análisis y su evaluación integral y específica; es a través del CMD que se puede planear, ejecutar y controlar totalmente la gestión y operación del mantenimiento.

La confiabilidad se mide a partir del número y duración de los fallos de las máquinas, la mantenibilidad a partir de la cuantificación y duración de las reparaciones respectivas y la disponibilidad se mide a partir de la confiabilidad y la mantenibilidad.

Se recopiló información acerca de los tiempos de paros de máquina tomados por el departamento de producción y los tiempos medios para reparar tomados por el departamento de mantenimiento.

### Ecuación 1. Cálculo de confiabilidad

$$MTBF = \frac{\sum \text{Tiempos de buen funcionamiento}}{\sum \text{Número de paradas}}$$

### Ecuación 2. Cálculo de mantenibilidad

$$MTTR = \frac{\sum \text{Tiempos de paradas}}{\sum \text{Número de paradas}}$$

### Ecuación 3. Cálculo de disponibilidad

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Confiabilidad}}{\text{Confiabilidad} + \text{Mantenibilidad}}$$

Los resultados obtenidos en Teñimos mediante los indicadores CMD, fueron muy buenos relativamente, se encontró con una alta disponibilidad de los equipos por parte de lo que al mantenimiento de los mismos se refiere, esto indica que la confiabilidad y la mantenibilidad de los equipos también son relativamente buenas.

Estos indicadores se seguirán calculando mes a mes para medir el desempeño del departamento de mantenimiento y tomar acciones sobre su gestión.

## **CONCLUSIONES**

La retroalimentación constante de cada una de las bases sentadas en este proyecto permitirá una mejora día a día del departamento de mantenimiento y en específico del plan de mantenimiento preventivo expuesto. Se hace necesario entonces un buen acompañamiento por parte de todo el departamento, empezando desde el gerente hasta los operarios de mantenimiento, quienes son finalmente los que con sus responsabilidades estarán suministrando toda la información acerca del estado de los equipos y su administración.

En general, el fin último de implementar planes de mantenimiento preventivo con sus respectiva sistematización e indicadores, es el de mejorar la calidad del servicio de mantenimiento de equipos e instalaciones, además de su eficacia y eficiencia, las cuales a su vez llevan adscritas la disminución de paradas de los equipos.

Luego de montado el plan de mantenimiento preventivo se espera que los indicadores CMD mejoren, debido a que se presume que las paradas productivas disminuyan en cantidad y tiempo, lo que técnicamente reflejaría una mejora en la confiabilidad, mantenibilidad y directamente la disponibilidad.

## **BIBLIOGRAFÍA**

Bannister, K. (1996). Lubrication for industry. New York: Industrial Press.

García Garrido, S. (2003). Organización y gestión integral de mantenimiento. Cádiz: Díaz de Santos.

González Fernández, F. J. (2005). Teoría y Práctica del Mantenimiento Industrial Avanzado. Madrid: FC Editorial.

Mora, L. A. (2005). Mantenimiento estratégico para empresas de servicios o industriales. Medellín: AMG.

Kelly, A y Harris, M. (1997). Gestión de mantenimiento industrial. Madrid: Fundación Repsol.

Rey Sacristán, F. (2001). Manual de mantenimiento integral en la empresa. Madrid: Fundación Confemetal.

Souris, J. P. (1992). Mantenimiento: Fuente de Beneficios. Madrid: Díaz de Santos.

ALBRECHT@. Información acerca de lavadoras. [En línea]. [Citado el 10 de marzo de 2008]. Disponible en Internet: <http://albretch.com.br>

COHIMAR@. Información acerca de compresores. [En línea]. [Citado el 20 de marzo de 2008]. Disponible en Internet: <http://lavasecomoderno.com>

EMGESA@. Información acerca de lubricación. [En línea]. [Citado el 25 de marzo de 2008]. Disponible en Internet: <http://emges.cl>

FONGS@. Información acerca de teñidoras. [En línea]. [Citado el 11 de marzo de 2008]. Disponible en Internet: <http://fongs.com>

GEOPOLIS@. Información acerca de presupuestos. [En línea]. [Citado el 15 de abril de 2008]. Disponible en Internet: <http://gestiopolis.com>



INCI@. Temas de mantenimiento. [En línea]. [Citado el 7 de mayo de 2007]. Disponible en Internet: <<http://inci.gov.co>>

LAVASECOMODERNO@. Información acerca de centrífugas. [En línea]. [Citado el 11 de marzo de 2008]. Disponible en Internet: <<http://lavasecomoderno.com>>

LOPEZHNOS@. Información acerca de calderas. [En línea]. [Citado el 11 de marzo de 2008]. Disponible en Internet: <<http://lopezgnos.es>>

MEVESUR@. Información acerca de los tipos de tela. [En línea]. [Citado el 7 febrero de 2008]. Disponible en Internet: <<http://mevesur.com>>

MONOGRAFIAS@. Temas de Mantenimiento. [En línea]. [Citado el 7 de mayo de 2007]. Disponible en Internet: <<http://monografias.com>>

PROEXPORT@. Información acerca del sector textil en Colombia. [Citado el 9 de febrero de 2007]. Disponible en Internet: <<http://proexport.com.co>>

SERTEINCTA@. Definiciones de mantenimiento. [En línea]. [Citado el 7 de mayo de 2007]. Disponible en Internet: <<http://serteincta.com>>

SOLOMANTENIMIENTO@. Temas varios de mantenimiento. [En línea]. [Citado el 7 de mayo de 2007]. Disponible en Internet: <<http://solomantenimiento.com>>

TEKRIELLS@. Información acerca de tipos de telas. [En línea]. [Citado el 8 de febrero de 2008]. Disponible en Internet: <<http://tekriells.es>>

TEÑIMOS@. Información acerca de la empresa. [En línea]. [Citado el 5 de febrero de 2008]. Disponible en Internet: <<http://wikipedia.org>>

THEN@. Información acerca de equipos de teñido. [En línea]. [Citado el 10 de febrero de 2008]. Disponible en Internet: <<http://then.de>>

WIKIPEDIA@. Definiciones de mantenimiento. [En línea]. [Citado el 6 de mayo de 2007]. Disponible en Internet: <<http://wikipedia.org>>

# **ESTUDIO DE PRE FACTIBILIDAD PARA EL MONTAJE DE UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE BIODIESEL EN COLOMBIA**

JUAN CAMILO JIMÉNEZ RESTREPO

jjimen21@eafit.edu.co

Departamento de Ingeniería Mecánica

LUIS FERNANDO SUAREZ GIL

lsuarez1@eafit.edu.co

Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS

GESTIÓN DE PROYECTOS

ASESOR PRINCIPAL

JUAN SANTIAGO VILLEGAS

SECTOR BENEFICIADO

EMPRESA PRIVADA DEL SECTOR TRANSPORTE



## **RESUMEN**

Está demostrado que la quema indiscriminada de combustibles fósiles tiene un impacto negativo a nivel global, en Colombia las ciudades metropolitanas y en especial los corredores industriales poseen un problema crítico de polución.

Se contactó un miembro del gremio de transportadores en la ciudad de Bogotá D.C., quien tiene bajo su responsabilidad una flota de diez tracto-camiones y está dispuesto a implementar hasta un 30% de biodiesel. Partiendo de esta necesidad, se estructuró un proyecto con el fin de establecer la viabilidad del autoabastecimiento de biodiesel, dicho proyecto contempla el campo de materias primas, el procesamiento de la extracción del aceite de dichas materias, el procesamiento del aceite en biodiesel y la purificación del mismo.

Se concluye, según los resultados obtenidos, que el biodiesel es un combustible que va en pro del medio ambiente, que puede reactivar zonas geográficas de baja economía y que está siendo implementado a nivel mundial. Sin embargo, debido a la disponibilidad de las materias primas, el costo del galón de biodiesel es elevado y para que el proyecto sea viable se deben encontrar formas de adquirir las materias primas a un costo más favorable.

## **PALABRAS CLAVES**

Biocombustibles, Biodiesel, Aceite de palma, Higuera, Jatropha Curcas, Transesterificación.

## **ABSTRACT**

There is evidence that the burning of fossil fuels has a negative impact globally, in

Colombian metropolitan cities and industrial corridors in particular have a critical problem of pollution.

A guild transport member was contacted in Bogota D.C., who is responsible for a fleet of ten trucks and is ready to deploy up a 30% of biodiesel. Based on this need, a project was structured to establish the viability of self-sufficiency of biodiesel, this project involves researching about raw materials, processing of oil extraction of such materials, processing oil into biodiesel and purification process.

It is concluded, according to the results obtained, that biodiesel is a fuel that goes towards the environment, which can revive geographical areas with low economy and which is being implemented globally. However, due to the availability of raw materials, the cost of gallon of biodiesel is high, so, is necessarily to find raw materials at a cost more favorable so that the project has profit

## KEY WORDS

Biofuels, Biodiesel, palm oil, Ricinus, Jatropha Curcas, Trasesterification.

## INTRODUCCIÓN

Uno de los principales sectores económicos del país es el sector del transporte, donde hoy en día se ve la necesidad de implementar métodos o tecnologías que no vayan en detrimento del medio ambiente, las tendencias a nivel global están orientadas al reemplazo de los combustibles fósiles como el diesel por combustibles más limpios obtenidos de materias primas vegetales y/o animales.

Viendo el problema ambiental que se tiene hoy en día, y que uno de los contribuyentes a ello es la quema de combustibles fósiles, se están presentando diversas formas de implementar lo que se llaman las tecnologías limpias, pero estas a su vez a un costo elevado y muchas veces no asequible a nuestra sociedad. En vista de esto es necesario introducir productos compatibles con la tecnología existente y que se acomoden a nuestras necesidades.

En Colombia se llevan a cabo un sin número de proyectos relacionados con la obtención del biodiesel, por lo cual se pretende establecer las pautas necesarias para la puesta en marcha de una planta de producción de biodiesel, teniendo en cuenta las materias primas, los procesos y la maquinaria disponible en el medio y con el objetivo de suplir las necesidades de combustible de una flota de tracto camiones del sector privado.

## MATERIAS PRIMAS

Existe gran variedad de materias primas de origen agrícola de las cuales se puede extraer el aceite necesario para la producción de biodiesel, donde, las más destacadas son las que se exponen en la siguiente tabla de acuerdo a su rendimiento (Ver Tabla 1).

**TABLA 1**  
Materias primas de origen agrícola para la producción de biodiesel

Cultivo	Rendimiento (l/ha/año)	Rendimiento (gal/ha/año)
Palma	5.550	1.466
Cocotero	4.200	1.110
Higuerilla	2.600	687
Aguacate	2.460	650
Jatropha	1.559	412
Colza	1.100	291
Maní	990	262
Soya	840	222
Girasol	890	235

(@ Ministerio de agricultura, 2008)

En Colombia la principal fuente de extracción de aceite para la producción de biodiesel son los cultivos de palma de aceite, debido a su adaptabilidad al medio y a la cantidad de cultivos existentes. Pero en la actualidad existe un monopolio que gira alrededor del cultivo de la palma aceitera, presentándose un crecimiento del precio de venta del aceite de la misma, además se han venido generando ciertas polémicas con respecto al cuidado del medio

ambiente. Por esta razón se ve la posibilidad de estudiar otras alternativas de cultivos tales como la Higuierilla y la *Jatropha Curcas*, de donde se puede obtener el aceite vegetal y que pueden ofrecer otras ventajas.

## **PALMA DE ACEITE**

El cultivo de palma de aceite en el país ha tenido un importante desarrollo en los últimos 50 años. Actualmente se cuenta con por lo menos 170.000 ha cultivadas y la producción de aceite de palma crudo asciende a 547.000 ton/año (CALA HEDERICH, 2003).

Actualmente, es el segundo aceite más consumido en el mundo y se emplea como aceite de cocina, para elaborar productos de panadería, pastelería, confitería, heladería, sopas instantáneas, salsas, diversos platos congelados y deshidratados, cremas no lácteas para mezclar con el café, entre otros. A su vez, los aceites de palma y palmiste sirven para la fabricación de productos oleoquímicos como los ácidos grasos, ésteres grasos, alcoholes grasos, compuestos de nitrógeno graso y glicerol, elementos esenciales en la producción de jabones, detergentes, lubricantes para pintura, barnices, gomas y tinta.

En los últimos tiempos ha venido tomando fuerza su utilización como biocombustible. El biodiesel en la actualidad es una nueva alternativa para la utilización del aceite de palma como materia prima de otros productos (@ FEDEPALMA, 2008).

## **HIGUERILLA**

La Higuierilla se presenta como cultivo alternativo debido a la necesidad de encontrar nuevas opciones para la obtención de biodiesel, entre sus ventajas están la adaptabilidad a suelos pobres, con poca inversión y rápido flujo de caja con muy buenas proyecciones de comercialización, además de las bondades que la planta ofrece, como son controles naturales de plagas y enfermedades y la obtención de algunas sustancias a partir de sus hojas. Después de la extracción del aceite, se obtiene la torta, la cual es un abono especial gracias a su contenido de nitrógeno, fósforo y potasio (DELGADO, 2006).

El cultivo de Higuierilla se caracteriza por la variedad de usos que tiene el aceite y la mayor parte de los subproductos obtenidos en la extracción. El aceite tiene usos en la industria de grasas y aceites vegetales, en la producción de jabones, para usos de estética personal, industria química, obtención de biodiesel, entre otros.

## **JATROOPHA CURCAS**

Actualmente en el medio se han desarrollado estudios acerca de plantas alternativas para la producción de biodiesel, encontrando variedad de cultivos a partir de los cuales se puede extraer aceite apto para la producción de biodiesel. La *Jatropha* aparece como una especie interesante para el país por varias razones: Su cultivo no compite con terrenos aptos para otros cultivos, puesto que sobrevive y crece en zonas relativamente marginales para la agricultura, para climas bastante secos, podría combinarse con especies de leguminosas para el suministro de nitrógeno y podría servir adicionalmente para recuperar zonas degradadas como las de minería de oro.

## **PROCESO DE PRODUCCIÓN DE BIODIESEL**

Este combustible se obtiene por transesterificación, proceso que combina aceites vegetales y/o grasas animales con un alcohol (metanol o etanol) en presencia de un catalizador con el fin de formar ésteres grasos. Del producto resultante se separa la glicerina como un subproducto de interés para la industria, y la mezcla restante, que está compuesta por alcohol y éster, se separa, sometiendo el éster a procesos de purificación y reciclando el exceso de alcohol. En la figura 1 se muestra el esquema general del proceso (UPME, INDUPALMA y CORPODIB, 2003).

FIGURA 1

Caja negra Proceso de transformación Biodiesel



## TECNOLOGÍA DE PRODUCCIÓN DE BIODIESEL

Existen diferentes tecnologías y procesos de producción de biodiesel, que se han venido desarrollando en los países pioneros del sector de los biocombustibles, entre los cuales se encuentran Italia, Alemania y Suiza, entre otros. A continuación se enunciarán algunas de las tecnologías conocidas las cuales se pueden dividir en dos clases de procesos, continuos y discontinuos o por lotes (batches).

Procesos discontinuos (batch): Los procesos discontinuos se caracterizan por la intervención necesaria en cuanto a dosificación y accionamiento en cada uno de los procesos involucrados.

Procesos continuos: Los procesos continuos están orientados a la producción de grandes volúmenes de biocombustibles, por lo cual la tecnología empleada en este tipo de procesos es más compleja que la tecnología utilizada en los procesos discontinuos, debido a las exigencias del tiempo de producción que se requieren (24 horas y 7 días).

## ESTUDIO DE MERCADO

Con el estudio de mercado se pretende establecer la participación a la cual se aspira en el mercado, para finalmente determinar la capacidad instalada que se debe tener.

Con la participación de uno de los miembros del gremio de transportadores de la ciudad de Bogotá D.C, que por petición se mantendrá en el anonimato, se tiene el objetivo de implementar el uso de biodiesel en una flota de 10 Tracto camiones, los cuales se encuentran de forma operativa dentro de la ciudad, y que por la naturaleza de sus contratos de movilidad urbana es de interés certificar el uso de biocombustibles por políticas propias y de sus contratantes.

Con el estudio anterior, se puede establecer una base de 160 mensuales que se deben tener a disposición durante los tres primeros meses con el fin de satisfacer la necesidad de

1 tracto camión, una vez se decida implementar la mezcla de biodiesel en la totalidad de la flota, se debe garantizar provisión de por lo menos 1650 galones de Biodiesel de buena calidad por los siguientes tres meses, para posteriormente aumentar la producción hasta garantizar los 2100 galones necesarios para satisfacer el consumo de toda la flota.

## DIMENSIONAMIENTO Y CONFIGURACIÓN DE LA PLANTA DE PRODUCCIÓN

De acuerdo a los resultados del estudio de mercado se calcularon los consumos de materias primas según la cantidad de producto obtenido. En la Tabla 2 se muestran los consumos y las cantidades de producto, lo cual es la base del dimensionamiento de la planta de producción.

Las materias primas seleccionadas son aceite de palma, metanol y soda cáustica, en general, se seleccionaron por su disponibilidad y fácil consecución.

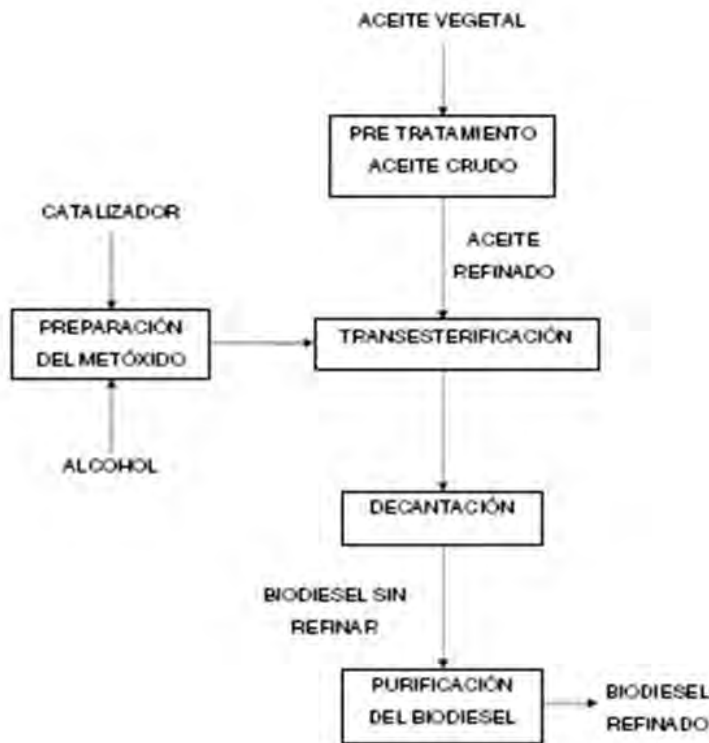
**TABLA 2**  
Consumos y productos para una producción mensual de biodiesel

ENTRADAS	INSUMOS	CANTIDAD
	Aceite vegetal	2.125 gal.
	Alcohol	293 gal
Catalizador	40 kg.	
SALIDAS	PRODUCTOS	
	Glicerina (sin purificar)	342 gal
	Biodiesel	2.100 gal

## CARACTERIZACIÓN DE LA PLANTA DE PRODUCCIÓN

El proceso de producción está basado en los procesos discontinuos o de tipo batch mencionado anteriormente, a partir del cual se definieron los equipos y maquinaria necesaria que consisten en tanques de almacenamiento, reactores químicos, mezcladores y accesorios (bombas y válvulas). En la Figura 2 se muestra el diagrama e flujo del proceso.

FIGURA 2. Diagrama del flujo de proceso de producción de biodiesel



Para la ubicación de equipos y oficinas se necesita una estructura civil de por lo menos 350 m<sup>2</sup>, la cual se dividirá en 4 zonas, almacenamiento materias primas, producción, almacenamiento de producto terminado y oficinas.

### ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL

Es una estructura sencilla con solo tres niveles, ya que es una empresa pequeña con procesos fáciles de controlar (Ver Figura 3).

FIGURA 3 Organigrama general de la empresa



### ANÁLISIS FINANCIERO

En la tabla 3 se muestran los principales componentes del flujo de caja del proyecto en pesos.

TABLA 3 Componentes del flujo de caja del proyecto

ÍTEM	MONTO
INVERSIONES	\$ 76'395.831
INGRESOS	\$ 170'694.000
EGRESOS	\$ 295'191.143
TIO	15%

Luego de realizar el flujo del proyecto se obtienen los siguientes resultados para TIR Y VPN, teniendo en cuenta: VPN = -\$ 348'711.886 y TIR = No se muestra resultado.

La TIR para este proyecto no se puede calcular debido a que los flujos de caja netos de cada año son negativos, es decir, no se obtienen ganancias en ninguno de los

periodos que permitan recuperar la inversión. Lo anterior es justificado por el resultado obtenido en el valor del VPN, ya que es negativo.

La razón principal por la cual este proyecto no es viable económicamente se centra en el precio de las materias primas que abarca el total de los ingresos obtenidos, sin tener en cuenta los otros gastos involucrados (directos e indirectos), se puede apreciar que el margen de precios del valor por galón de aceite crudo y el valor del galón de biodiesel es muy reducido, inclusive llega a ser negativo.

Por otro lado, la cantidad de producto vendido anualmente siempre es igual en todos los periodos, debido a que solo se está abasteciendo la flota de tracto-camiones (técnicamente no se está vendiendo el producto), por lo tanto los ingresos no cambian con respecto al aumento de los costos operacionales, entonces en ningún momento se obtienen ganancias para poder recuperar la inversión.

Para encontrar un punto de equilibrio en el proyecto planteado es necesario buscar alternativas más económicas en las materias primas, específicamente en la obtención del aceite vegetal. Con lo investigado en el estudio realizado en el capítulo 1, se aprecia la posibilidad de obtener la materia prima de fuentes diferentes a la considerada en el análisis financiero. Otra variable involucrada en la rentabilidad del proyecto, es el volumen de combustible a producir y a comercializar, lo cual incurre en un estudio de mercado más específico.

## **CONCLUSIONES**

Actualmente, la principal materia prima para la producción de biodiesel en Colombia, es el aceite de palma, debido a su alto rendimiento y al respaldo que posee del gobierno. Sin embargo, es necesario buscar fuentes alternas para la obtención de aceite vegetal con buenas características que tengan un menor impacto ambiental, tales como la Higuera y la *Jatropha Curcas*.

Para producciones de biodiesel reducidas, la mejor opción a utilizar, es la tecnología de producción por lotes, debido a su accesibilidad, ya que es una tecnología de bajo costo relativamente, fácil de operar y con bajos costos de operación.

El gobierno ha establecido estándares de calidad para la producción de biocombustibles, que establecen las características que debe satisfacer el biodiesel B100, con lo anterior se debe tener en cuenta que para producir biodiesel se deben seleccionar procesos limpios y materias primas que se acomoden lo máximo posible a los requerimientos, sin embargo debido a que el uso del biodiesel se ve restringido, por el volumen de materia prima disponible, a una mezcla de entre 5 – 30% según capacidad instalada, dichas diferencias en las características se ven amortizadas por la mezcla con el ACPM convencional.

El precio de las materias primas es el principal inconveniente a la hora de implantar un proyecto de producción de biodiesel, que en el caso del aceite de palma, su precio es similar con el ACPM de venta nacional. Por lo tanto, es difícil establecer un precio competitivo a la hora de transformar dicho aceite en biodiesel.

En la inversión privada, es difícil realizar un proyecto satisfactorio independiente de los entes gubernamentales y de las oportunidades que se pueden obtener haciendo uso de los incentivos y de los beneficios proporcionados por el gobierno.

## **BIBLIOGRAFÍA**

ARBELÁEZ MARÍN, Ángela María y RIVERA QUIROZ, Marcela Patricia. Diseño conceptual de un proceso para la obtención de biodiesel a partir de algunos aceite vegetales colombianos. Medellín, 2007, p. 3-22. Trabajo de grado (Ingeniero de Procesos). Universidad EAFIT. Departamento de Ingeniería Procesos.

BENJUMEA, Pedro Nel. Analisis de calidad de los biogasoleos de aceite de palma e higuera. En: Revista Energética. No. 31 (2004); p. 11-21

CALA HEDERICH, D. (2003). PROYECTO PARA PRODUCCIÓN DE BIODIESEL A PARTIR DE PALMA AFRICANA. Colombia.

CASTRO, Paula. Opciones para la producción y uso del biodiesel en el Perú. Lima: Soluciones Prácticas – ITDG, 2007. 176 p. ISBN 978-9972-47-139-0.

DELGADO, Federico. La Higuera. Petroleo Verde [En línea]. Medellín, Junio de 2006 [Citado el 26 de Febrero de 2008]. Disponible en: <[www.rds.org.co/aa/img\\_upload/fc51bb4fd8b1d87cba819ab602ad30b8/La\\_Higuerilla.pdf](http://www.rds.org.co/aa/img_upload/fc51bb4fd8b1d87cba819ab602ad30b8/La_Higuerilla.pdf)>

LAROSA, Rodolfo José. Biodiesel Parte 1. En: Revista Ingeniería Química. No. 148 (2005); p. 88.

MINGORANCE, Fidel. El cultivo de la palma africana en el Chocó. [ACNUR] Colombia, Septiembre de 2004 [Citado el 26 de Febrero de 2008]. Disponible en: <<http://www.acnur.org/pais/docs/1937.pdf>>

NATIONAL BIODIESEL BOARD. Biodiesel Production. 2000 [Citado el 1 de Abril de 2008]. Disponible en: <[http://www.biodiesel.org/pdf\\_files/fuelfactsheets/Production.PDF](http://www.biodiesel.org/pdf_files/fuelfactsheets/Production.PDF)>

UPME, INDUPALMA y CORPODIB. Sistema de información de eficiencia energética y energías alternativas. Bogotá, Enero de 2003. [Citado el 6 de Marzo de 2008], Disponible en: <<http://www.si3ea.gov.co/si3ea/documentos/documentacion/Biodiesel/Capitulo%207.pdf>>

ABCBIODIESEL@ Información relacionada con los reactores de transesterificación. [En línea] [Citado 3 de Abril de 2008]. <[www.abcbiodiesel.com.ve](http://www.abcbiodiesel.com.ve)>

ACNUR@ Temas relacionados con el cultivo de palma africana. [En línea] [Citado 13 de Noviembre de 2007]. Disponible en: <[www.acnur.org](http://www.acnur.org)>

BIODISOL@ Temas relacionados a los insumos del proceso de producción de biodiesel. [En línea] [Citado 26 de Marzo de 2008]. Disponible en: <[www.biodisol.com](http://www.biodisol.com)>

FEDEPALMA@ Temas relacionados al biodiesel en Colombia. [En línea] [Citado 13 de Noviembre de 2007]. Disponible en: <[www.fedepalma.org](http://www.fedepalma.org)>

MINISTERIO DE AGRICULTURA@ Temas relacionados con las variables del sector del biodiesel. [En línea] [Citado 12 de Abril de 2008]. Disponible en: [www.minagricultura.gov.co](http://www.minagricultura.gov.co)



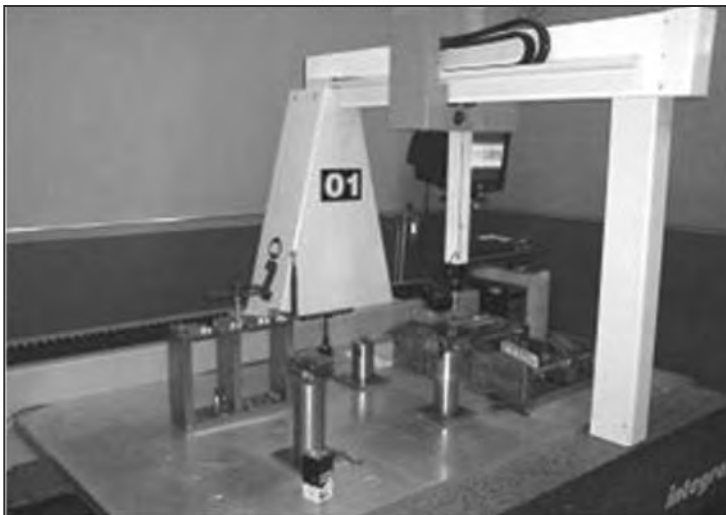
# **PROCEDIMIENTO PARA LA UTILIZACIÓN DE MODELOS TRIDIMENSIONALES REALIZADOS EN PROENGINEER EN LA MÁQUINA DE CONTROL DIMENSIONAL DE LA EMPRESA ANDES INTERNATIONAL TOOLING**

JAIME TADEO SALAZAR BEDOYA  
jsalaz17@eafit.edu.co  
Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS  
DISEÑO DE SISTEMAS TÉCNICOS

ASESOR PRINCIPAL  
GABRIEL JAIME PÁRAMO B.

SECTOR BENEFICIADO  
DEPARTAMENTO DE METROLOGÍA Y  
VERIFICACIÓN DE ANDES INTERNATIONAL TOOLING



## **RESUMEN**

Andes international Tooling es una empresa dedicada a la fabricación de equipo de moldura para botellas de vidrio. El control de la calidad en algunos de sus productos es realizado por inspecciones en máquinas de medición por coordenadas. Actualmente, los programadores de estas máquinas utilizan una interfase de entrada de datos y asignan valores a diferentes variables o en otros casos, toman una plantilla y la modifican para obtener el programa de medición adecuado. En algunas ocasiones, toda la información necesaria para la programación de la máquina no está disponible en los planos, porque estos están pensados para el proceso de producción y por tanto no contienen todas las dimensiones de construcción.

El departamento de ingeniería de AIT utiliza Proengineer Wildfire 2 para hacer los planos. Estos planos están paraméricamente relacionados con modelos tridimensionales de las piezas a maquinar. El objetivo de este proyecto es obtener un procedimiento para usar estos modelos 3D en la programación de una rutina de inspección. Este artículo muestra brevemente la identificación de recursos, actividades y pruebas realizadas para hacer disponible la información contenida en los modelos CAD de las partes a fabricar en la programación de su verificación dimensional.

## **ABSTRACT**

Andes International Tooling is a company dedicated to manufacture mould equipment for glass containers. The quality assurance of their products is provided by the inspection of a programmable coordinate-measuring machine (CMM). Today, programmers use a input interface (Where give values to different variables) or a template to obtain an

appropriated program. In some cases, all the information required by the CMM is not available on drawings because they were made for the shop, so some construction dimensions are missing.

Engineering department utilize Proengineer Wildfire 2 for drafting where drawings are parametric, which means that it uses three-dimensional models that are driven by parameters and intelligent features, rather than simple dimensional values. The goal of this project is to obtain a procedure to use 3d CAD data from this models for programming a CMM inspection. This article shows the resources identification, activities and tests made to make available CAD data from the parts manufactured at AIT, in the programming of its dimensional verification.

## **KEY WORDS**

Coordinates measurement machines (CMM), CAD data exchange, Computer-aided quality assurance (CAQ)

## **PALABRAS CLAVE**

Máquina de medición por coordenadas (CMM), archivos de intercambio CAD, Calidad asistida por computador

---

## **INTRODUCCIÓN**

La industria del vidrio es una de las que más ha mostrado elementos en la evolución de lo que podemos llamar diseño por la diversidad de productos y variantes que de ella se aprovechan, aunque básicamente, el proceso de fabricación del vidrio ha permanecido invariable desde sus comienzos, pues las principales materias primas y las temperaturas de fusión no han sido modificadas (Tessy,2003,19).

Los envases de vidrio fueron un elemento de lujo ya que la industria dependía exclusivamente de la habilidad y de la disposición de los sopladores de vidrio. En 1903, todo eso cambió gracias al invento de Michael J. Owen: la primera máquina totalmente automática de fabricación de botellas. Esta máquina posibilitó la producción masiva de botellas y de frascos de la misma altura, peso y capacidad. Pronto llegaron las líneas de embalaje y de llenado de alta

velocidad. Los envases de vidrio hicieron su ingreso a la era moderna con máquinas modernas capaces de producir más de 1'000.000 de botellas por día. La máquina Owens, impulsó la formación de la empresa Owens Bottle-Machine Company, también en 1903, y sentó las bases para los futuros avances tecnológicos (Owens@2007).

En 1929, la empresa Owens Bottle-Machine Company se fusionó con la empresa Illinois Glass Company y pasaron a formar Owens-Illinois Glass Company. En 1965, el nombre legal de la empresa cambió a Owens-Illinois, Inc. para reflejar el mayor alcance de las actividades de la empresa, incluida la fabricación de embalajes plásticos. En 2005, la marca comercial pasó a llamarse O-I para alinearse con todas las divisiones mundiales bajo una misma estrategia y para volver a focalizar las actividades de la empresa y su cultura con el objetivo de unificar las capacidades conjuntas, ampliar la base de mercado y concentrarse en los principios fundamentales para competir, crecer y obtener mejores ganancias en la industria del embalaje mundial (Owens@2007).

Andes Internacional Tooling Ltda, reconocida por sus siglas AIT, es una empresa manufacturera perteneciente al grupo Ross International, una de las más importantes compañías dedicadas a la fabricación de moldura para vidrio en todo el mundo, con plantas en Colombia, Inglaterra, Hungría, Sudáfrica y Estados Unidos (Umi@2007).

La empresa fabrica en La Estrella, municipio del área metropolitana de Medellín, equipo de moldura para la formación de vidrio en los procesos de soplo-soplo y prensado-soplado para las plantas de vidrio de O-I de los Estados Unidos, Canadá y Europa, así como también para el grupo Saint Gobain Containers. Todo el equipo de moldura requiere un control de calidad que en algunos casos, debe verificar dimensiones con tolerancias hasta de diezmilésimas de pulgada.

## **MÁQUINAS DE MEDICIÓN POR COORDENADAS**

Las tecnologías avanzadas están sustituyendo a las técnicas manuales de medición y calibración, tanto la

tecnología de detección con contacto como la sin contacto. En los procedimientos de inspección que se realizan en forma manual, el trabajo suele ser aburridor y monótono. Debido al tiempo y al costo de la inspección manual, se usan generalmente procedimientos de muestreo estadístico para reducir la necesidad de inspeccionar todas las partes. Las máquinas con sistemas láser, inductivos, electromagnéticos y las de medición por coordenadas son algunos de los sistemas de nueva tecnología más comúnmente usados (Groover,1997,1011).

La máquina de medición por coordenadas es un sistema mecánico diseñado para trasladar una sonda medidora que determina las coordenadas de puntos en la superficie

de una pieza de trabajo. Son comúnmente usadas para medir dimensiones y posiciones en partes mecánicas. La sonda trabaja tocando diferentes zonas de la pieza y utiliza las coordenadas X-Y-Z de cada uno de los puntos para determinar dimensiones y posición.

Las arquitecturas que puede tener una CMM se han ido consolidando a lo largo de los años dependiendo de las dimensiones de la estructura mecánica y de si lo que se quiere maximizar es la velocidad de la máquina, las características metrológicas o la accesibilidad de la pieza que se debe medir. Cantilever con mesa fija, Puente móvil y Tipo Granty son arquitecturas comunes y pueden ser apreciadas en la Figura.

FIGURA 1. Arquitecturas de máquinas de medición por coordenadas



Metris@

## PROCESO PRODUCTIVO EN ANDES INTERNATIONAL TOOLING

En el último año se implementó un sistema de comunicación entre el departamento de servicio al cliente de AIT y O-I por medio del cual los pedidos de fabricación son matriculados, revisados o modificados. Dicho sistema a través de reportes en pantalla e impresos, informa el contenido de un pedido, las fechas de cumplimiento, los planos de referencia para la elaboración de nuevos planos, la planta que lo requiere, el material a utilizar, entre otra información.

El departamento de ingeniería trabaja en planos para la fabricación de cada uno de los componentes del equipo

solicitado por el cliente después de ser aceptada la orden. Con los planos de referencia y las instrucciones enviadas por O-I, este departamento procede a ordenar la materia prima para la fabricación de la moldura.

Los planos de referencia son transformados para conseguir lo pedido en las especificaciones. Luego se envían digitalmente en formato .plt a través de un sistema de replicación utilizado entre los departamentos de ingeniería de AIT y Ross Mould en Pittsburg. Allí estos planos son chequeados y devueltos a través del mismo sistema para que se hagan correcciones. Los archivos corregidos que comprenden modelos tridimensionales y planos realizados en Proengineer, son entonces sincronizados en una base central para que estén disponibles tanto para los departamentos en Colombia como en Estados Unidos.

Los planos son impresos a escala 1:1 y se entregan copias a producción y al departamento de control numérico. Este último utiliza los planos y los modelos para realizar códigos para las máquinas. Algunas de las piezas fabricadas se pueden apreciar en la Figura 2.

FIGURA 2. Productos terminados fabricados en AIT



## EL PROCESO EN LA CMM

La utilización de las CMM durante el proceso productivo está sujeta a la disponibilidad de un programa o rutina de medición, diseñado y utilizada para una pieza particular en un determinado proceso y en una determinada máquina. Las actividades de las máquinas de medición por coordenadas de AIT están a cargo de su programador, quien recibe los planos de las piezas a fabricar y comienza a realizar las rutinas de inspección para cada una de ellas.

La realización de los programas para la verificación de dimensiones es similar a los procesos realizados por los programadores de control numérico. En el caso de las máquinas CMM, el encargado utiliza plantillas que han venido siendo utilizadas en procesadores de texto. Según la forma y las dimensiones reportadas por los planos de producción, se utiliza el programa que requiera menos cambios. Cálculos aritméticos, trigonométricos y conocimiento del lenguaje de programación de las CMM son necesarios en esta instancia. La labor requiere atención y concentración pues los programas más sencillos de confirmación de dimensiones pueden contener más de 1300 líneas (Gómez, 2008).

## SELECCIÓN DE LA PIEZA EJEMPLO

La selección de la pieza inicial debe propiciar facilidad y agilidad para los procesos de ensayo, por lo que se supone será alguno de los productos de más baja complejidad a la hora de su fabricación. Sin embargo, se debe tener en cuenta el requerimiento del personal de control de calidad, en lo que se refiere a cual es el producto que necesita ser implementado en la plataforma más rápidamente, y también tener en cuenta cual ha sido el producto que mayor número de reclamos de calidad por parte de los clientes, y por ende, el que más necesite de ayudas a la hora del proceso de control dimensional.

## OPINIÓN DE LOS USUARIOS DEL PROCESO

El departamento de ingeniería y el operador de CMM coinciden en que la pieza que más ha requerido de la adición de cotas para la elaboración de los programas de la máquina de medición son los anillos y las boquilleras. Moldes, premoldes, tapas y embudos se han venido utilizando sin mayores contratiempos pues, aunque son de una complejidad mucho mayor, las dimensiones a controlar

se encuentran expresas en el plano y en pocos casos se ha requerido de la adición o la medición de entidades no controladas en los planos. La opinión de los usuarios del proceso se calificó pidiendo a estos que organizaran por importancia la pieza para la implementación del nuevo procedimiento. El primer puesto según la opinión de los usuarios se califica con el puntaje más alto en una escala de 1 a 5.

FIGURA 3

Tabla de valoración de los usuarios

	Posición de importancia según el usuario	puntaje asignado (1 a 5)
molde-premolde	3	3
fondo-tapa	4	2
boquillera	2	4
anillo guía	1	5

## COMPLEJIDAD DE LA PIEZA

La determinación de la simplicidad de la pieza se hará a partir del número de procesos que requieran las partes. Moldes y premoldes pueden llegar a requerir más de 10 procesos de producción, mientras un anillo guía puede estar terminado en solo dos. La Figura 4 muestra una calificación asignada a cada una de las piezas evaluadas según el número de operaciones empleadas. La mejor calificación será para la pieza de menor número de procesos y por ende, la más sencilla.

FIGURA 4

Tabla de valoración por sencillez de fabricación

	Número mínimo de procesos requeridos	puntaje asignado (1 a 5)
molde-premolde	8	1
fondo-tapa	3	4
boquillera	3	4
anillo guía	2	5

## RECLAMOS ASOCIADOS A DIMENSIONES

La cantidad de reclamos se filtran según el producto asociado y se seleccionan aquellas que han sido generadas por inconformidades referentes a dimensiones. Estas cantidades se aprecian en la Figura 5, donde se muestra a su vez la valoración dada para la selección final.

FIGURA 5

Tabla de fabricación por reclamos

	Reclamos asociados a dimensiones	puntaje asignado (1 a 5)
molde-premolde	11	5
fondo-tapa	0	1
boquillera	6	3
anillo guía	5	3

## PIEZA SELECCIONADA

Los criterios de selección fueron valorados para mostrar su importancia en el proyecto. El 50 % de la decisión debe estar basada en la opinión de los usuarios, el otro 50 % se asignó a los otros dos criterios. Figura 6 muestra la forma en que se realizó la valoración final para la selección y una imagen de la pieza escogida.

FIGURA 6. Tabla de selección para la pieza prueba

ITEM EVALUADO	Calificación por reclamos	Parcial para selección (25%)	Calificación por sencillez	Parcial para selección (25%)	Calificación por usuario	Parcial para selección (50%)	VALORACIÓN FINAL
moldes-primario	5	1,25	2	0,5	3	1,5	3,25
terceros-lapa	1	0,25	4	1	2	1	2,25
la equidiana	3	0,75	4	1	4	2	3,75
ordinales	3	0,75	5	1,25	5	2,5	4,5



## RECURSOS Y RESTRICCIONES

### Proengineer wildfire 2.0

La presencia de Proengineer wildfire 2 en AIT se fundamenta en la necesidad de conservar compatibilidad con la información proveniente desde el departamento de ingeniería de Ross Mould en Estados Unidos. Hace varios años, fueron diseñados unos archivos maestros para cada una de las partes que componen un equipo de moldura para botellas de vidrio. Además, una base de datos con

los archivos correspondientes a cada orden fabricada es conservada y se compone principalmente de archivos de Proengineer.

El modelado de piezas en Proe se realiza dentro de un proceso que permite la parametrización de los datos plasmados en los archivos de cada parte con los diferentes tipos de archivos y herramientas que el programa ofrece. La Figura 7 es un esquema que muestra una interrelación del proceso de modelado con las demás herramientas y tipos de archivo.

FIGURA 7  
Proceso de modelado paramétrico en Proengineer



### Máquina de medición por coordenadas

Andes International Tooling cuenta en la actualidad con dos máquinas de medición por coordenadas LK integra 15.10 8. En torno a ellas se han establecido rutinas de inspección durante la fabricación y varios procesos y herramientas para el uso por parte del personal de la empresa.

### El software de la CMM

Los programas realizados por los encargados de las CMM pueden ser utilizados en cualquiera de las 2 máquinas. Sin embargo, existe una aplicación mucho más gráfica y amigable que permite programar, medir, establecer parámetros y guardar rutinas con un ambiente que se

asemeja mucho a un programa CAD. Este software será la herramienta que permitirá realizar la conexión entre Proengineer y la máquina de medición por coordenadas.

### Camio Studio 4.0

LK Camio es un ambiente de programación e inspección para máquinas de medición por coordenadas. Camio permite crear programas de inspección off-line a partir de un archivo CAD en 3d, programar manualmente on-line, o una combinación de ambos métodos, proporcionando herramientas de modelado y soportando archivos en formato SAT, IGES, VDA, CATIA, entre otros. La apariencia de la interfase gráfica de Camio Studio se muestra en la Figura 8 (LK Metrology,2000,15).

FIGURA 8. Interfase gráfica de Camio



LK metrology,2000,29

La ventana de programa muestra el programa DMIS actual. Puede alternarse la forma de visualización entre comandos DMIS y texto descriptivo. La ventana de modelo muestra una vista del modelo CAD con las herramientas comunes a tareas de traslación, rotación y acercamiento. La zona de ventanas Camio permite la personalización de las vistas con la posibilidad de mostrar en ella ventanas de aviso de colisiones, reportes gráficos, entre otras.

Las consideraciones preliminares muestran que el proyecto deberá arrojar como resultado un procedimiento que desarrolle tres etapas básicas: La generación de los archivos, la interpretación de estos por el software correspondiente en la CMM y la posibilidad de medición de una pieza física a partir de los datos exportados desde Proengineer. Desde este punto se orienta el desarrollo de las actividades hacia la primera etapa de diseño de pasos para el procedimiento, la comunicación entre Proengineer Wildfire 2 y Camio Studio. La Figura 9 muestra esquemáticamente el planteamiento del proyecto.



FIGURA 9. Esquema general del procedimiento



## INTERCAMBIO DE DATOS

Los formatos nativos de este software para archivos tridimensionales tiene extensión \*.prt y \*.asm, pero pueden ser exportados a distintos medios a través del comando save a copy del menú file.

Los archivos provenientes de Proengineer tendrán que ser utilizados en Camio Studio. La Figura 10 muestra un listado de tipos de archivo que según el manual de Camio pueden usarse como modelo para hacer mediciones en tiempo real o para hacer un programa.

FIGURA 10. Archivos que pueden ser importados a Camio

Formato	Extensión
CATIA® v4	*.exp or *.model
CATIA® v5	*.CATPart or *.CATProduct
IGES	*.igs
Parasolid®	*.xmt_txt or *.x_t.
Pro/E File	*.asm or *.prt
VDA	*.vda
STEP	*.step or *.stp
UG	*.prt

Camio Studio teóricamente podría utilizar archivos nativos de Proengineer sin ninguna clase de proceso de exportación, pero el software que está instalado en la máquina de Andes International Tooling no posee todas las opciones.

La revisión del manual y conversaciones con los encargados de la máquina CMM hacen concluir que la aplicación para la cual Andes International Tooling posee licencia es Camio Inspect. Varias funciones de Camio Studio están visibles en Camio Inspect pero aparecen desactivadas o muestran

mensajes de error al momento de ejecución, o como pasa con el menú open model, no contienen todas las opciones (LK metrology,2000,16).

El formato seleccionado será el resultado de un cruce simple entre las múltiples opciones de exportación desde Proe con las opciones de importación de Camio. Las opciones se reducen entonces al formato tipo iges y ACIS (\*.sat).

## **PROCESO DE EXPORTACIÓN DESDE PROENGINEER**

La primera actividad de este aparte estará encaminada a la elección del tipo de archivo que se usará en el procedimiento. Esta elección se hace basada en la sencillez del proceso de exportación y la afinidad que tengan las partes implicadas en el proceso.

La recomendación del personal que maneja la máquina de medición fue utilizar los archivos tipo SAT. No había una razón documentada para ello, solo que las anteriores pruebas se habían hecho con este tipo de archivo. Sin embargo, se decidió trabajar las pruebas de importación con archivos tipo iges pues es el tipo de formato de intercambio que había sido utilizado por los integrantes del departamento de ingeniería en otros procesos. Se exportan archivos iges de manera sólida, superficie, alambre, y archivos sat de tipo sólido y cascarón.

## **PROCESO DE IMPORTACIÓN**

Los archivos exportados son dispuestos en una carpeta a la cual se accede por medio de la opción open model ubicada en el menú model. El proceso de importación termina cuando el archivo tridimensional es cargado en la ventana de modelo.

El modelo importado es examinado con ayuda del programador de la CMM, tratando de identificar la integridad de las entidades mostradas por la ventana de modelo. Hasta este momento, el resultado de la importación con el archivo de opción sólida es el mismo que el de la opción superficie. Sin embargo, se detectó que los datos importados desde archivos iges no permitían la selección de entidades cónicas y cilíndricas. Los archivos sat no presentan problemas de este tipo. La primera recomendación con la que se debe contar a la hora de establecer el procedimiento aparece en este aparte. Después de este momento, cuando la importación ya está hecha y el modelo está cargado, es conveniente guardar la información. Al utilizar el comando save model, Camio guarda toda la información del modelo en su formato nativo. De esta manera no es necesario volver a realizar el proceso de importación.

La orientación de la pieza dentro de la ventana del modelo deberá realizarse respetando la ubicación real de la pieza física montada en la celda de trabajo. La apariencia de este dispositivo se puede observar en la Figura 11. Un montaje especial de mordazas diseñadas para este tipo de pieza ubica el eje Y. En la ventana del modelo, este eje debe estar orientado de la misma manera.

FIGURA 11. Superficies no seleccionables desde archivos IGES



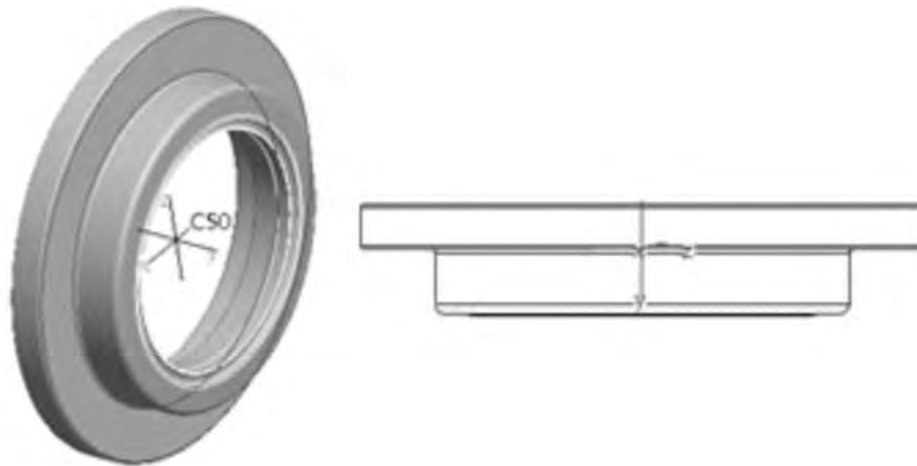
FIGURA 12. Montaje de anillos guía en la mesa de medición



La orientación de la geometría importada nos muestra una nueva limitación que lleva a plantear un nuevo requerimiento para el proceso de exportación. La limitación de Camio radica esta vez en la imposibilidad de generar un sistema de coordenadas. La herramienta de orientación trabaja con un cuadro de diálogo que permite la rotación únicamente sobre los ejes X, Y, Z. Si el modelo importado no posee unos ejes de referencia, la orientación se convierte en un proceso de adición de entidades y construcciones geométricas.

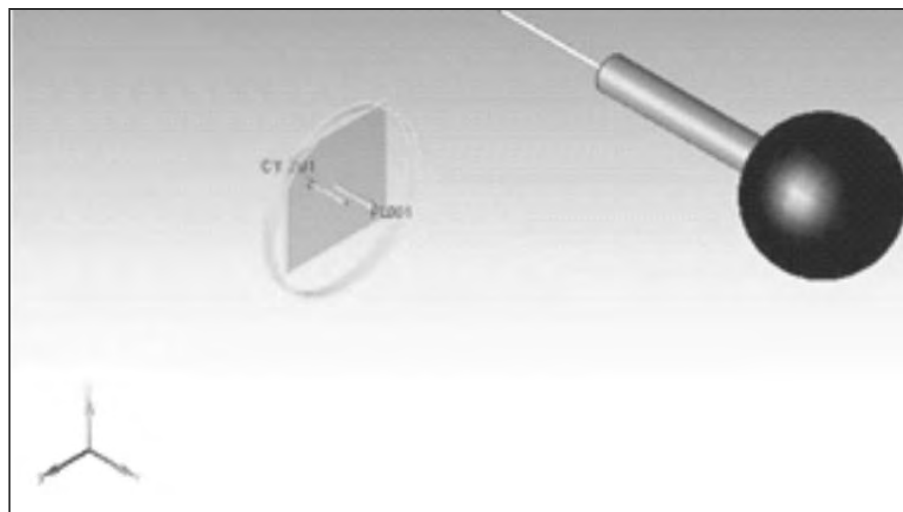
El requerimiento del personal de CMM es que el archivo tipo exportado tenga unos ejes coordenados exactamente con la orientación que muestra la Figura 13. El plano XZ debe ser la superficie resaltada, mientras que el eje Y deberá corresponder al eje de simetría de la pieza. De esta manera, el plano XY se posicionará paralelo a la mesa de la máquina.

FIGURA 13. Sistema de coordenadas agregado desde Proengineer



La ubicación del modelo para el software puede hacerse con la ayuda de las sondas palpadoras y una pieza real maquinada. Este método de alineación consiste en seleccionar entidades en el modelo y hacerlas correspondientes a toques que el palpador puede hacer sobre la pieza que está ubicada en las mordazas.

FIGURA 14. Entidades construidas para el proceso de alineación



## **INSPECCIÓN DE UNA PIEZA TERMINADA**

El proceso de inspección se realiza sobre una pieza terminada que haya pasado en su momento por el proceso de la CMM. Buscando en los sobrantes de producción se encontró una pieza descartada que se conservaba en buen estado. La pieza estaba debidamente marcada y gracias al sistema de almacenamiento digital de AIT, el dibujo con el cual se fabricó la pieza se encuentra disponible

El modelo utilizado para el plano es sometido al proceso de exportación desde Proe e importación en Camio. Teniendo la información en el formato nativo de este software, se asocia a un programa y aplicando las acciones anteriormente descritas se procede a realizar la primera medición.

Camio permite realizar mediciones sobre las entidades del modelo o hacer construcciones a partir de ellas para determinar el cumplimiento de dimensiones pedidas por el plano. Con la sola selección de una entidad como por ejemplo la frontera de alguna de las superficies cilíndricas y la determinación de la cantidad de toques, el programa está preparado para mover la sonda hacia la pieza y hacer los toques correspondientes.

La medición de la entidad es precedida por líneas de programa que definen requerimientos iguales a los del proceso de alineación. No es necesario repetir la definición de parámetros como las unidades, pero deben revisarse antes de cualquier movimiento la posición del sensor con respecto a sus ejes y su adecuada selección y calibración.

La medición de la entidad seleccionada es un dato que el software reconoce, almacena y puede mostrar. La herramienta Tolerances se utiliza para definir cuáles dimensiones están en el rango aceptable y cuáles no. Este comando se aplica a cada medición y aparece en el reporte de entrega de resultados. Este reporte se forma a partir de

la utilización de la función output. Con ella, el dato medido se envía a un determinado medio de visualización, sea el reporte del que se habla en este caso, una pantalla de texto, una ventana graficadora o una impresora.

**FIGURA 15**  
**Esfera de calibración de la CMM**



## **COMPARACIÓN DE REPORTE**

Este aparte muestra una comparación entre los reportes que fueron arrojados por Camio y el registro de la inspección de la pieza en la época que se fabricaba. La comparación a realizar debe comprobar la utilidad de los datos importados. Por lo tanto el objetivo será determinar si las dimensiones nominales que fueron ingresadas manualmente en un programa de inspección anteriormente corresponden a la información contenida en el modelo. Algunas de las dimensiones inspeccionadas se ven en la tabla de la Figura 16.

El resultado de la comparación de los valores necesarios para considerar que los valores nominales necesarios para programar una inspección pueden obtenerse a partir del modelo importado es satisfactorio. Todas las entidades poseen el valor adecuado.

FIGURA 16. Tabla comparativa de valores nominales

DIMENSIÓN	Reporte Archivado		Reporte Camio		ENTIDAD Camio
	TARGET	ACTUAL	ACTUAL	NOMINAL	
FRONT DIAMETER NEAR FLANGE =	2,8745	2,8746	2,8740	2,8745	CIR002
LENGTH OF FRONT DIAMETER (NOSE LENGTH)	0,4550	0,4556	0,4553	0,4550	PL001-PL002
FLANGE THICKEST	0,3100	0,3105	0,3101	0,3100	PL001-PL003
LONGEST GUIDE LENGTH	0,7650	0,7654	0,7654	0,7650	PL002-PL003
FLANGE DIAMETER	3,9100	3,9095	3,9098	3,9100	CIR004
REAR BORE DIAMETER	2,4945	2,4946	2,4947	2,4945	CIR005
DEPTH OF REAR BORE	0,3100	0,3102	0,3104	0,3100	PL003-PL004
PLUNGER BORE DIAMETER	2,1165	2,1164	2,1156	2,1165	CIR003
FORM STRAIGHT MATCH DIAMETER	2,3170	2,3168	2,3163	2,3170	CIR006

## CONCLUSIONES

El avance tecnológico asociado a los procesos de manufactura y las cada vez más precisas condiciones de calidad requeridas por los productos a fabricar, condicionan un avance paralelo de las herramientas de verificación de los resultados de dichas tecnologías.

La aplicación oficial del resultado de este proyecto implica replantear los procesos al interior de la planta de producción y los procedimientos de programación de las máquinas de medición por coordenadas. La necesidad de realizar el proceso de programación más de una vez, lo cual es poco práctico para los procesos de verificación tal y como están establecidos actualmente, proviene del hecho de que las herramientas ofrecidas por el software Camio han sido subutilizadas, principalmente por la imposibilidad de emplearlo en las dos máquinas de medición de coordenadas de Andes International Tooling, debido a que sólo se posee una licencia.

Las piezas de menor número de procesos requeridos con participación significativa dentro de los productos terminados fabricados al interior de Andes International Tooling, son los anillos guía. Aunque es una pieza simple geoméricamente, posee un alto grado de dificultad pues tiene dimensiones a controlar con tolerancias de diezmilésimas de pulgada y ángulos exactos.

La dependencia generada por la necesidad de mantener una compatibilidad entre las bases de datos existentes en

el departamento de ingeniería de Ross Mould en Estados Unidos y los archivos con los que se trabaja en Andes International Tooling, condicionan la utilización de una versión desactualizada de Proengineer Wildfire, software que se encuentra disponible en el mercado y es trabajado en la universidad EAFIT en su versión 4.0. Sin embargo, no es posible concluir que la mencionada desactualización tenga relación con los inconvenientes presentados en el campo de la verificación de dimensiones o el manejo de la información teniendo en cuenta que siendo un software con varios años dentro de la empresa, no se han aprovechado todos los módulos que puede ofrecer.

La existencia de un modulo de manejo y programación para máquina de medición por coordenadas dentro de Proengineer es una posibilidad que no ha sido tenida en cuenta dentro de Andes International Tooling. La existencia de Camio Studio como aplicación original de la CMM conlleva a que las actividades generadas por este proyecto estén orientadas totalmente a un campo de comunicación unidireccional, es decir, a un proceso de exportación de datos desde la aplicación de modelado a la aplicación nativa de la CMM, perdiéndose de esta manera los beneficios de la herramienta paramétrica.

La importación de un modelo realizado en Proengineer a la interface gráfica de Camio y la posible documentación y repetición de los pasos realizados para ello con varios archivos, manifiesta cumplimiento del objetivo general del proyecto. Sin embargo, los inconvenientes tenidos durante la realización de procesos relativamente simples y para los

cuales no se tenía planificado dedicar recursos, plantean la necesidad de seguir realizando pruebas con modelos de otros tipos de piezas que contengan superficies de nivel más complejo y de mayor tamaño, para conocer las limitaciones que el software pueda presentar y evaluar el nivel de ayuda que pueda prestar agilizando las tareas de programación e inspección.

## BIBLIOGRAFÍA

DYM, Clive., LITTLE, Patrick. El proceso de diseño en ingeniería: Cómo desarrollar soluciones efectivas. Ciudad de México, México: Editorial Limusa SA, 2002. 9 p. ISBN 968-18-6201-5

GROOVER, Mikell P. Fundamentos de manufactura moderna: materiales, procesos y sistemas. Naucalpan de Juárez, México: Editorial Prentice Hall Hispanoamérica, 1997. p. 299-300, 1007-1011. ISBN 0-130312182-8.

LOPEZ, Tessy y MARTINEZ, Ana. El mundo mágico del libro. 3 ed. Ciudad de México, México: Fondo de cultura económica, 2003. p 19, 68. (La ciencia para todos; no.137). ISBN968-16-6969-3.

ORTUÑO, Bernabé., IRIBARREN, Emilio. Diseño de nuevos productos: Una perspectiva sistemática. Valencia, España: Editorial CERES-UPV, 1999. p 15-17. ISBN 84-7721761-0.

FERRÉ MASIP, Rafael. Cómo programar un control numérico. Barcelona: Marcombo, 1988. 9 p. ISBN 84-267-0710-6.

CONVERSACIONES con Luis Enrique Gómez, operador y programador de la máquina de medición por coordenadas de la empresa Andes International Tooling. Medellín, noviembre de 2007 a mayo de 2008.

JOHNSON, David. Re: Personal help. [Online]. Message to: Jaime SALAZAR. 8 november 2007 [cited 3 april 2008]. Personal communication.

LK METROLOGY SYSTEMS INC. Camio Studio 4.0 software reference manual. Brighton, 2000. p 15-17.

Artevetro@ Historia del arte de vidrio. [Internet]. Disponible en: [http://www.artevetro.cl/Paginas/un\\_poco\\_de\\_historia.htm](http://www.artevetro.cl/Paginas/un_poco_de_historia.htm). [30 de octubre de 2007].

Filext@ Ofrece información sobre extensiones de archivos. [Internet]. Disponible en: <http://filext.com/file-extension/SAT>. [5 de julio de 2008].

Infoindustrial@ Maquinaria, equipos y métodos para la industria. [Internet]. Disponible en: [http://www.reporteroindustrial.com/ri/secciones/RI/ES/MAIN\\_NOTICIAS/NPRODUCTOS/doc\\_57820\\_HTML\\_html?idDocumento=57820](http://www.reporteroindustrial.com/ri/secciones/RI/ES/MAIN_NOTICIAS/NPRODUCTOS/doc_57820_HTML_html?idDocumento=57820). [12 de noviembre de 2007].

Metalunivers@ Portal de la industria metalmecánica Artículo #1. [Internet]. Disponible en: <http://www.metalunivers.com/Tecnica/Hemeroteca/ArticuloCompleto.asp?ID=10512>. [5 de noviembre de 2007].

Metris@ Portal del fabricante y desarrollador Metris Co. [Internet]. Disponible en: [http://www.metris.com/products/coordinate\\_measuring\\_machines/gantry\\_cmm/large\\_scale\\_gantry\\_cmm/](http://www.metris.com/products/coordinate_measuring_machines/gantry_cmm/large_scale_gantry_cmm/). [22 de noviembre de 2007].

Nist@ Información sobre el formato IGES. [Internet]. Disponible en: <http://ts.nist.gov/standards/iges/>. [2 de Septiembre 2008].

Owens@ Web de la compañía OI. [Internet]. Disponible en: <http://www.o-i.com/> [31 de octubre 2008].

Plt@ Definición de los archivos PLT. [Internet]. Disponible en: <http://www.helioplan.com/manual2/plt2000/>. [8 de mayo 2008].

Proyimpcad@ Información sobre diseño y sistemas CAD. [Internet]. Disponible en: <http://orbita.starmedia.com/~itmdiplomadospti/juanplaza/proyimpcad.htm#contenid>. [2 de abril 2007].

QCinspection@ Proveedor de servicios de medición e inspección. [Internet]. Disponible en: <http://www.qcinspect.com/article/demist.htm> [5 de mayo 2008]

Renishaw@ Fabricante de productos industriales. Sección CMM. [Internet]. Disponible en: <http://www.renishaw.it/client/product/Italian/PGP-28.shtml> [13 de Noviembre de 2007].

Ptc@ Prestaciones generales de Pro/ENGINEER. [Internet]. Disponible en: <http://www.ptc.com/products/proe/product-capabilities.htm>. [30 de octubre de 2007].

Umi@ Ensayos sobre la dinámica de los factores de ajuste. [Internet]. Disponible en: <https://drum.umd.edu/dspace/bitstream/1903/3776/1/umi-umd-3616.pdf>. [14 de Noviembre de 2007].



# **PLAN DE NEGOCIOS PARA LA CREACIÓN DE UN CRIADERO Y PROCESO DE TRANSFORMACIÓN DE CARACOLES DE LA ESPECIE HELIX ASPERSA**

**SEBASTIÁN TORO**  
storocal@eafit.edu.co  
Departamento de Ingeniería Mecánica

**ÁREA DE ÉNFASIS**  
GESTIÓN DE PROYECTOS

**ASESOR PRINCIPAL**  
JOHN MIGUEL DÍEZ BENJUMEA

**SECTOR BENEFICIADO**  
SECTOR HELICICOLA



## **RESUMEN**

El proyecto, plan de negocios para la creación de un criadero y proceso de transformación de caracoles de la especie *helix aspersa*, busca determinar la viabilidad del montaje de dicho criadero como una opción rentable de desarrollo empresarial y a su vez busca dar una solución a un sector que ha sido muy descuidado en el país y víctima de engaños.

La metodología utilizada para el desarrollo del proyecto estuvo conformada de la siguiente manera, inicialmente se hizo un completo estudio e investigación acerca de la situación actual de la helicultura tanto a nivel local, como a nivel internacional

De esta investigación se desprenden un estudio legal que empieza a mostrar ciertas falencias en el ámbito de la helicultura, luego se procede con el estudio técnico, de mercado y precio y con los datos obtenidos se llega a la parte financiera.

Extrayendo la información de costos recopilados a lo largo del desarrollo del proyecto y con base en algunos parámetros de carácter financiero, se realiza un análisis que ayude a determinar la viabilidad del proyecto. Para esto se construye el flujo de caja considerando un periodo de evaluación de 5-6 años, donde el primer año es de implementación, y los siguientes comienza la producción.

Los resultados son utilizados para calcular el Valor Presente Neto (VPN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR), los cuales demuestran de una manera muy contundente la gran viabilidad económica que tiene este proyecto en caso de ser desarrollado.

También se hace un análisis de sensibilidad modificando algunos de los parámetros financieros fundamentales como cambios

en el porcentaje de la producción y el precio de venta de los productos. Este análisis de sensibilidad refuerza los resultados obtenidos en el cálculo del VPN y además muestra si el proyecto puede soportar posibles fluctuaciones con la demanda del mercado, y la posibilidad de competir con precios bajos manteniendo un buen nivel de calidad sin que el proyecto deje de ser rentable.

Finalmente se concluye que el proyecto del criadero como se plantea no es viable para llevar a cabo debido a que no existe una reglamentación clara que permita la exportación de caracol vivo y por lo tanto se procede con una segunda parte en la cual se evalúa de manera más general una alternativa que permita la comercialización del caracol a nivel internacional.

Con la ayuda del equipo de Tecnas S.A. se estudia técnica y financieramente la propuesta de convertir el caracol en un producto final, para este caso caracoles pre-cocidos en salsa y se llega a la conclusión de que es una opción viable y muy rentable y se concluye que es una iniciativa completamente viable para llevar a cabo, tanto técnica, legal como financiera.

#### ABSTRACT

The project, plan of business for the creation of a hatchery and process of transformation of snails of the specie *helix aspersa*, looks for to determine the viability of the assembly of this hatchery in Colombia like a profitable option of management development and to give a solution to a sector that has been very careless in the country and a victim of abuses and deceits.

The methodology used for the development of the project was conformed in the following way, initially it was made a complete study and investigation about the current situation of the snail farming sector so much at local and international level.

With this investigation it come off a legal study that began to show certain weakness in the snail farming sector in Colombia, then it proceeded with the technical study, market and price study, and with the obtained data it arrives to the financial part.

Extracting the information of the costs compiled along the development of the project, and based on some financial parameters, an analysis is made that helps to determine the viability of the project. With this purpose, the funds flow diagram was done, considering an evaluation period of 5-6 years, where the first year involved the snail farm implementation, and the followings years are of production.

The results are used to calculate the Present Net Value (PNV) and the Internal Return Rate (IRR), which demonstrated in a very clear way the great viability this project could have in case of it being developed.

A sensibility analysis was also done by modifying some of the fundamental financial parameters such as the percentage of the production and the products' sale price. This sensibility analysis strengthened the results that were obtained in the calculation of the PNV and in addition it shows if the project can support possible fluctuations in the market's demand and the possibility of competing with low prices keeping a good quality level without loosing profitability.

Finally it concludes that the project of the snail farm like it was proposed is not viable to develop, because there is no clear regulation that allows the export of alive snail to another countries, therefore it proceeds with a second part in which it s evaluated in a more general way an alternative that allows the commercialization of the snails to international level.

With the help of the team of Tecnas S.A. it is studied technical and financially the proposal of transforming the snail into an endproduct, for this case, snails pre-cooked in sauce, and it reaches to the conclusion that it is a viable and very profitable option and it concludes that it is an initiative totally viable to carry out, so much at technical level, legal as financial.

#### **PALABRAS CLAVES**

Helicultura, cultivo de caracoles, plan de negocios, *Helix aspersa*, helicultura Colombia, transformación de caracoles, caracoles congelados, caracoles pre-cocidos

Valor Presente Neto (VPN), Tasa Interna de Retorno (TIR).

## KEY WORDS

Snail farming, snail hatchery, helix aspersa, snail farming in Colombia, frozen snails, pre-cooked snails, Present Net Value (PNV), Internal Return Rate (IRR).

## DESCRIPCIÓN

Colombia es un país con un gran potencial agropecuario, su posición geográfica y la inmensa variedad de recursos naturales, la colocan en el mapa como uno de los países con mayor potencial en esta materia

En la búsqueda de alternativas de fuentes de alimento e ingresos, es importante considerar nuevas opciones, ya que actualmente el problema de la producción de proteína animal a bajo costo, es siempre un tema latente.

Los caracoles son una alternativa viable a este problema y pueden competir con los bovinos, porcinos y aves de corral, ya que con bajos costos de instalación, mano de obra y alimentación se logra producir carne de óptima calidad, económica e incluso con niveles alimenticios superiores.

El caracol es clasificado como un molusco, éstos han sido alimento de los pueblos ribereños de mares y ríos desde la prehistoria.

Existen unas 35.000 especies y están adaptados a vivir en charcos y corrientes de agua.

Escargot es el nombre francés para los caracoles que viven de manera natural en los bosques de Europa. Es un producto gastronómico por excelencia debido a que su carne es utilizada en la preparación de comida internacional, aunque es cada vez más popular en restaurantes de otro tipo de especialidades.

Más allá de ser apreciado por sus propiedades gastronómicas, los caracoles poseen también peculiaridades nutritivas.

Por esto están experimentando una creciente demanda debido a la tendencia mundial de consumir alimentos bajos en grasa y de alto valor proteico.

En Europa el consumo del caracol terrestre es muy significativo, en todos los países del viejo continente a excepción de Inglaterra se presenta un consumo notable, el más destacado en Francia, España, Italia, Turquía, Alemania y Yugoslavia respectivamente, aparte de ello el creciente interés a nivel de nuestro continente en países como Estados Unidos, Canadá, Argentina, Chile y Ecuador, garantizan que la demanda del caracol sea constante.

En solo Francia la demanda anual supera las 50.000 tn, que se traduce en el consumo de 1 kg/hab/año, así mismo Francia se constituye a su vez en el principal productor y consumidor al mismo tiempo, Italia produce alrededor de 12.000 tn anuales, pero debe recurrir la importación para abastecer más del 50% de su demanda nacional, España Importa 4.000 tn anuales de distintos géneros de caracol.

Con lo anterior se observó que existe una brecha de mercado muy interesante que requiere un abastecimiento continuo; si a ello se le suman las condiciones atmosféricas del país, la gran variedad de frutas, hortalizas y demás que podrían ser utilizados para conferirle una alimentación orgánica al caracol, encontramos que nuestro ámbito resulta ideal para el desarrollo de la Helicicultura, con una inversión inicial relativamente baja y un mantenimiento económico permiten al futuro helicicultor obtener un sostenimiento rentable en un margen de tiempo considerable y con un excelente rendimiento productivo.

La cría y comercialización de caracol fue aprobada en 2006, en un proyecto proveniente de la Cámara de Representantes, que autoriza y reglamenta la actividad de la helicicultura, con el fin de darle el uso adecuado a la producción y comercialización del caracol terrestre, dicha reglamentación está aprobada bajo el marco de la ley 1011, sin embargo aún se trabaja en la legislación para exportar.

Por otra parte, no se ha avanzado en la reglamentación sobre helicicultura por parte del Ministerio de Agricultura, ya que se espera que se convierta en el instrumento para poder trabajar todos los que le están apostando a esta

actividad, por lo tanto en este momento no existe una reglamentación que permita la exportación de caracoles vivos y por no haber un mercado interno, los actuales helicultores se encuentran en problemas y sin poder vender sus productos.

Se realizaron llamadas a diferentes empresas que se encontraban registradas en diversos medios y decían especializarse en la cría y comercialización de caracol, y se descubrió algo preocupante.

Muchas de las empresas que comenzaron con este boom de la helicultura ya no existen, y más preocupante aún, que muchos de ellos eran los promotores de la actividad y hoy en día han desaparecido, dejando a muchas personas desamparadas.

Dado el interés que se tiene en la implementación del proyecto y dadas las condiciones actuales que vive la helicultura en Colombia se procede con el plan de negocios para el montaje del criadero de caracoles y proceso de transformación.

## **ANÁLISIS DE VIABILIDAD Y CONCLUSIONES**

Muchas personas fueron engañadas en torno a la helicultura, a las cuales se les prometieron altísimas rentabilidades y contratos de largo plazo por parte de las comercializadoras y estas engeguedidas por estas falsas promesas empezaron un negocio con desconocimiento del tema y como ha quedado demostrado en este trabajo y sin una clara reglamentación que permita exportar los caracoles.

Si bien el proyecto es operativa y financieramente viable, se puede decir que mientras no exista una reglamentación clara para exportar los caracoles vivos y llevarlos a los mercados europeos la recomendación es no comenzar dicha actividad.

El daño está hecho y en Colombia se tiene ya conformado un sector de la población dedicado a la Helicultura, y como se puede concluir de éste trabajo, es una actividad económicamente rentable, técnicamente viable y una oportunidad de negocio debido a los múltiples usos y ventajas del caracol.

En esta segunda parte del proyecto se analizara de manera puntual algunas alternativas que permitan exportar los caracoles a la Unión Europea por medio de un proceso de transformación.

Los resultados arrojados en la primera etapa del proyecto muestran claramente que en el país no existe una reglamentación que permita la exportación de los caracoles vivos y por esta razón muchas de las personas que han comenzado esta actividad se encuentran en dificultades en este momento.

Tras analizar la alternativa de procesar los caracoles por medio de un proceso de congelación, se pudo ver desde el principio que dicha alternativa no era viable por los costos tanto económicos como operativos que esto implica y debido a la simplicidad que se busca en el negocio se mostraba como una alternativa no viable.

Gracias a la asesoría y apoyo del equipo de TECNAS se pudo llegar a una alternativa más simple en la cual los caracoles son precocidos, preparados en su salsa y empacados en presentaciones comerciales para su comercialización.

Se llevó a cabo un estudio con la ayuda de ALADDIN CARGO S.A y la comercializadora Internacional BUSINESS COLOMBIA LTDA, las cuales prestaron su apoyo para encontrar los costos estimados de envío de los caracoles desde el criadero a su proceso productivo y finalmente a España, en donde serian entregados a los minoristas. Con este análisis se pudo observar que el proceso si bien tiene que ser estudiado más a fondo, es un proceso rentable para todas las partes que intervienen, ya sea desde el productor, hasta el comercializador y el distribuidor final.

Es importante contar con mucha asesoría técnica para el cultivo y un buen canal de comercialización que permita una producción organizada y que los productos lleguen al cliente en el momento que los necesiten y en buen estado.

Como conclusión final es claro que en la Helicultura existen verdaderas oportunidades de negocio y es un campo en el cual aún hay mucho por hacer y desarrollar, pero no se debe creer en las personas y empresas

inescrupulosas que venden esto como una mina de oro y un negocio que los hará millonarios en pocos meses. Es un proyecto que requiere de tiempo y trabajo para ver finalmente unas rentabilidades interesantes y que servirían como actividad económica principal.

No se recomienda a los futuros helicultores iniciar esta actividad como productor, hasta que no se encuentre completamente reglamentada dicha actividad

Se observo una oportunidad de negocio más interesante en el proceso de transformación y comercialización de caracol, ya que con buenos contactos comerciales y un estudio más a fondo del proceso, este deja altos márgenes de utilidad para las partes que intervienen y con un riesgo menor.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- ALTERNATIVAS GANADERAS. Helicultura como una alternativa Productiva. Madrid, España. 2000. <http://www.alternativasganaderas.com/numero9/>
- BANCO CENTRAL DEL ECUADOR (BCE). Código Nandina de importaciones y exportaciones. Quito, Ecuador. 2001. <http://www.bce.fin.ec>
- BARRIER, J. Cómo ganar dinero con la crianza del caracol. Barcelona, España. 1980
- BERRÚ, M. y LÓPEZ, M. Proyecto de crianza y comercialización de caracol comestible destinado al mercado francés. Quito, Ecuador. Universidad de las Américas. 2000
- CALDERÓN, E.; MOLINA, O. y SÁNCHEZ, N. Manual de helicultura, cría del caracol "Hélix aspersa". Bogotá, Colombia. Fundación Universitaria de Colombia UNIAGRARIA. 1999.
- CENTRO DE HELICULTORES ARGENTINOS. Cría, alimentación y comercialización del caracol. Buenos Aires, Argentina. 2000. <http://www.cedeha.com/caracol>
- COOPHEMS. Helicultura. 2000. Sao Paulo, Brasil. <http://www.coophems.com>
- CORBIS. Comercialización del escargot. 2000. <http://www.corbis.com>
- CORPOFYM. Manual de manejo y producción de caracoles. Quito, Ecuador. 1999.
- CORPORACIÓN DE FOMENTO PARA LA PEQUEÑA Y MEDIANA EMPRESA
- CORPORACIÓN FINANCIERA NACIONAL (CFN). Perfil de proyecto del cultivo comercial de escargot para exportación. Subgerencia de promoción. Quito, Ecuador. 1999.
- CUELLAR, R.; CUELLAR, L. y PÉREZ T. Helicultura, cría moderna de caracoles. Madrid, España. 1991
- INSTITUTO BRASILEIRO DE HELICULTURA (IBH). Sistemas de manejo técnico del caracol. Sao Paulo, Brasil. 2000. <http://www.ibh.com>
- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Documentación. Presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación. Bogotá-Colombia: ICONTEC, 2002. 37p. (NTC 1486).
- INSTITUTO INTERNACIONAL DE HELICULTURA. Guía completa de helicultura. Cherrasco, Italia. 2000. <http://www.sirio.it/1st.Elici/elicil>
- MARASCO, F. y MURCIANO, C. Guía completa de la cría de caracoles. Barcelona, España. 2000.
- MINISTERIO DE COMERCIO EXTERIOR, INDUSTRIALIZACIÓN, PESCA Y TURISMO (MICIP). Compendio de requisitos y trámites de exportación. Quito, Ecuador. 1999.
- MIOULANE, P. Los caracoles, cría moderna y rentable. Barcelona, España. 1995
- RAISING SNAIL. Departamento de EE.UU. de Agricultura. Meryland, USA. 2000. [http://www.nal.usda.gov/afsic/AFSIC\\_pubs/srb](http://www.nal.usda.gov/afsic/AFSIC_pubs/srb)

# **IMPLEMENTACIÓN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA EQUIPOS EN UNA EMPRESA DE MONTAJES METALMECÁNICOS, CIVILES Y ELÉCTRICOS**

**ALEJANDRO BOTERO CUARTAS**  
alejandroboteroster@gmail.com  
Departamento de Ingeniería Mecánica

**ÁREA DE ÉNFASIS**  
MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

**ASESOR PRINCIPAL**  
MARGARITA MARÍA JARAMILLO BOTERO

**SECTOR BENEFICIADO**  
INGEANT Y CIA. LTDA.



## **RESUMEN**

Ingeant y Cía. Ltda. Es una empresa que ofrece servicios ágiles y eficientes en las áreas de ingeniería civil, mecánica y eléctrica, mediante la utilización de un equipo humano conformado por personal altamente calificado, la implementación de técnicas de investigación ajustadas a las condiciones de cada contrato y el desarrollo de tecnologías apropiadas de acuerdo con las necesidades de cada uno de los clientes.

Para la realización del proyecto, se identificaron las necesidades de la empresa en relación al mantenimiento preventivo y al manejo de toda la información de equipos relacionados con la función económica. Por esta razón se decidió implementar mantenimiento preventivo junto con un sistema de información para administrar los datos de mantenimiento.

Básicamente el proceso de implementar mantenimiento preventivo, consiste en realizar un proceso de inventario, codificación de equipos, definir rutinas y frecuencias de acuerdo con la información del fabricante y la experiencia. Como consecuencia a estas actividades resulta la creación de formatos los cuales permiten generar las ordenes de trabajo por mantenimiento y así mismo tener control sobre las acciones generadas.

Como supone el lector es necesario el uso de un sistema de información el cual administre todos estos datos; para ello se descargo un sistema de información (CMMS PMXPRO) el cual es totalmente gratuito y permite administrar la información de mantenimiento tanto preventivo como correctivo.

## ABSTRACT

Ingeanty Cía. Ltda. Is a company that offers agile and efficient services in the areas of civil engineering, mechanics and electric, by means of the use of a human team conformed for personal highly qualified, the implementation of technical of adjusted investigation to the conditions of each contract and the development of appropriate technologies of agreement with the necessities of each one of the clients.

For the realization of the project, the necessities of the company were identified in relation to the preventive maintenance and to the handling of all the information of teams related with the economic function. For this reason is necessary to decided to implement preventive maintenance together with a system of information to administer the maintenance data.

Basically the process of implementing preventive maintenance consists on carrying out an inventory process, code of machines, to define routines and agreement frequencies with the maker's information and the experience. As consequence to these activities is the creation of formats which allow to generate the order of work for maintenance and likewise to have control on the generated actions.

As the reader it supposes it is necessary the use of a system of information which administers all these data; for it you discharge a system of information (CMMS PMXPRO) which is completely gratuitous and it allows to administer the maintenance information so much preventive as corrective.

## PALABRAS CLAVE

Mantenimiento preventivo, inventario, codificación, rutinas, frecuencias, formatos, sistema de información.

## KEY WORDS

Preventive maintenance, inventory process, code, routines, frequencies, formats, system of information.

## INTRODUCCIÓN

Básicamente el estado del arte fundamenta su significado teórico del mantenimiento preventivo dentro de las empresas, con el propósito de tener claridad en lo que se desea realizar en relación a la implementación en Ingeant y Cía. Ltda.

Ingeant y Cía. Ltda. Requiere un programa de mantenimiento preventivo el cual involucre todos los equipos relacionados con la actividad económica; pulidoras, taladros, moto tools, chazadoras, etc.

Como resultado a las investigaciones de acuerdo a las necesidades específicas de la compañía se llegó a la conclusión de que la implementación mínimamente debería contar con los requerimientos de inventario, codificación, rutinas, frecuencias, formatos y un sistema de información el cual permita la administración de toda la información. Este último aspecto es muy importante debido a la necesidad de tener control sobre las actividades.

## LA EMPRESA

Ingeant y Cía. Ltda. Es una empresa líder que da soluciones en diferentes áreas de ingeniería; civil, mecánica y eléctrica. En el Área Civil ofrecen servicios de Construcción de edificaciones sencillas y complejas, construcción de estructuras convencionales y especiales, construcción de obras de estabilización, sistemas de irrigación y drenajes, ampliaciones y reformas, Obras de arte en vías y carreteras, obras de loteo y urbanismo, geotecnias, acueductos y alcantarillados, Mantenimiento general a edificaciones.

En el Área Mecánica, Ingeant y Cía. Ltda. Ofrece sus servicios en el campo de las fabricaciones y montajes metalmecánicos, la instalación de maquinaria y traslados, entre otros.

Ingeant y Cía. Ltda. Posee experiencia en la provisión y gestión de proyectos de contratos que abarca un amplio abanico de sectores. Entre estos se incluyen hidrocarburos, detergentes, centros comerciales, gases industriales, alimentos y bebidas, plásticos entre otros.

En el Área Eléctrica, Ingeant y Cía. Ltda., ofrece desde el diseño eléctrico hasta las instalaciones de todo el sistema eléctrico, puesta a tierra, instalación de transformadores, subestaciones de energía, etc.

## IMPLEMENTACIÓN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

### Inventario de equipos

Básicamente el proceso de inventariar equipos cualquiera que sea la organización consiste en identificar los tipos de equipos y las cantidades que le pertenecen. A continuación se describen algunas características generales en relación a los inventarios en las empresas y por supuesto es así como se realizó este proceso en Ingeant.

### Codificación de equipos

La codificación de equipos hace referencia al proceso de bautizar los equipos con un nombre determinado el cual se asocie o no a las características del mismo. En términos generales la codificación de equipos se realiza con un número o con la combinación de números y letras. La

primera forma de codificar se le llama codificación bruta y la segunda se le conoce con el nombre de codificación inteligente. En el caso particular de Ingeant y Cía. Ltda. Se realizó este proceso de acuerdo a lo establecido en codificación inteligente.

### Rutinas

Las rutinas se definen como las operaciones que se deben ejecutar paso a paso según las especificaciones definidas como consecuencia de un previo análisis de la información proporcionada por el fabricante y la experiencia adquirida.


### Frecuencias

Las frecuencias son la periodicidad con la que se efectúan las labores de mantenimiento también como resultado del análisis de la información del fabricante y la experiencia.

### Formatos

Los formatos son la prueba física de las labores ejecutadas, los formatos contienen instructivos o rutinas y las frecuencias, así mismo como una lista de chequeo para verificar si las actividades fueron o no realizadas.

TABLA 1. Ficha de instrucción e inspección

		<b>FICHA DE INSTRUCCIÓN E INSPECCIÓN</b>		Cod: Q-MTO-R003 VERSION 03	
<b>MAQUINA:</b>		<b>CODIGO:</b>		<b>FRECUENCIA:</b>	
<b>LIMPIEZA</b>					
<p><b>PRECAUCIÓN:</b> Nunca use disolventes ni otros productos fuertes para la limpieza de las piezas ni metálicas de la herramienta. Estos compuestos químicos pueden debilitar los materiales plásticos usados en estas piezas. Use un paño humedecido sólo con agua y jabón suave.</p> <p>Nu use gasolina, tres enaños, laca o diluyente de pintura, químicos de lavado en seco o productos similares. Jam le permita que le entre líquido a la herramienta, nunca comerja ninguna parte de la herramienta.</p>					
<b>LUBRICACIÓN</b>					
<p><b>NOTA:</b> NUNCA rocíe o aplique en ninguna otra forma lubricantes o solventes de las piezas dentro de la herramienta. Esto puede afectar seriamente la duración y el desempeño de la herramienta. Aplique Grasa de alta temperatura (Con alto contenido de grafito) al sistema mecánico (Cargadores, carnos, etc.)</p>					
<b>INSPECCIONES (Marque con una "X") para identificar que ya se revisó la característica</b>					
<b>PORTE</b>		<b>CARACTERÍSTICA</b>		<b>REVISION</b>	
<b>Responsable:</b>				<b>Fecha:</b>	
<p><b>Nota:</b> Si alguna de estas características no cumple con las especificaciones descritas por favor realíse al formato Historial de mantenimiento del equipo Cod Q-MTO-R003 y genere la orden de trabajo requerida según el caso.</p>					



## SISTEMA DE INFORMACIÓN

Un sistema de información (SI) es un conjunto organizado de elementos, estos elementos son de cuatro tipos: personas, datos, actividades o técnicas de trabajo, y recursos materiales en general (típicamente recursos informáticos y de comunicación), aunque no tienen por qué ser de este tipo obligatoriamente.

Para el caso particular de Ingeant y Cía. Ltda. PMXPRO CMMS es un programa gratuito disponible en internet diseñado específicamente para administrar las labores de mantenimiento preventivo y correctivo.

Este programa surge como necesidad de descargar la información obtenida en los procesos anteriores de inventario y codificación.

FIGURA 1. Programa PMXPRO CMMS



## CONCLUSIONES

Los sistemas de mantenimiento preventivo son aplicables a cualquier organización, y surgen como necesidad de adelantarse en las fallas para evitar sobre costos por paro de máquina, incumplimiento en la entrega, daños graves en los componentes de la máquina, etc.

El mantenimiento de equipos, infraestructuras, herramientas, maquinaria, etc. representa una inversión que a mediano y largo plazo acarreará ganancias no sólo para el empresario sino también que esta inversión se le revertirá en mejoras en su producción, el ahorro que representa tener unos trabajadores sanos e índices de accidentalidad bajos.

El inventario de equipos son un puente entre la capacidad de producción y las ventas de los tangibles obtenidos en

los procesos de producción, además permiten tener control sobre el estado de los equipos para posibles reposiciones o mantenimientos.

El resultado de un proceso de codificación son los códigos, los cuales son cuerpos sistemáticos, redactados con las técnicas más depuradas posibles.

Se pueden codificar equipos de dos formas principales; codificación bruta y codificación inteligente, la primera son sencillamente números que no necesariamente tienen que ver con las características del equipo y la segunda forma son códigos definidos conformados por números y letras de acuerdo a las características del equipo.

Los sistemas de información son de gran utilidad para la administración de la información de una compañía de

cualquier área según sea la necesidad de los usuarios. Ingeant adapto para sus funciones de mantenimiento un programa gratuito descargado de la red llamado PMXPRO CMMS.

La implementación de un sistema de mantenimiento preventivo requiere en términos generales la realización de los siguientes pasos. 1) Inventario de equipos, 2) Codificación de equipos, 3) Definir rutinas y frecuencias, 4) descargar los datos en un sistema de información. 5) definir cronogramas de mantenimiento, 6) utilización del sistema.

Las rutinas y frecuencias para las operaciones de mantenimiento se realizan basados en dos conceptos principales: la información proporcionada por el fabricante y la experiencia adquirida.

Las fichas de instrucción e inspección son el resultado de todas las características consignadas de acuerdo a la máquina y el previo análisis entre información del fabricante y la experiencia.

El uso de sistemas de mantenimiento preventivo, minimiza el riesgo de falla y disminuye los costos de operación comparado con operaciones de mantenimiento correctivo.

## **BIBLIOGRAFÍA**

ALMACÉN, Documentación del almacén de la empresa Ingeant y Cía. Ltda., .2008.

GONZÁLEZ, Juan Esteban y PALACIO RAIGOSA, David. Modelo para la implementación de los pasos 1, 2 y 3 del pilar de mantenimiento planeado de la metodología TPM a partir de la filosofía de 5s en una empresa de empaques textiles. Medellín, 2006, 39p. Trabajo de grado (Ingeniero Mecánico). Universidad EAFIT. Departamento de Ingeniería Mecánica. Área de mantenimiento.

ICONTEC. ISO 9000: 2000 Guía para las pequeñas empresas. Bogotá. ICONTEC. 2001.

JARAMILLO, Margarita. Mejoramiento organizacional mediante la implantación de la filosofía de 5s: Caso Microplast S.A. Medellín, 2005, 19p. Trabajo de grado

(Ingeniero Mecánico). Universidad EAFIT. Departamento de Ingeniería Mecánica. Área de mantenimiento.

MORA, Luis Alberto. Mantenimiento estratégico para empresas industriales o de servicios, Enfoque sistemático Kantiano, Medellín, Colombia: Editorial AMG. 2006. 306p. ISBN 958-338218-3.

MORA, Luis Alberto. Diplomado en gestión y control de mantenimiento (IRI). ACIEM, 2003.

REY Sacristán, Francisco. Hacia la Excelencia en Mantenimiento, Madrid, España: Editorial

TGP Hoshin, S.L 165p. ISBN: 8495428180.

SANIN PATIÑO, Viviana. Implementación de un programa de mantenimiento preventivo y predictivo en la línea de producción de pila R20 en la planta de manufactura de Tronex Battery Company S.A. Medellín, 2007, 147p. Trabajo de grado (Ingeniero Mecánico). Universidad EAFIT. Departamento de Ingeniería Mecánica. Área de mantenimiento.

SUZUKI, Tokutaro. TPM para industrias de Proceso. Japan Institute of Plant Maintenance. Versión en español TGP – Hoshin. Madrid – España. 1995. ISBN: 84-87022-18-9.

MOLINA, José. Mantenimiento y seguridad industrial. [Documento electrónico]. España: 2001 (Citada: 4 febrero 2008) Disponible en <http://www.monografias.com/trabajos15/mantenimiento-industrial/mantenimiento-industrial.shtml>.

PÉREZ, Felipe. Mantenimiento Industrial. [Documento electrónico]. México: 2005 (Citada: 20 febrero 2008) Disponible en [http://pdf.rincondelvago.com/mantenimiento-industrial\\_1.html](http://pdf.rincondelvago.com/mantenimiento-industrial_1.html).

SÁNCHEZ, Alberto. Modelo Sistemático. [Documento electrónico]. España: 2003 (Citada: 22 febrero 2008) Disponible en: [http://es.wikipedia.org/wiki/Mantenimiento\\_industrial#B. Modelo Condicional](http://es.wikipedia.org/wiki/Mantenimiento_industrial#B._Modelo_Condicional).

SOLO MANTENIMIENTO: Tipos de Mantenimiento [Documento electrónico].(Citada:02 Marzo 2008) Disponible en [http://www.solomantenimiento.com/m\\_preventivo.htm](http://www.solomantenimiento.com/m_preventivo.htm)

# **PRONÓSTICOS DE INVENTARIO Y DEMANDA EN EQUIPOS MECÁNICOS: MOTORREDUCTORES**

**CARLOS ANDRÉS LOTERO MARTINEZ**

cloterom@eafit.edu.co

Departamento de Ingeniería Mecánica

**JUAN PABLO ALZATE GÓMEZ**

jalzateg@eafit.edu.co

Departamento de Ingeniería Mecánica

**ÁREA DE ÉNFASIS**

PROYECTO DE SISTEMAS TÉCNICOS

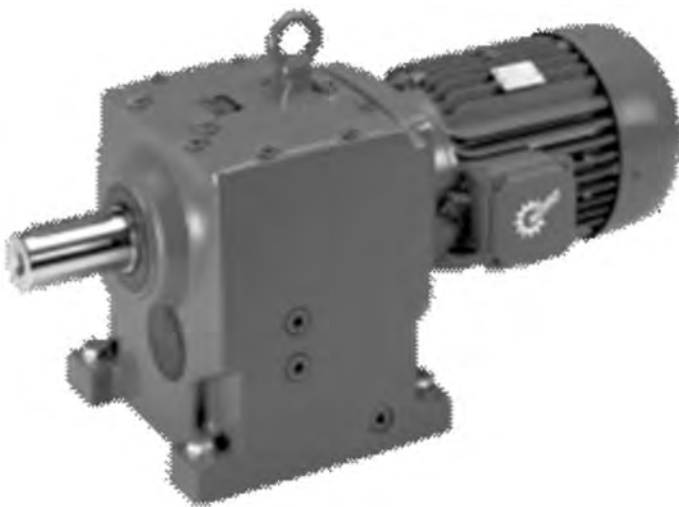
MANTENIMIENTO DE SISTEMAS TÉCNICOS

**ASESOR PRINCIPAL**

LUIS ALBERTO MORA GUTIÉRREZ

**SECTOR BENEFICIARIO**

UNIVERSIDAD EAFIT



## **RESUMEN**

El manejo acertado de los inventarios es un talón de Aquiles para los sectores administrativos de las empresas por sus altos costos y dificultades de manejo que radican en la necesidad de tener un inventario para suplir adecuadamente una demanda y a su vez bajar al máximo los costos que tenga la empresa siendo los costos relacionados con el mantenimiento de inventarios unos de los más altos, para esto es importante un sistema o metodología que permita manejar adecuadamente los inventarios y facilitar el trabajo tanto del departamento financiero como el de logística.

Para esto se sigue una metodología de pronósticos y de manejo de inventarios, la cual es necesaria en Variadores S.A. ya que los costos que proceden de la tenencia de inventarios se hacen cada vez más altos ante un mercado creciente y no parece haber un punto en el cual el área administrativa se ponga de acuerdo con el área de ventas. Se muestra entonces esta metodología de pronósticos e inventarios y el desarrollo de un algoritmo que sea una herramienta en los pedidos de equipos para inventario, contemplando criterios como buena rotación y la ganancia que representan para la empresa.

## **ABSTRACT**

The right managing of the inventory is a heel of Aquiles for the administrative sectors of the enterprises for its high costs and managing difficulties that lies on having an inventory that supplies properly the demand and at the same time decreases the costs of the enterprise. Knowing that one of the highest costs for them are the ones related to the inventory, therefore is important a system or methodology that let the adequate managing of the inventory

and facilitate the work of both the financial and logistics department.

To achieve this, a methodology of forecasting and inventory must be followed, this methodology is necessary in Variadores S.A. because the costs that proceed from inventory keeping become higher every day in a growing market and it seems be a point where the financial area doesn't agree with the sales area. This forecasting and inventory methodology is shown and an algorithm development that can be a tool for equipment inventory orders is described, this algorithm takes into count criteria such as rotation of references and the gain they represent for the enterprise.

## **PALABRAS CLAVES**

Inventario, demanda, pronósticos, serie temporal, motorreductores, Push, Pull, costos, metodología, algoritmo.

## **KEYWORDS**

Inventory, demand, forcast, temporal series, gearbox, Push, Pull, costs, methodology, algorithm.

## **INTRODUCCIÓN**

Las empresas que se dedican a comercializar algún bien en particular, se ven en la necesidad de realizar tareas de estimación de demanda de sus productos y de planeación de niveles de inventarios que permiten determinar cuáles son los componentes básicos que deben tener en almacén para abastecer correctamente las necesidades del mercado.

El artículo pretende describir la implementación de una metodología de manejo de inventarios para los motorreductores en Variadores S.A. a partir de los pronósticos de la demanda de estos equipos, basados en los datos históricos.

Variadores S.A. es una empresa dedicada a la comercialización de equipos para la transmisión de potencia y

control de movimiento para la industria, los equipos para transmitir potencia son los motorreductores y los equipos para el control de movimiento son los variadores de frecuencia, de esta manera logra tener un portafolio amplio para estas aplicaciones industriales.

Los pronósticos son herramientas fundamentales para sostener un almacén de acuerdo a las necesidades del mercado, mucho más para empresas donde forma parte de la cadena de valor, como es el caso de Variadores S.A. la cual se dedica a comercializar productos mecánicos y eléctricos para la transmisión de potencia y control de movimiento.

## **CONCEPTOS DE PRONÓSTICOS E INVENTARIOS**

Los directores de las diferentes organizaciones buscan obtener el mayor provecho de ellas, para esto es primordial llevar un buen manejo de las actividades internas, una de ellas es un control de los inventarios para el manejo del almacén.

### **Pronósticos**

Los pronósticos son el primer paso dentro del proceso de planificación de la producción y estos sirven como punto de partida, no sólo para la elaboración de los planes estratégicos, sino además, para el diseño de las técnicas a mediano y corto plazo, lo cual permite a las organizaciones, visualizar de manera aproximada los acontecimientos futuros y eliminar en gran parte la incertidumbre.

Los pronósticos se definen como un conjunto de números en base a los cuales se trabaja y generan un valor futuro probable el extrapolar, se proporcionan datos iniciales con los cuales se comienza la planeación mediante un sistema formal integrado.

### **Inventarios**

Las existencias de cualquier artículo o recurso que se utiliza en una organización. El inventario en el sector manufacturero se refiere a los artículos que contribuyen o

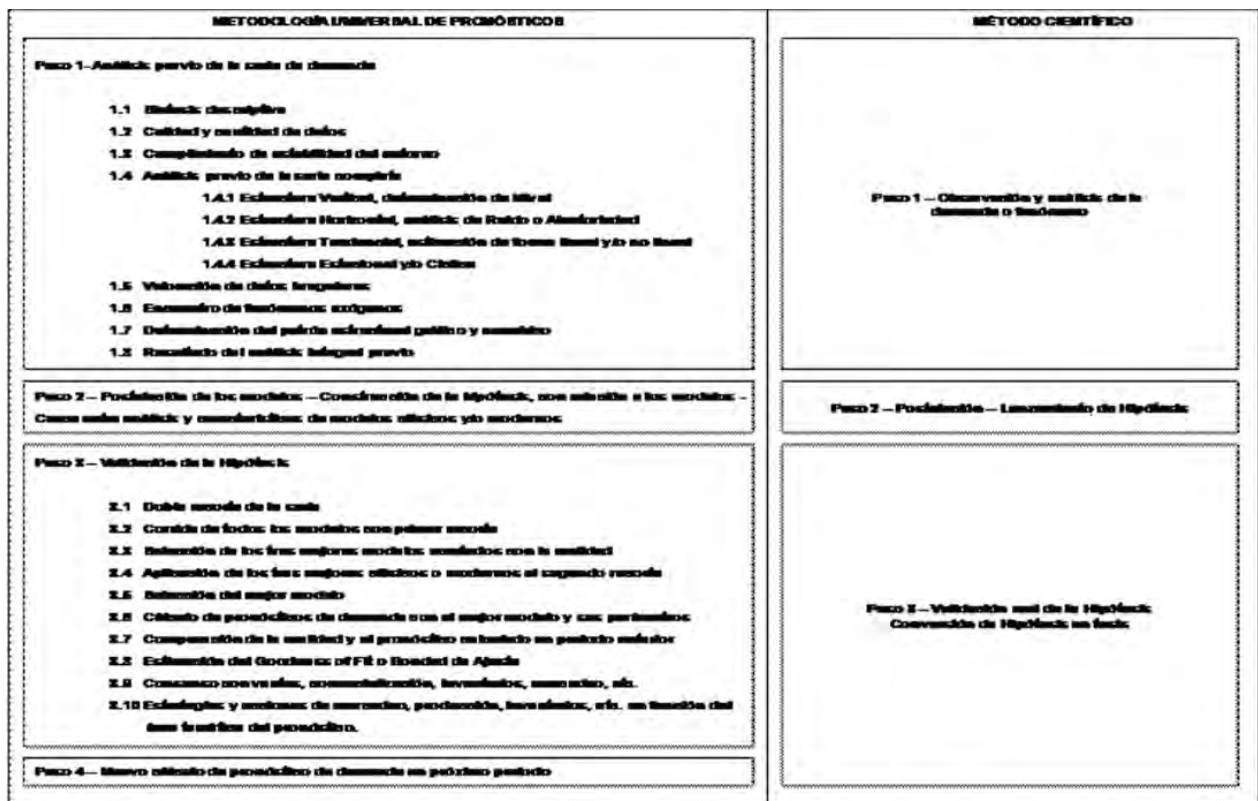
que se vuelven parte de la fabricación de los productos de una firma, se clasifican en materias primas, productos terminados, partes componentes, suministros y trabajo en proceso.

Los inventarios pueden aparecer por dos razones, porque los sitios de fabricación se encuentran muy lejos del punto de demanda, y porque la velocidad de fabricación es inferior a la demanda; en ambos casos los inventarios solucionan dicha problemática.

### Concepto de pronósticos

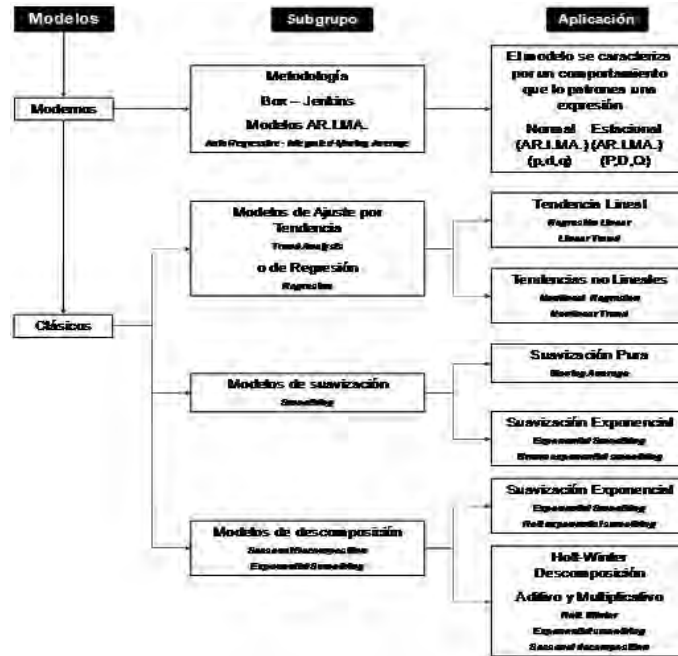
Los pronósticos se desarrollan de acuerdo al método científico. El método científico es el análisis sistemático, controlado, crítico y empírico de ideas o suposiciones hipotéticas acerca de posibles relaciones entre variables o fenómenos naturales, empresariales o humanos; se aplica en las ciencias y se inicia con la observación. Para desarrollar el método se debe lograr realizar una observación previa, inducción, hipótesis, experimentación, demostración y conclusiones con la serie. Este seguimiento del método científico se denomina metodología universal de pronósticos (MUP) y se muestra a continuación.

FIGURA 1. Metodología universal de pronósticos (MUP)



Una vez se han determinado las características de la serie temporal se procede a estudiar los modelos para ver cual se acomoda mejor a esta, los modelos se muestran a continuación.

FIGURA 2. Modelos



### Gestión y manejo de inventarios

Los inventarios son almacenamientos de materias primas, repuestos, insumos, productos en proceso o bienes terminados que aparecen a lo largo de la cadena de valor o del proceso logístico de una empresa. Existen como: productos terminados, partes y componentes, trabajos en procesos y suministros.

### DESCRIPCIÓN DEL PORTAFOLIO DE LOS MOTORES CON REDUCTOR DE VELOCIDAD

Los motores con reductor de velocidad se encuentran en el mercado en diferentes presentaciones, esto depende de la aplicación para la que se selecciona. La elección depende directamente de las variables físicas que intervienen en el funcionamiento de estos equipos y el buen manejo es fundamental para lograr un uso exitoso de los mismos. Las variables físicas que intervienen en el funcionamiento de un equipo son la velocidad con la que va a funcionar, el torque y la potencia aplicada.

Las gamas de motorreductores que se manejan son: reductor helicoidal a 180°, equipos de ejes paralelos o pendulares, reductor cónico – helicoidal a 90°, reductor Helicoidal – sin fin corona y reductor sin – fin corona.

### PROCESO ACTUAL DE FORMA INTEGRAL DE MANEJO Y OPERACIONES DE LA DEMANDA

La organización mantiene un orden de oferta de acuerdo a sus posibilidades de importación. Con la experiencia se ha producido lo que es ahora la cantidad de elementos y componentes que se requieren para ensamblar motorreductores, el intercambio entre empresa y cliente se rige bajo los parámetros del primero, es decir, el comprador se acomoda a la disponibilidad que tiene el vendedor.

El proceso de ensamble comienza a partir de la orden de despacho generada por el ingeniero de ventas quien ya ha hecho su gestión al seleccionar el equipo y determinar el tiempo de entrega y todas las variables incluidas en la venta como forma de pago, accesorios, etc.

El manejo de la demanda se lleva a cabo principalmente de manera empírica basándose en el conocimiento del mercado por parte de la gerencia comercial y de los ingenieros de venta y sus conceptos de la tendencia del mercado en el momento, se apoya también en la inflación estimada para el año en el que se va a determinar, la devaluación del dólar y el incremento de ventas por producto.

Las importaciones juegan un papel muy importante en Variadores S.A. porque de ellas depende que se tengan los equipos para comercializar y lograr el objetivo final de la empresa, cumplir o incluso sobrepasar los presupuestos de ventas y retribuir la inversión a los accionistas.

Las operaciones que se realizan al interior de la empresa para el manejo de la demanda carecen de una metodología más precisa para determinar los inventarios, dado que se basan en gran medida en la experiencia de quienes intervienen directamente en el proceso que llevan tanto a determinaciones correctas como erróneas, y que de apoyarse en una metodología bien estructurada aseguraría en un mayor porcentaje buenos resultados.

## **CATEGORIZACIÓN DE LAS REFERENCIAS**

La empresa Variadores S.A. mantiene un Stock de referencias muy alto, esto lleva a que en ocasiones no se preste la verdadera importancia a las cantidades a pedir en el momento de los pedidos. Reconocer las referencias permite un mayor control de los inventarios y por ende un manejo eficiente de la logística de pedidos.

Se considera que la empresa Variadores S.A. maneja una especie de combinación Push, Pull, y CPFR, pues se encuentra en proceso de transición para tener todos sus equipos de la forma Push. Para el cliente es una ventaja el obtener el equipo deseado según su aplicación y no acomodarse al equipo que ofrece el proveedor.

Los inventarios se manejan sólo para ciertos equipos, esto de acuerdo a los historiales de venta de equipos y al crecimiento previsto de ventas en cada año. La logística de almacén e inventarios planea los pedidos a fábrica a

medida que los equipos se van consumiendo sin hacer un análisis previo de una posible variación en el consumo de equipos por las condiciones actuales del mercado.

### **Categorización por consumo**

La empresa Variadores S.A maneja y ejecuta según los criterios de rotación de consumo, los procesos de compra o suministro sobre la distribución o almacenamiento. Se basa en la experiencia de los vendedores, la historia de las ventas y los negocios perdidos en el mercado para realizar la clasificación según el tipo de inventarios en Push.

### **Categorización por rotación, desviación estándar y ACF**

La clasificación por medio de criterios establecidos proporciona herramientas para la categorización de las referencias, para este caso es necesario establecer un máximo de datos para evaluar la rotación de cada uno de los equipos y verificar si estos antecedentes facilitan la selección acertada del tipo de inventario.

Las pruebas deben ser acertadas para obtener en la serie de datos la clasificación Push, esta calificación muestra la presencia de una estructura de demanda regular y no aleatoria. Si entre el intervalo  $1 \leq X < 3$  se encuentra la prueba de rotación quiere decir que la serie es tipo Pull.

La rotación a 18 meses cumple:

$$\begin{aligned} \text{criterio} &= \frac{\# \text{ ventas por mes}}{\text{Cantidad de meses}} * 100 \\ &= \frac{17 \text{ ventas por mes}}{18 \text{ meses}} = 94,4\% \end{aligned}$$

### **Clasificación AB**

El manejo adecuado de los inventarios para cada grupo establecido, implica clasificar todas las referencias de acuerdo al grado de importancia en la organización. Este método se deriva del principio de Pareto, que para la administración de materiales anuncia que de la mayor cantidad pertenece el menor ingreso de la empresa y viceversa.

## **ALGORITMO DE PRONÓSTICO DE DEMANDA EN MOTORES CON REDUCTOR DE VELOCIDAD**

El pronosticar la demanda mediante un software de programación en cualquier lenguaje que se posea es de mucha utilidad. Éste va disminuir los tiempos de calcular cada referencia por separado lo que en ocasiones retrasa la puesta los pedidos por la tardanza en la escogencia de cada referencia.

La ejecución del sistema de pronóstico es conveniente si se lleva a cabo mediante un software como el caso de Microsoft Excel versión 2007, el cual con sus diversas aplicaciones para cálculos matemáticos hace fácil y rápido la realización del trabajo de logística de inventarios y mejora la productividad de su personal.

La realización de dicho programa se ejecuta por medio de macros en el cual se efectúan los cálculos respectivos de desviación estándar, coeficiente de correlación, medias, tendencias, ruidos para llegar a los datos futuros del pronóstico.

## **METODOLOGÍA UNIVERSAL DE PRONÓSTICOS**

El realizar la metodología para una referencia es ideal para contar con un pronóstico efectivo, así llevar los mejores datos al programa de inventarios y disfrutar de variables excelentes para un magnífico resultado del pedido para las tendencias a calcular.

Postulación de los modelos: La construcción de la hipótesis, con relación a los modelos, cruce entre análisis y características de modelos clásicos y/o modernos.

## **VALIDACIÓN DE LAS HIPÓTESIS**

A la serie original de 32 datos se le recorta el último dato (49) con el que se compara los pronósticos de los tres mejores modelos que se obtienen por series temporales y mediante la comparación de resultados en el primer recorte; el cual consiste en retirar el 10% de los datos aproximadamente,

para realizar el pronóstico y determinar los tres mejores métodos que más se ajuste a la realidad.

Los resultados se comparan con la hipótesis y, si concuerdan, se procede a realizar los pronósticos para las 32 referencias con el modelo elegido y esto permite hacer pronósticos múltiples gracias a una estimación lineal que define los coeficientes dependientes e independientes que permiten encontrar fácilmente los pronósticos para las demás referencias y con ésto se completa la información para utilizar en el programa que lleva el algoritmo.

Los datos se ingresan al programa que ayuda a realizar el pronóstico para las 323 referencias, se ingresan los pronósticos más acertados para las 32 referencias escogidas como las mejores para que a partir de estos datos se hagan los demás. El archivo tiene los siguientes datos:

- Consumo de referencias desde el 2005.
- Costo estándar.
- Precio de venta.
- Costo de almacenar.
- Costo de planear la producción.
- Lead Time.
- Inventario del último mes.

El algoritmo en sus características internas realiza la clasificación ABC, el cálculo de rotación en tiempo para definir el tipo de inventario que es, y así proceder a la forma de calcular el cuándo y la cantidad a pedir.

- Los resultados que se obtienen son:
- Costo total de almacenar
- El costo de almacenar es de \$ 12'047.383,05 inicialmente.
- El costo de almacenar es de \$ 3'619.729,05 finalmente.
- La diferencia es: \$ 9'242.365
- Costo total de producción
- El costo de almacenar es de \$ 14'446.191,05 inicialmente.
- El costo de almacenar es de \$ 2'398.807,05 finalmente.
- La diferencia es: \$ 12'047.383



- Valor del inventario al final del mes.
- El valor del inventario al final del mes de octubre es de \$ 912'220.230
- El valor del inventario al final del mes de noviembre es de \$ 746'846.8045
- La diferencia es entonces: \$ 165'373.425
- Máximos y mínimos a pedir o fabricar para el siguiente mes.

Los equipos que mas inventario solicitan son las referencias SK 52 y SK 42, líneas que mueve fuertemente la empresa para potencia de entre 3 y 10 HP, de estos hacían falta unos acoples y por esto salen como prioridad a pedir. Se nota que con ayuda del software, se logra disminuir la rotación de inventarios de 2652 días a 30 días, un excelente logro para las aspiraciones financieras de Variadores S.A.

## CONCLUSIONES

La carencia de gestión en pronósticos de demanda e inventarios al interior de las empresas genera altos costos de servicio, de almacenamiento y administrativos, que para el funcionamiento regular de una organización es perjudicial y afecta en forma negativa la rentabilidad de estas.

La metodología de pronósticos que se utiliza en este caso particular proviene de los métodos universales, donde la observación o análisis de las series temporales es vital para plantear hipótesis de probables modelos proyectivos, y así calcular la proyección.

El modelo para el pronóstico proviene de la semejanza de los datos reales con los proyectados, entre más similitud resulte entre cada uno de ellos y la realidad mejor ajuste se tiene para seleccionar el correcto, de lo contrario es necesario recurrir a un caso particular de los ARIMA.

Los productos identifican variables como el costo de producir, el costo estándar de dichos equipos y los precios de venta, para determinar los inventarios de acuerdo a la clasificación ABC, selección que genera criterios para identificar las referencias con mejor movimiento en el mercado y utilidad para la empresa.

La caracterización tipo Pull se diferencia por tener una rotación poca, aunque cabe resaltar la necesidad de realizar un control del manejo de inventarios sobretodo en el cuándo se debe realizar el pedido al fabricante.

El inventario de las referencias genera un análisis importante en cuanto a la clasificación ABC y a las cantidades a pedir por su precio de venta y costos de almacenamiento, así como por la importancia de la línea para el departamento de logística, el departamento administrativo y financiero.

El reporte del algoritmo muestra una rotación baja de los equipos, de 2652 días es decir casi siete años, lo que propone un manejo incorrecto de los inventarios, es importante para seguir realizando dicha logística un apoyo por parte de los pronósticos como de los inventarios.

Los resultados que se obtienen demuestran una clara mejora en la rotación y el manejo de los inventarios, además que se ve una gran coherencia en estos, se espera entonces que puedan ser una nueva herramienta importante para soportar el proceso regular de Variadores S.A. en los departamentos involucrados con el manejo de inventarios y demanda.

El pronóstico es una herramienta vital en este tipo de negocios de comercialización de equipos ya que de los inventarios depende la actividad principal de la empresa y su capacidad para atender el mercado objetivo, si se tiene en cuenta el nivel de competencia que se debe adquirir en este mundo globalizado, el manejo acertado de los pronósticos puede definir finalmente el éxito o fracaso del ejercicio.

## BIBLIOGRAFÍA

BALLOU, Ronald H - Control y planeación, Traducido por Ramón Pérez y Pilar Rubio de Lemus - Editorial Díaz de santos S.A. - Madrid - España - 1991 - ISBN 84-87189-68-7

BAS, Enric - Herramientas para la gestión estratégica del cambio - Primera Edición - Editorial Ariel Practicum - Barcelona - España - Septiembre de 1999 - ISBN 84-3442853-9

CARRION GARCIA, Andrés - Pronósticos con series temporales - Memorias, ensayos y documentos publicados por el área de publicaciones de la universidad politécnica de valencia – Valencia – España - 1999

MAKRIDAKIS, Spyros - WHEELWRINGHT, Steven C. – Métodos de Pronósticos – Editorial Limusa - Ciudad de México - México – 1998 - ISBN 968-18-4879-9

MIKLOS, Tomas - TELO, María Elena - Planeación prospectiva, Una estrategia para el desarrollo del futuro - Limusa noriega editores - Ciudad de Mexico - México – 1997 - ISBN 968-18-3848-3

MORA G, Luís A - Mantenimiento Estratégico para Empresas Industriales o de Servicio - Editorial AMG - Medellín - Colombia - 2006 - ISBN 958-33-8218-3

MORA G, Luís A. - Pronósticos de demanda e inventarios - Editorial AMG - Medellín - Colombia - 2007 - ISBN 978-958-44-0233-2

POSSL, George W. - Control de la producción y de inventarios principios y técnicas - Prentice Hall Hispanoamérica S.A - Segunda Edición - Ciudad de México – México – 1987 - ISBN 968-880-105-4

Uniblock – Nord G1035 universal Worm Gear units - Catalogo de equipos mecánicos y eléctricos de la empresa NORD – Bargteheide – Alemania – 2008.

Uribe G. Rafael - Reingeniería en mantenimiento – Medellín – Colombia – 1994 - Seminario – Taller, Universidad Nacional

# **RECUPERACIÓN Y CONCENTRACIÓN DEL SUERO POR MEDIO DE MEMBRANAS DE ULTRAFILTRACIÓN**

**ANDREA OSPINA PATIÑO**

aospinap@eafit.edu.co

Departamento de Ingeniería Mecánica

**ÁREA DE ÉNFASIS**

DISEÑO DE SISTEMAS TÉCNICOS

**ASESOR PRINCIPAL**

JOSÉ FERNANDO NARANJO J.

**SECTOR BENEFICIADO**

INDUSTRIA LÁCTEA



## **RESUMEN**

El suero es el subproducto principal de la fabricación de la leche para la obtención del queso y representa una fuente valiosa de proteína de alta calidad. Sin embargo, si no se procesa correctamente, se puede convertir en un producto residual que genera altos costos de deposición.

El principal objetivo de la investigación de esta tesis, es utilizar la tecnología de membranas para la recuperación del suero con un equipo especializado, que se ha diseñado especialmente para realizar los ensayos y determinar los beneficios que se obtienen con este proceso.

## **ABSTRACT**

The whey is the main byproduct of the manufacture of the milk for obtaining cheese and represents a valuable source of protein of high quality. However, if it is not processed properly, can become a waste product that generates high costs of deposition.

The main objective of the investigation of this thesis, it is to use the membrane technology for the recovery of the whey with a specializing equipment, which has been designed specially for realize tests and to determine the benefits that are obtained by this process.

## **PALABRAS CLAVE**

Ultrafiltración, membrana, proteínas del suero, retenido, permeado.

## **KEY WORDS**

Ultrafiltration, membrane, whey protein, retentate, permeate.

## INTRODUCCIÓN

El suero no es un subproducto sino un producto derivado de la industria láctea. Sus componentes poseen un elevado valor nutritivo y presentan aptitudes funcionales muy interesantes a nivel de las industrias alimentarias.

La cantidad de suero disponible en el mundo es muy considerable, ya que representa más del 80% de la leche utilizada en quesería. Es un producto voluminoso y es un gran contaminante, su deposición constituye uno de los mayores problemas de la industria láctea (ALAIS,1985).

El sector lácteo hace frente continuamente a la presión de producir, inventar y reinventar nuevos productos para reducir al mínimo los costos de producción. La filtración con membranas es una nueva tecnología que permite recuperar y concentrar el suero y otras bebidas, obteniendo productos de alta calidad e innovadores con un alto valor alimenticio, funcional y con los más altos estándares higiénicos.

## PRODUCCIÓN DE SUERO

El suero se obtiene en el proceso de la elaboración del queso cuando a la leche líquida, previamente pasteurizada, se le añade cuajo, fermento natural contenido en el estomago de los rumiantes el cual posee una enzima que hace coagular la leche. Es un proceso que se realiza en tanques especiales a 30°C de temperatura y cuyo resultado es una masa semisólida rica en caseína y grasa, que tras su maduración y secado, se convierte en queso.

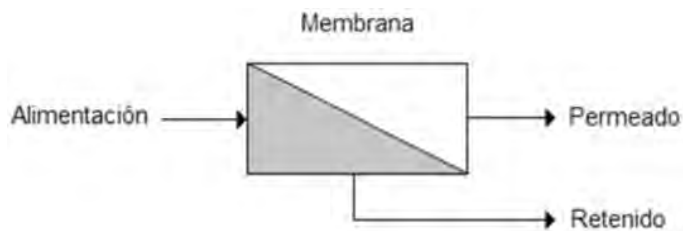
Cuando la masa semisólida de queso se retira de los tanques, queda un líquido color amarillo verdoso, más conocido como suero. Se trata, por lo tanto, de la parte que no se coagula por la adición del cuajo y su composición depende de la leche a utilizar, del sistema de coagulación y del tipo de queso a elaborar (REVILLA,1985).

La producción de suero es elevada, se estima que por cada Kg. de queso se producen 9 Kg. de suero, por lo que las cantidades de suero son aproximadamente 10 veces más que las de queso producido y posee un contenido de proteínas que presentan características muy adecuadas para ser utilizadas en alimentos funcionales, medicina y farmacología (SPREER,1991).

## DEFINICIÓN DE MEMBRANA

Una membrana se puede considerar como una barrera selectiva, que al ingresarle una corriente de alimentación, permite el paso de unos componentes y evita el paso de otros, conformando así dos corrientes de salida (CHERYAN,1998). Para que ocurra dicho fenómeno se requiere de una fuerza impulsora que permita el paso de los componentes, en la mayoría de los casos, esta fuerza impulsora se debe a gradientes de presión. En la siguiente figura se representa el comportamiento de la separación con membranas y los principales flujos de entrada y salida.

FIGURA 1. Principio de una operación de membrana



AWWA, 1998

## MEMBRANAS DE ULTRAFILTRACIÓN

La ultrafiltración es un proceso que se caracteriza por tener diámetros de poro de 15 a 1.000 Å (Å=Armstrong=10-12m), razón por la cual su principal función en la industria láctea es incrementar los sólidos de la leche y suero (BRANS,2004).

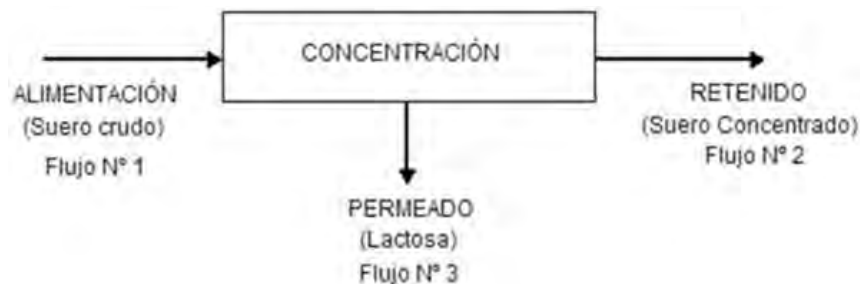
En la ultrafiltración, el tamaño de los poros permite que algunos componentes además del agua y los compuestos iónicos de la leche pasen la membrana, es un proceso de separación y fraccionamiento que generalmente utiliza

temperaturas de 50 a 60 °C y normalmente se basa en membranas de polisulfonas.

## RECUPERACIÓN Y CONCENTRACIÓN DEL SUERO - CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO

Los flujos de entrada y salida para el proceso de recuperación y concentración del suero, se muestran en el siguiente diagrama.

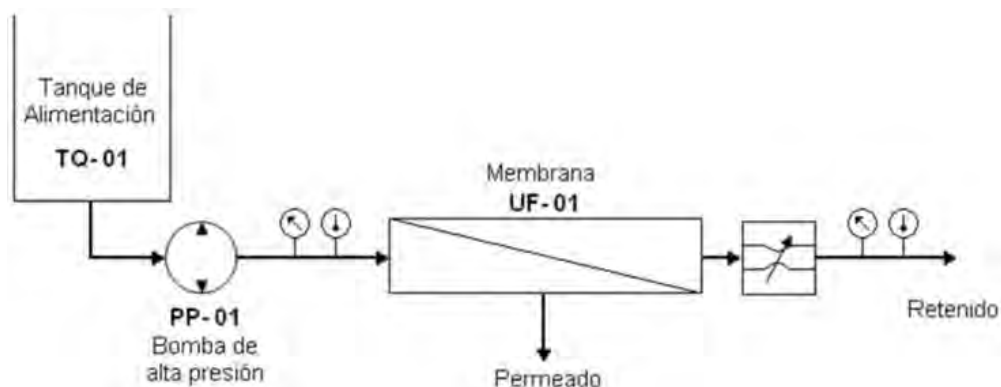
FIGURA 2. Diagrama de entradas y salidas para la concentración de suero



El diagrama de flujo de todo el sistema de recuperación y concentración del suero se muestra a continuación.

FIGURA 3

Diagrama de flujo para ensayo de concentración de suero con membrana de UF



El diseño del equipo es especial para ensayos a nivel de planta piloto, es modular y permite el ensanche hasta con 20 membranas, es versátil y es especial para usar membranas de 4" de diámetro y de 1 metro de largo, las cuales existen para diversas aplicaciones, entre ellas: agua potable, recuperación de soda caustica, agua desionizada, concentración de leche y suero.

El equipo de filtración modelo NF1450C, diseñado y construido para la recuperación y concentración del suero, se muestra en la siguiente figura.

FIGURA 4. Equipo de filtración NF1450C



El equipo modelo NF1450C tiene las siguientes características técnicas.

TABLA 1. Características técnicas del equipo NF1450C

	PRESIÓN	PRODUCCIÓN	POTENCIA	TEMPERATURA
MÁX.	600 PSI 41,4 Bar	27500 lt/día 4,8 GPM	5 HP 3,7 KW	50 °C 122 F
MÍN.	70 PSI 4,8 Bar	14500 lt/día 2,5 GPM	2 HP 0,9 KW	5 °C 40 F

## RESULTADOS

A continuación se muestran los resultados obtenidos en el equipo NF1450C, utilizando suero dulce con un contenido de proteína de 0.7 %. Las especificaciones del suero inicial se muestran en la siguiente tabla.

Todas las caracterizaciones del suero y los resultados obtenidos a partir de la filtración, fueron analizados con equipos especializados en los laboratorios de una reconocida empresa procesadora de leche.

TABLA 2  
Caracterización del suero inicial

COMPONENTE	
Grasa	0,34 %
Proteína	0,70 %
Lactosa	5,50 %
Sólidos Totales	6,60 %
Densidad	1,026 gr/cm <sup>3</sup>
PH	6,35

El retenido es el suero de alimentación pero más concentrado, el cual ha perdido en gran parte, lactosa y agua. En la siguiente tabla se puede notar el aumento de proteínas obtenido el cual pasó de ser 0.7% a 8.7%.

**TABLA 3**  
Caracterización del retenido

COMPONENTE	
Grasa	0,33 %
Proteína	8,70 %
Lactosa	0,60 %
Sólidos Totales	16,50 %
Densidad	1,0589 g/cm <sup>3</sup>
PH	6,33

El permeado consiste aproximadamente en un 70% de agua, minerales y nitrógenos no proteínicos y un 30% de lactosa pura. En la siguiente tabla se muestra la caracterización del permeado obtenido en el ensayo.

**TABLA 4**  
Caracterización del permeado

COMPONENTE (%)	
Grasa	0,03
Proteína	0,04
Lactosa	4,50
Sólidos Totales	5,20
Densidad	1,0589 g/cm <sup>3</sup>
PH	6,35

En las siguientes fotografías se muestran el suero concentrado y la lactosa más agua respectivamente.

**FIGURA 5.** Retenido y permeado del ensayo



La lactosa, el suero concentrado y el suero inicial obtenidos en el proceso de filtración con membranas se muestran en la siguiente figura. Se puede observar el cambio de concentración del suero concentrado y el suero inicial.

**FIGURA 6**  
Permeado, retenido y suero inicial



## CONCLUSIONES

Los valores de proteína obtenidos en el proceso de ultrafiltración son un indicativo del alto grado de fraccionamiento del suero obtenido bajo operación individual con el proceso de filtración mediante membranas. Esto favorece el mejor aprovechamiento que se pueda dar a cada componente del suero, y además se obtiene un efluente de desecho libre casi en su totalidad de material orgánico, disminuyendo así su poder contaminante.

Con el fraccionamiento por membranas, se puede recuperar y concentrar el suero sin desnaturalizar. Elijiendo la membrana correcta en los términos de corte de peso molecular, características del polímero y seleccionando

los parámetros de funcionamiento (presión, temperatura y caudal) el proceso puede ser optimizado.

Es posible desarrollar esta novedosa técnica de separación para el sector lácteo, que permita utilizar las fracciones de la proteína del suero para la industria de alimentos, generando altos ingresos de un subproducto que hasta ahora es considerado como residuo.

## **BIBLIOGRAFÍA**

ALAIS, Charles. Ciencia de la leche: Principios de técnica lechera. 4 Ed. España: Editorial Reverté, 1985. ISBN: 978-84-291-1815-5.

AWWA. Tratamiento del agua por procesos de membrana. España: Mc Graw-Hill, 1998. ISBN: 844-81-1206-7.

BRANS, G. - SCHRÖEN, C. G. - VAN DER SMAN, R. G - BOOM, R. M. Membrane fractionation of milk: state of the art and challenges. Journal of Membrane Science. Vol. 243. N° 1. U.S.A., 2005. Págs.: 263–272. ISSN: 0374-7388.

CHERYAN, Munir. Ultrafiltration and microfiltration Handbook. Lancaster, Pensilvania: Technomic Publishin Company, 1998. ISBN: 15-667-6598-6.

REVILLA, Aurelio. Tecnología de la leche: Procesamiento, manufactura y análisis. 2 Ed. San José, Costa Rica: IICA, 1985. ISBN: 92-9039-038-7.

SPREER, Edgar. Lactología Industrial: Leche, preparación y elaboración, maquinas, instalaciones y aparatos. España, Zaragoza: Acribia, 1991. ISBN: 84-2000-715-3.



# **CRITERIOS DE SUBCONTRATACIÓN EN MANTENIMIENTO TEXTIL EN EL VALLE DE ABURRÁ**

OSCAR EMILIO PLAZA SIBAJA  
oplaza@eafit.edu.co  
Departamento ingeniería mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS  
MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

ASESOR  
EDGAR MEJÍA MENESES

SECTOR BENEFICIADO  
SECTOR TEXTIL EN EL VALLE DE ABURRÁ



## **RESUMEN**

El sector textil colombiano es una de las industrias clave de la nación, es responsable por el 9% del PIB productivo del país, 24% del empleo en manufactura y 7% del total de las exportaciones, conocer sus criterios de subcontratación y depurarlos, constituye una mejora en la gestión del sector, en mayor medida a las industrias del Valle de Aburrá donde se localizan más del 50% de las empresas del país (Inex@,2008).

La realización de este proyecto, aplica la metodología MIC MAC de análisis prospectivo. Este estudio permite a partir de unas variables, y de una matriz que representa las influencias directas entre estas, la extracción e identificación de los criterios que son claves en el estudio del problema, para tal fin recibe apoyo de gráficos y cuadros para modelar la situación (Eibar@,2005).

## **ABSTRACT**

The Colombian textile industry is one of the key industries of the nation, is responsible for 9% of GDP for production in the country, 24% of employment in manufacturing and 7% of total exports, meet its criteria for outsourcing and debug them, is an improvement in sector management, greater use of Valley Aburrá industries where they are located more than 50% of the country's businesses (Inex@,2008).

The completion of this project, the methodology applied MIC MAC prospective analysis. This study allows from some variables, and a matrix that represents the direct influence among these, extraction and identification of criteria that are key in the study of the problem, for this purpose is supported by graphs and tables to model the situation (Eibar@,2005).

## **PALABRAS CLAVES**

Out-sourcing, MIC MAC, Textil, Mantenimiento, Prospectiva.

## INTRODUCCIÓN

Los planes de mantenimiento ayudan a identificar actividades del proceso que no son la razón de ser del negocio, y que por su requerimiento de tecnología y calidad, deben ser asignadas a una empresa externa. Este proceso se conoce con el nombre de tercerización, y permite a la empresa dedicar esfuerzos en las actividades claves del ejercicio (Gutiérrez,2006,49).

Las acciones que se llevan a cabo en mantenimiento y los criterios para su selección, están presentes en cada instante de tiempo. La prospectiva es la ciencia que estudia el futuro para comprenderlo y poder influirlo. Enlazar estos dos conceptos, permite conocer con criterios actuales, el comportamiento de la tercerización en unos años.

El sector textil colombiano es una de las industrias clave de la nación, es responsable por el 9% del PIB productivo del país, 24% del empleo en manufactura y 7% del total de las exportaciones, conocer sus criterios de subcontratación y depurarlos, constituye una mejora en la gestión del sector, en mayor medida a las industrias del Valle de Aburrá donde se localizan más del 50% de las empresas del país (Inex@,2008).

## APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA

El análisis estructural es una herramienta de reflexión colectiva. Ofrece la posibilidad de describir un sistema con ayuda de una matriz que relaciona todos los elementos constitutivos. Este método tiene por objetivo, hacer aparecer las principales variables influyente y dependientes y por ello las variables esenciales a la evolución del sistema.

La primera fase del método consiste en enumerar el conjunto de variables que caracterizan el sector estudiado y su entorno. De este proceso resultan unas variables principales con la que se diseña un tablero de doble entrada o matriz de relaciones directa. De aquí se identifican las variables motrices, reflejos, y dependientes, sobre las que se debe trabajar en el espacio de tiempo propuesto, acompañado de seguimiento constante (Codesy@,2005).

El método de análisis estructural de impactos cruzados, se inicia en un ejercicio profundo de orden cualitativo que pretende detectar las variables que influyen de alguna manera en el presente o en el futuro sobre un tema, luego de este proceso se realizan las primeras 31 encuestas de las cuales se proyecta el universo de encuestas a realizar, para esta investigación el resultado fue de 98 encuestas correspondientes al primer instrumento (Mora,2007,58).

FIGURA 1  
Instrumento 1

Criterios	1 2 3 4 5
Precio del servicio	■
Calidad del servicio	■
Portafolio de servicios	■
Tiempo de entrega	■
Nivel de ingeniería	■
Actualidad tecnológica	■
Capacidad para prestar el servicio o "capacidad técnica"	■
Garantía del servicio	■
Personal de alto nivel o "personal calificado"	■
Cumplimientos de normas técnicas	■
Oportunidad del servicio	■
Reconocimiento en el mercado o "referencia comercial"	■
Almacén de repuestos propio o "stock de repuestos"	■
Experiencia en el servicio	■
Protección de riesgos laborales	■
Conservación del medio ambiente	■
Efectividad de la prestación del servicio	■
Formas de pago	■
Seguimiento del trabajo realizado	■
Confidencialidad y manejo de la información	■
Cumplimiento de especificaciones técnicas	■
Solución de peticiones quejas y reclamos	■
Servicios postventa	■
Confianza entre las partes	■
Solvencia económica y financiera	■
Disponibilidad en la prestación del servicio	■
Cumplimiento del servicio acordado	■

La siguiente matriz que se desarrolla es el resultado de promediar todas las respuestas de impactos de las 13 personas seleccionadas para aplicar en instrumento 2, y con el fin de valorar los impactos probabilísticos asignados, se valora como uno las casillas con valores iguales o superiores a la media, que en caso de estudio corresponde a 3.06 (Mora,2007,61).

La estimación de los valores de motricidad y dependencia de cada variable se obtiene de la suma horizontal de los impactos de motricidad dividido entre el global y entre 16 variables, al igual para dependencia se suma verticalmente los valores de dependencia y se dividen en cada caso sobre el total y entre el número particular de variables, en este caso 16; arrojando valores en términos de porcentaje para facilitar su graficación.

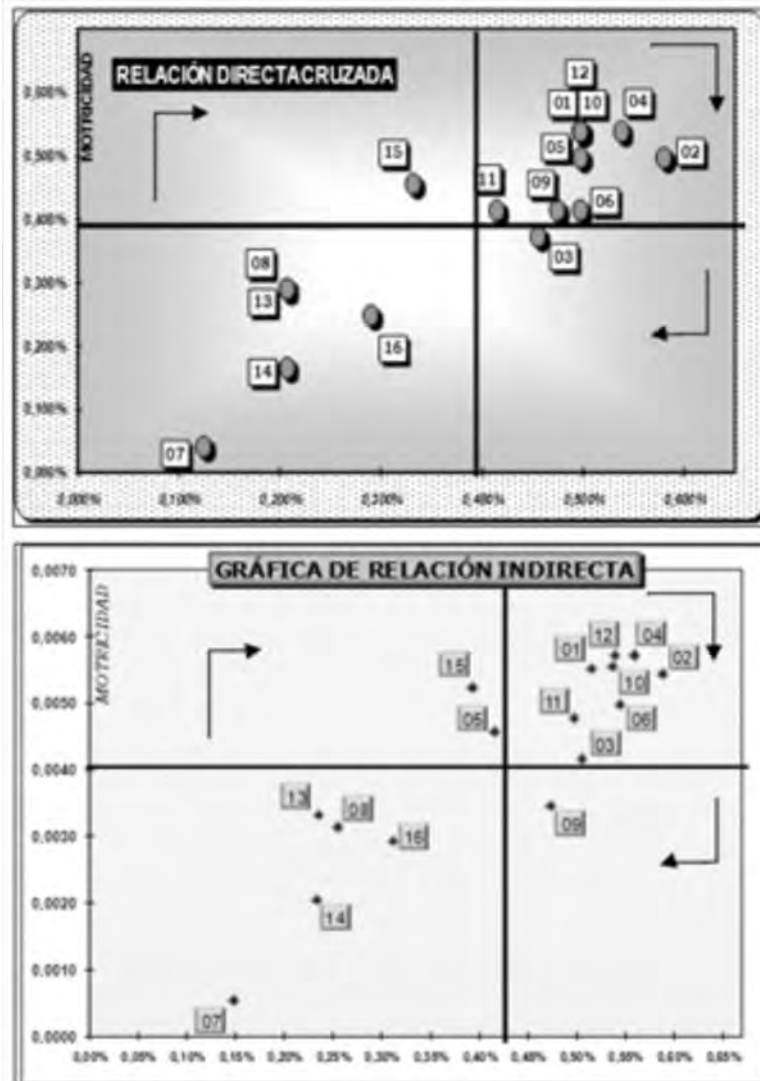
FIGURA 2. Instrumento 2



Los valores de motricidad de orden indirecto de impacto cruzado se obtienen elevando la matriz a la potencia  $3.3699E+66$  que se representa numéricamente de la siguiente forma  $M3.37E+66$ , que se puede leer como M a la potencia 3.37 undeca-millones. La multiplicación por potencias altas, garantiza la estabilidad en el tiempo de los valores de motricidad y dependencia de cada una de las variables (Mora,2007,62).

La fase final es la construcción de los mapas arquitectónicos de relaciones directas e indirectas, el ser humano carece de la capacidad de visualizar lo que sucede en el mapa arquitectónico indirecto, esto se debe a la complejidad de la multiplicación matricial, aquí radica una de las grandes virtudes del método, por esto es común que los expertos se sorprendan con los resultados obtenidos en el mapa indirecto, inicialmente con las variables autónomas donde les cuesta trabajo aceptar que no inciden (Mora,2007,65).

FIGURA 3. Mapas arquitectónicos



## RESULTADOS Y CONCLUSIONES

El tablero de influencias de Lefebvre, arroja un resultado contundente de cuáles son las variables claves del sistema, en este caso se debe iniciar realizando fuertes actividades tendientes a incrementar la actualidad tecnológica de las empresas a contratar, posteriormente se debe ahondar esfuerzos para asegurar que se cumplan las especificaciones técnicas por parte del contratista.

Luego las acciones deben centrarse en asegurar la experiencia del servicio para luego trabajar en los tiempos

de entrega, posteriormente asegurar la garantía del servicio, teniendo personal calificado de alto nivel, con lo que se tiene efectividad en la prestación del servicio, la capacidad técnica recibe ahora toda la atención para pasar luego al cumplimiento del servicio acordado y a la calidad del servicio. Las actividades previas deben asegurar como salida del sistema, un trabajo que cumpla las normas técnicas.

El análisis integral del estudio MIC MAC, arroja como variables importantes que influencias todo el sistema y sobre las que se debe centrar todas las acciones iniciales

del plan estratégico las siguientes: actualidad tecnológica y cumplimiento de especificaciones técnicas.

Las variables que se deben manejar con cautela, haciéndose seguimiento a sus conductas y a la influencia

que generan sobre otras son: experiencia en el servicio, tiempo de entrega, garantía del servicio, personal calificado, efectividad en la prestación del servicio, capacidad técnica, cumplimiento del servicio acordado y calidad del servicio.

FIGURA 4. Tiempos

Variable	Tipo	Descripción	Actuar en el año	en el	Acción a tomar
15	Motriz	Actualidad Tecnológica	Uno	Semestre uno	Influenciar fuertemente
5	Motriz	Cump. Especificaciones tec.	Uno	Semestre dos	
11	Reflejo	Experiencia en el Servicio	Dos	mes uno	Evaluar su dependencia y su impacto sobre las demás
3	Reflejo	Tiempo de Entrega	Dos	mes tres	
1	Reflejo	Garantía	Dos	mes cuatro	
10	Reflejo	Personal Calificado	Dos	mes seiss	
12	Reflejo	Efectividad en la prestación	Dos	mes siete	
6	Reflejo	Capacidad Técnica	Dos	mes ocho	
4	Reflejo	Cump. Del Servicio	Dos	mes diez	
2	Reflejo	Calidad	Dos	semestre once	
9	Dependiente	Cump. De Normas técnicas	Tres	Año	Medir el efecto logrado de las motrices
7	Independiente	Riesgos Laborales	NUNCA	en los próximos años	
13	Independiente	Sol. Peticiones quejas y reclamos	NUNCA	en los próximos años	
14	Independiente	Seguimiento del trabajo realizado	NUNCA	en los próximos años	
8	Independiente	Disponibilidad en la prestación del servicio	NUNCA	en los próximos años	
16	Independiente	Precio del servicio	NUNCA	en los próximos años	



FIGURA 6. Análisis integral

RESULTADOS ESTRATÉGICOS MIC MAC SOBRE
<b>Estudio Prospectivo Futurístico MIC MAC sobre Criterios relevantes en Out-sourcing de Mantenimiento en el sector Textil en el Valle de Aburrá para el periodo 2008-2012.</b>
<b>Variables Molinos</b>
Actualidad Tecnológica
Cumplimiento de Especificaciones técnicas
<p>Son las variables más importantes que influyen todo el sistema, en ellas se deben concentrar todos los recursos propios del plan estratégico.</p>
Definir estas variables ya que son las claves en el proceso
<b>Variables De Refuerzo o De Reflejo o Tipo Espejo</b>
Experiencia en el servicio
Tiempo de Entrega
Garantía del servicio
Personal Calificado
Efectividad en la Prestación del Servicio
Capacidad Técnica
Cumplimiento del servicio acordado
Calidad del Servicio
<p>Se debe manejar con cuidado, haciendo seguimiento a los cambios de ellas y a las acciones que generen estos resultados.</p>
Definir a cuáles se le otorga y cuáles planes.
Contarlas de los miembros de Apoyo.
<b>Variables Dependientes o del Futuro o de control sobre la gestión - MEDIR</b>
Cumplimiento de normas técnicas
<p>Son las variables que sirven de resultado en el futuro o resultado para después de haber accionado las variables anteriores, esto se logra diseñando procesos dependientes y controlados en realidad.</p>
Definir variables a ser de calidad y con la clave para controlar la efectividad de las acciones.
<b>Variables Independientes o no tener en cuenta</b>
Protección de riesgos laborales
Solución de Peticiones Quejas y Reclamos
Seguimiento del trabajo realizado
Disponibilidad en la prestación del servicio
Precio del Servicio
<p>Son las variables que no son relevantes al momento de momento, en un futuro pueden fortalecer en ellas.</p>
No se deben sacar fuera del sistema de control.
Contarlas de los miembros de Apoyo.
<b>Plan estratégico a desarrollar</b>
Véase e interprete Tablero Influencias Lefebvre.
Contarlas de los miembros de Apoyo.
Fin

## BIBLIOGRAFÍA

GUTIÉRREZ, Juan Ignacio – Introducción al mantenimiento – Memorias Mantenimiento 1 – Universidad EAFIT – Medellín – Colombia – 2006.

MORA GUTIÉRREZ, Alberto – Mantenimiento estratégico para empresas industriales o de servicios – Editorial AMG – Medellín – Colombia – Segunda edición – 2007 – ISBN: 958-33-8218-3.

----- - Pronóstico de demanda e inventarios, métodos futurísticos – Editorial AMG – Medellín – Colombia – 2007 – ISBN: 958-33-8218-3.

----- - Tercerización en el mantenimiento – Conferencia congreso internacional COCIER – Medellín – Colombia – 2003.

SOURIS, Jean Paul – Mantenimiento: Fuente de beneficios – Ediciones Díaz de Santos – Francia – 1992 – ISBN: 8479780215.

EIBAR@,2005 [http://eibar.org/blogak/prospektiba/es/archive/2005/03/22/21dweblogentry\\_view#119765214](http://eibar.org/blogak/prospektiba/es/archive/2005/03/22/21dweblogentry_view#119765214) – Consultada Febrero de 2008.

INEX@,2008 <http://inexmoda2.private.arkix.com> – Consultada Febrero de 2008.

# **PLAN DE NEGOCIOS DE UN TALLER MECÁNICO PARA TRABAJOS RÁPIDOS**

**MARÍA SARA GUTIÉRREZ PALACIO**

mgutier4@eafit.edu.co

Departamento de Ingeniería Mecánica

**ÁREA DE ÉNFASIS**

DISEÑO DE SISTEMAS TÉCNICOS

**ASESOR**

JUAN SANTIAGO VILLEGAS LÓPEZ

**SECTOR BENEFICIADO**

INDUSTRIA METALMECÁNICA



## **RESUMEN**

En el plan de negocios se evalúa la viabilidad de montar un taller mecánico para trabajos rápidos en la ciudad de Medellín, basado en un modelo deservicio express o de entrega inmediata, este comenzará con una cita, posteriormente cuando el vehículo ingresa al taller un equipo de trabajo lo atenderá de inmediato, realizando la operación deservicio en el menor tiempo posible, pero asegurando la mejor calidad en el procedimiento; como característica especial, los clientes deberán esperar la entrega del vehículo. Para esto se realizaron encuestas a los clientes potenciales, se entrevistaron expertos en el tema, se realizó el análisis estratégico y se realizó el estudio económico- financiero para describir la inversión.

## **PALABRAS CLAVE**

EXPRESS / CALIDAD

## **ABSTRACT**

In the business plan is evaluated the viability of in stalling a mechanical workshop for rapid works in Medellín city, based on a service model express or of immediate delivery, this one will begin with an appointment, later when the vehicle enters to the workshop a work team will attend to it immediately, realizing the service operation in the minor possible time, but assuring the best quality in the procedure; as special characteristic, the clients will have to wait for the delivery of the vehicle. For this were performed polls to the potential customers, were interviewed some experts on the subject, realized the strategic analysis and the economics and financial studies to describe the investment.

## **KEY WORDS**

EXPRESS/ QUALITY



## INTRODUCCIÓN

El problema más común en los talleres de reparación y mantenimiento mecánicos en el Valle de Aburrá son: la impuntualidad, el mal servicio y en algunas ocasiones la baja calidad de los trabajos debido a los afanes por falta de tiempo de los clientes. Una oportunidad de negocio surge al sacar provecho de estas desventajas, la idea es plantear el montaje de un taller mecánico para trabajos express, que impliquen un tiempo menor a dos horas, durante las cuales el cliente puede esperar su vehículo. Estos trabajos serán planeados por medio de citas programadas con anterioridad, en las cuales se identifica la necesidad del cliente y se planean tanto el personal como los recursos para realizarlo.

## PLANTEAMIENTO ESTRATÉGICO

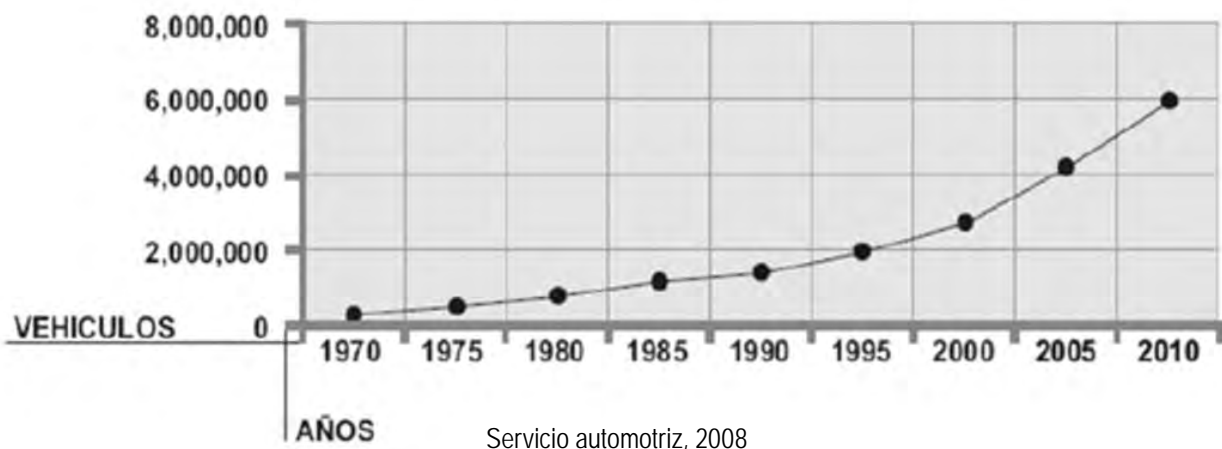
### Análisis de las 5 fuerzas de Michael Porter

La amenaza de nuevos competidores: Como en todo negocio nuevo siempre habrá personas o empresas interesadas en copiar el modelo de servicio propuesto sobre

todo si éste resulta exitoso, sin embargo el tipo de negocio a desarrollar en el presente proyecto es completamente nuevo y en el convergen muchos elementos que lo hacen muy singular, como por ejemplo las cualidades especiales de los técnicos, las características únicas del local en el cual debe operar, el sistema de adjudicación de citas y programación de trabajo, el proceso mismo de servicio ágil y rápido a los vehículos; esto hace que el tipo de negocio y metodología de trabajo no sea fácil de copiar o por lo menos no de manera muy rápida, lo cual permitirá lograr un nivel de desarrollo importante en un período de tiempo más o menos largo, sin que importe la capacidad de inversión o capital que tengan los competidores potenciales.

Otro aspecto importante es el hecho de que en Colombia, la cantidad de vehículos que circulan en las grandes ciudades se duplicó en los últimos 8 años, como se ve en el figura 1. Tendencias del crecimiento. En el mismo período la cantidad de puestos de trabajo para el servicio automotriz en el mejor de los casos se mantuvo estable y en algunas ciudades disminuyó, creando así un enorme desequilibrio entre la oferta y la demanda de servicio (Servicio automotriz, 2008).

FIGURA 1. Tendencia del crecimiento del parque automotor en Colombia



En este orden de ideas la metodología de trabajo y el modelo de negocio propuestos, realmente no pueden ser afectados por economías de escala, aunque cuenten con grandes capitales y facilidades de inversión, pues, los

competidores potenciales tienen bastante trabajo, tratando de hacer más eficientes sus actuales negocios, y el servicio inmediato o rápido no les resultaría muy atractivo al menos por el momento.

La metodología propuesta cumple con las siguientes premisas: servicio programado, atención inmediata, alta calidad, suministro inmediato de repuestos y partes y retroalimentación para asegurar la satisfacción de los usuarios.

La Amenaza de sustitutos: En cuanto a la amenaza por los productos sustitutos, debido a que la metodología de servicio es totalmente nueva, lo cual permitirá desarrollarla e implementarla durante un buen tiempo, sin tener amenazas reales en el corto y mediano plazo, a largo plazo el producto de servicio también debe evolucionar y adaptarse a las posibles amenazas que tenga que enfrentar en el futuro.

El Poder de negociación de los proveedores: El modelo de negocio propuesto debe trabajar de la mano con los principales proveedores de repuestos de las marcas más reconocidas, para poder contar con los recursos en el momento justo en que se requieran. Para los clientes cambiar a otros proveedores no les resultará atractivo además de los argumentos anteriores, porque el tiempo para cualquier persona es muy costoso y esa es en esencia la gran ventaja del producto propuesto.

El poder de negociación de los compradores: Inicialmente el objetivo estará orientado a lograr una amplia diferenciación de lo que es el modelo de servicio propuesto, con el producto tradicional de otros actores, cada cliente es abordado con el propósito de informarle sobre las bondades del producto, como son la oportunidad, la agilidad, la disponibilidad y la calidad; de esta manera se logra diferenciar el producto de la competencia en el corto plazo y se asegura el progreso del negocio.

La intensidad de la rivalidad interna en la industria: Es posible que la rivalidad interna se presente una vez el modelo de servicio sea reconocido, pero dado que es un producto nuevo aun no hay rivales identificables a nivel nacional.

En el macroentorno el sector y subsector de la economía al que pertenece el proyecto según la Clasificación CIIU (Clasificación Industrial Internacional Uniforme) es el G5020- Mantenimiento y reparación de vehículos automotores 07 Servitecas (Camara, 2008).

El entorno al que pertenece el proyecto es altamente competitivo, existen muchos talleres especialmente de concesionario de marca y muchos otros negocios informales imposibles de cuantificar de manera exacta, sin embargo el nuevo modelo de servicio propuesto, no pretende competir con estos por todas las razones anteriormente expuestas.

## **ESTUDIO DE MERCADO**

Se realizaron encuestas en las afueras de los talleres mecánicos con el fin de conocer la satisfacción de los clientes con el servicio prestado en los mismos, igualmente se realizaron entrevistas con expertos en el tema y personas del medio para identificar las principales causas de asistencia a los talleres o concesionarios, así mismo se evalúan los resultados con el fin de realizar el estudio de la oferta y la demanda del servicio que se ofrece.

En general los encuestados están satisfechos con el servicio que les ofrece su concesionario o taller de confianza, sin embargo se puede ver que hay unos pocos que no están completamente satisfechos y que consideran que el servicio es regular, adicionalmente aunque el 33% de los encuestados no están dispuestos a pagar un excedente en el precio para obtener un mejor servicio, lo que puede deberse a que la mayoría están satisfechos con el servicio de su taller o concesionario, el 67% si está dispuesto a pagarlo, el promedio de este excedente comparado con el precio base de los servicios es de un 10% más sobre el valor que pagan actualmente. A partir de la entrevista realizada con los señores: se identificaron las siguientes causas principales de mantenimiento – reparación de los vehículos: lubricación, suspensión, dirección, ajuste de motor y frenos, es decir mantenimiento mecánico general, la gran mayoría de estas operaciones requieren menos de dos horas, lo que demuestra que el enfoque del proyecto es viable.

## **EL MODELO DE NEGOCIO**

Las ventajas del modelo de servicio que se propone son:

Alta rentabilidad, en el proyecto no existirán grandes áreas de parqueadero, ni espacio para vehículos en espera, por

lo que el cliente siempre debe esperar su vehículo. Para esto se ha considerado que en las grandes ciudades, y particularmente en Medellín el metro cuadrado de arriendo se encuentra entre \$10.000 y \$15.000 (Propiedades, 2008) lo que resulta muy costoso, el modelo de servicio que se propone convierte la mayor parte de las áreas arrendadas en productivas.

Alta productividad, debido a que todos los operarios aprovechan su tiempo en más del 80%, haciendo que cada vehículo que ingrese al taller ya tiene un equipo de trabajo esperando y los repuestos que presumiblemente se necesiten en la operación, deberán estar disponibles en el mismo, como consecuencia de esto el operario no pierde tiempo en ninguna fase del proceso.

Alta satisfacción de los clientes, esto se logra gracias al respeto que se tiene por el tiempo, que se ha convertido en el bien máspreciado de la época que vivimos.

Amplias posibilidades de crecimiento, debido a lo innovador del modelo de servicio que se propone, se puede expandir por medio de franquicias o apertura de sucursales en otros lugares. Mejor calidad en todas las operaciones de servicio, todas las reparaciones manejarán un concepto de integralidad, por ejemplo: no se cambia únicamente el disco del clutch, si no todo el conjunto del mecanismo, es decir, embrague, disco y rodillo; no se hace solo el cambio de las pastas de frenos, se hace revisión general de frenos, incluyendo rectificación de discos y campanas si es necesario. Esto evita al máximo los re-procesos en las operaciones, ya que se pasa del antiguo método del diagnóstico puntual al mantenimiento de un conjunto en particular.

## **DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PASO A PASO**

Solicitud de la cita: el cliente debe llamar y es atendido por una persona especializada quien realizará preguntas acerca del problema que tiene el vehículo, suponiendo a manera de ejemplo que el vehículo tiene un problema de frenos, la persona encargada del taller otorgará una cita después de consultar el nivel de ocupación de sus operarios y la cita para este caso debe ser de dos horas

que es el tiempo que requieren casi todas las operaciones deservicio de frenos en los automóviles según el temario de operaciones posteriormente descrito, para hacer un trabajo muy general. Se advierte al cliente que debe ser puntual pues de lo contrario un operario quedara inactivo durante este tiempo; Una vez otorgada la cita, se hace la solicitud de las partes que se requieran para la reparación al proveedor de los repuestos, que para este ejemplo serian las pastas de frenos, líquido, empaquetaduras de cilindros, entre otros, estos repuestos deben estar disponibles al momento de la reparación.

Recepción del vehículo previamente citado: la persona encargada del taller recibe el vehículo, abre una orden de reparación con los requerimientos del cliente, imprime una copia para el taller y otra para el cliente, solicita la firma del cliente en la copia del taller y procede a hacer junto con el operario programado un diagnóstico más exacto de las necesidades del vehículo a reparar, en este punto verifica que todos los recursos y repuestos para efectuar la reparación estén en sitio. La reparación: se procede a la reparación como tal, la persona encargada del taller controlara el proceso y las posibles dificultades que se presenten para cumplir con el tiempo establecido, debe estar pendiente para solicitar repuestos adicionales o para asignar otro operario si es necesario y hará el control de calidad durante el proceso y al finalizar el mismo.

Control de calidad: se realiza una corta prueba de ruta para verificar la calidad de la reparación.

Liquidación facturación y entrega: se recoge toda la información pertinente se analiza y ajusta y se procede a facturar y cobrar el servicio.

Durante el proceso de reparación hasta la liquidación y entrega el cliente debe permanecer en el taller esperando su vehículo, puesto que como se había descrito anteriormente, el modelo de servicio no posee puestos inactivos o parqueaderos, el vehículo debe ser retirado rápidamente del taller al finalizar la reparación; para este tiempo de espera "ON TIME" contará con una zona de entretenimiento que incluye revistas, televisión por cable y computadores con internet y juegos.

Seguimiento del servicio: esto se hace por medio de llamadas al cliente aproximadamente veinticuatro horas después de efectuada la reparación y llevando un control de los índices de satisfacción de los clientes, en este seguimiento se evalúa: la atención, la calidad del servicio, la agilidad y la oportunidad de servicio y opinión sobre el costo de la reparación.

## ESTUDIO ECONÓMICO-FINANCIERO

El flujo de caja del proyecto se construyó a partir de: presupuesto de ventas, presupuesto de compras, inventarios, nomina, gastos generales, estado de pérdidas y Ganancias. Los resultados obtenidos son los siguientes.

FIGURA 2. Estudio económico

	Reinversión		Flujo de Efectivo	
Inversión Inicial	\$	-200,000,000	\$	-200,000,000
Año 1	\$	-41,778,861	\$	-41,778,861
Año 2	\$	115,044,312	\$	115,044,312
Año 3	\$	132,649,136	\$	132,649,136
Año 4	\$	154,587,638	\$	154,587,638
Año 5	\$	179,014,048	\$	179,014,048

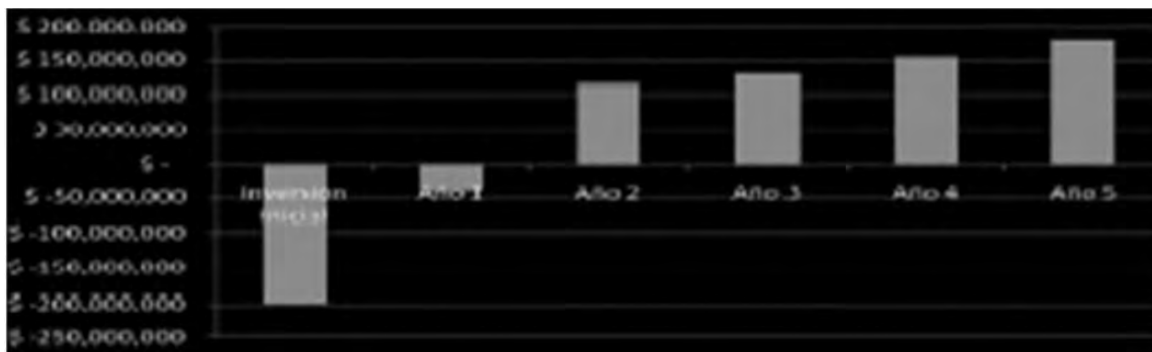
Reinversión Flujo de Efectivo:

- Inversión Inicial \$ -200,000,000 \$ -200,000,000
- Año 1 \$ -41,778,861 \$ -41,778,861
- Año 2 \$ 115,044,312 \$ - 115,044,312
- Año 3 \$ 132,649,136 \$ - 132,649,136
- Año 4 \$ 154,587,638 \$ - 154,587,638
- Año 5 \$ 179,014,048 \$ - 179,014,048

Valor presente neto: Para el flujo de efectivo mostrado en la tabla anterior, el valor presente neto del proyecto es de \$339.516.273 (trescientos treinta nueve millones quinientos diez y seis mil doscientos setenta y tres pesos).

Tasa interna de retorno: Dadas las condiciones de flujo de efectivo mostradas, la rentabilidad del negocio o tasa interna de retorno (TIR) equivale a 29.8%, lo que implica una rentabilidad bastante buena, el flujo de efectivo se muestra a continuación.

FIGURA 3. Flujo de caja



## RECOMENDACIONES

Considerando que el modelo de servicio es nuevo y que este estudio es sólo la etapa inicial para su implementación, se realizan las siguientes recomendaciones con el fin de definir cual sería el paso a seguir en el desarrollo del proyecto.

Se hace necesaria la realización de una evaluación más detallada a nivel del riesgo que se corre el poner en marcha el nuevo modelo de servicio, pues la situación política y económica mundial actual indica que no es un buen momento para iniciar con ningún tipo de negocio ya que el riesgo es bastante alto.

Adicionalmente es recomendable definir una estrategia más detallada para el manejo de los inventarios de los repuestos pues es de vital importancia para el buen funcionamiento del modelo que los repuestos estén disponibles para asignar las citas, para esto la relación con los proveedores, tal como se describe en el análisis de las 5 fuerzas de Michael Porter, debe ser muy buena.

Finalmente debe conseguirse los inversionistas quienes aportaran totalmente el capital para el funcionamiento del proyecto.

## CONCLUSIONES

Aunque el 93% de los encuestados no espera su vehículo durante la reparación o mantenimiento del mismo, se puede observar que aproximadamente el 70% de estos estarían dispuestos a esperarlo hasta dos horas si se les ofrece este tipo de servicio, lo que indica que el modelo propuesto puede tener gran aceptación.

Aproximadamente el 33% de los encuestados, aunque considera que el tipo de servicio que se les está ofreciendo es bueno, estarían dispuestos a pagar un excedente de aproximadamente un 10% sobre el precio actual para recibir un servicio que les garantice la calidad del mismo y la entrega oportuna de sus vehículos.

El entorno específico al cual estará enfocado el negocio, identificado a partir de las encuestas realizadas, son

los propietarios de vehículos, mayores de 30 años, y responsables directos por los costos de mantenimiento o reparación de sus vehículos.

Los resultados de la encuesta indican sólo como se comportan las personas encuestadas, por lo cual no se concluye a nivel general de clientes potenciales en la ciudad de Medellín y el Valle de Aburrá, pues la muestra se calculó en base a un valor aproximado encontrado en un estudio realizado por la alcaldía de Medellín.

Las principales causas de reparación y mantenimiento de los vehículos son por lubricación, suspensión, dirección, ajuste de motor y frenos, es decir mantenimiento mecánico general, la gran mayoría de estas operaciones requieren menos de dos horas, lo que demuestra que el enfoque del proyecto es viable.

De acuerdo al análisis de las fuerzas de Michael Porter y el análisis DOFA, las amenazas aunque son reales para este caso tendrán baja incidencia pues el proyecto se trata de un nuevo modelo de servicio y le tomará un tiempo a la competencia conocerlo y adaptarse para convertirse en "competencia".

La mayoría de los factores externos analizados no afectan el desarrollo del proyecto en gran medida, debido a que el modelo de servicio que se propone es ajeno a estos, así mismo una leve recesión económica tampoco lo afectará debido a la magnitud de las reparaciones que se efectúan y a que la cantidad de vehículos o clientes potenciales es alta tiende normalmente a tiende incrementarse por lo que se espera que la demanda del servicio se incremente.

El estudio económico – financiero hace uso de diferentes suposiciones sobre la operación del modelo de servicio anualmente, es por esto que aunque los valores se consideran dentro de un rango normal y bastante bueno, estos no indica que el comportamiento del proyecto sea de esta manera en caso de ejecutarse.

El proyecto tiene unas utilidades bastante buenas, a pesar de haber pérdidas para el primer año de operación, esta se recupera a partir del segundo año y se puede observar que las utilidades tienden a crecer notablemente año tras año,

lo que hace que el proyecto económicamente, basándonos en los resultados obtenidos en el PYG y el Balance General es viable para los inversionistas.

El proyecto es altamente rentable, pues la inversión inicial se recupera en el segundo año, a partir del cual se empiezan a evidenciar las ganancias, adicionalmente la Tasa Interna de Retorno es bastante buena, haciendo que financieramente el proyecto sea viable.

Al evaluar detenidamente la información obtenida en las encuestas y en la entrevista con los expertos en el tema, las visitas a los talleres y después de la realización del análisis financiero y estratégico se encuentra que el proyecto propuesto es viable, ya que al comparar los resultados de este proceso no se encuentran debilidades o amenazas que puedan perturbar su desarrollo.

## **BIBLIOGRAFÍA**

[Medellín. Alcaldía de Medellín (2008). Cluster de Transporte. [En línea]. Disponible en:[http://www.medellin.gov.co/alcaldia/jsp/modulos/N\\_a\\_dmon/obj/documentos/asivamos/resumenlineabase.pdf](http://www.medellin.gov.co/alcaldia/jsp/modulos/N_a_dmon/obj/documentos/asivamos/resumenlineabase.pdf). [Citado Abril 2008]

Servicio automotriz (2008). Guía para empresarios, oportunidades de producción en el sector automotriz. [En Línea]. Disponible en:  
[http://www.acercar.org.co/industria/biblioteca/documentos/manuales/manual\\_sector\\_automotriz.pdf](http://www.acercar.org.co/industria/biblioteca/documentos/manuales/manual_sector_automotriz.pdf). [Citado Octubre de 2008]

Propiedades (2008). Revista Propiedades. [En Línea]. Disponible en:<http://www.propiedades.com.co>. [Citado Octubre 2008]

# **SOLDADURA POR FRICCIÓN**

**ESTEBAN MORENO SIEGERT**

emorenos@eafit.edu.co

Departamento de Ingeniería Mecánica

**ÁREA DE ÉNFASIS**

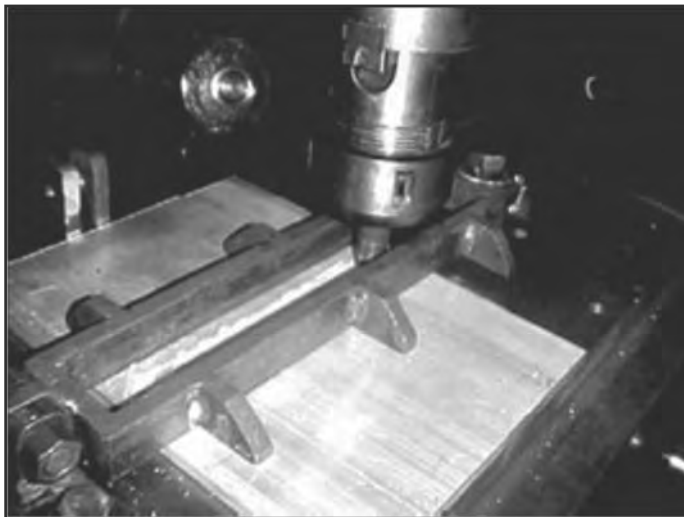
DISEÑO DE SISTEMAS TÉCNICOS

**ASESOR PRINCIPAL**

GABRIEL JAIME PÁRAMO BERMÚDEZ

**SECTOR BENEFICIADO**

MANUFACTURA



## **RESUMEN**

La soldadura de mezclado por fricción es una técnica para unir dos láminas o placas por medios mecánicos. Este proceso tiene grandes ventajas en la soldadura de aleaciones de aluminio que son difíciles de soldar por los procesos que involucran la fusión del material base. Mediante este proceso se pueden soldar secciones gruesas en una sola pasada, obteniéndose uniones con excelentes propiedades mecánicas.

## **ABSTRACT**

Friction stir welding is a technique for joining two sheets or plates by mechanical means. This process has great advantages in the welding of aluminum alloys that are difficult to weld by processes involving the fusion of the base material. This process can be welded thick sections in a single pass, resulting joints with excellent mechanical properties.

## **PALABRAS CLAVES**

Soldadura, juntas, transferencia de calor, punto de fusión, parámetros de operación, material base, geometría de la herramienta, penetración.

## **KEY WORDS**

Weld, joints, heat transfer, melting point, operating parameters, base material, geometry of the tool, penetration.

---

## **INTRODUCCIÓN**

El Technological Welding Institute de Inglaterra da a conocer en la última década un nuevo método de soldadura en fase sólida para la soldadura del aluminio y sus aleaciones, que denominó Friction Stir Welding.

Esta nueva variante de la soldadura por fricción permite la soldadura de piezas planas de gran extensión, y en ese sentido introduce un avance muy importante de la soldadura por fricción que estaba limitada solo a uniones de partes con simetría de revolución. Las propiedades mecánicas y sanidad de las uniones producidas resultan en general superiores a las obtenidas por procesos de arco convencionales. Las restricciones fundamentales son: reducida versatilidad propia de un proceso automático, necesidad de firme sujeción de las piezas, aplicación limitada a piezas planas o de gran radio de curvatura, producción de hueco residual al final de la soldadura en el lugar de extracción de la herramienta.

Al interior de la Universidad EAFIT y específicamente en el Departamento de Ingeniería de Producción, área de manufactura, el Profesor Gabriel Jaime Páramo B. ha adelantado exploraciones para establecer parámetros del proceso evaluación por medio de ensayos. La herramienta consiste en un hombro y una punta de prueba que puedan ser integrales posiblemente de un diverso material. El diseño del hombro y de la punta de prueba es muy importante para la calidad de la soldadura. La punta de prueba de la herramienta genera el calor y revuelve el material que es soldado, pero el hombro también hace una parte importante proporcionando el tratamiento de fricción adicional así como evitar que el material plastificado se escape de la región de la soldadura. El material plastificado se produce de conducir el lado que se arrastra de la herramienta, pero es atrapado por el hombro que se mueve a lo largo de la soldadura para producir finalmente una superficie lisa.

La soldadura por fricción tiene como ventaja, que es un proceso limpio que no genera gases tóxicos ni residuos que pueden llegar a ser perjudiciales para la salud humana, y para el medio ambiente, convirtiéndose en una gran alternativa que conlleva a cuidar el calentamiento global y los gases invernaderos; temas que son indispensables y están de moda en nuestro planeta.

El método pretende ser una alternativa hacia el mercado de soldadura de aluminio, teniendo como ventajas una diversidad de opciones como ausencia de materiales de aporte, atmósferas controladas y equipos muy especializados. Este proceso se puede realizar con

máquinas convencionales que se encuentran muy comúnmente en nuestra industria como las fresadoras y taladros de banco, sin que esto tenga consecuencias en la calidad de la soldadura y por tanto en el proceso como tal.

La demanda del mercado actual de los productos de aluminio amerita un estudio que permita conocer de primera mano las características de este mercado como lo son la demanda con respecto a la oferta, para así tener una certeza del beneficio económico de la implementación del método de soldadura por fricción; además ayudando a la industria local a ser más competitiva, más diversa y con mejores resultados.

## **OBJETO DE ESTUDIO**

El objeto de estudio es la implementación del proceso de soldadura por fricción, debido a que es un proceso limpio, económico y tiene resultados superiores a otros procesos actuales. Además genera a futuro beneficios económicos para la industria que lo implemente de manera adecuada y desarrollo académico y profesional del estudiante a cargo de este proyecto.

## **MARCO TEÓRICO**

El proceso de soldadura por fricción consta de principios básicos como el punto de fusión de el material base en el cual se va a soldar, este proceso es muy utilizado en la industria naviera y en transbordadores espaciales con el fin de maximizar las propiedades mecánicas del material y por ende minimizar los esfuerzos que se generan en el interior del material.

## **FUNCIONAMIENTO**

La forma para lograr este proceso basta con una fresadora vertical la cual se pueda modificar las velocidades de corte, es decir poder controlar las rpm de la maquina y el avance de la misma; y no sin dejar atrás un buen montaje de las juntas donde van muy bien acomodadas con un sistema de sujeción con bridas o de una prensa mecánica dependiendo de la geometría, de lo que se vaya a soldar. La herramienta adecuada es la encargada de realizar



todo el trabajo que implícitamente se ejecuta, es decir que con una buena geometría, material, y sin descartar un buen montaje o amarre de las juntas, se garantiza de tener buenos resultados a la hora del proceso. La siguiente imagen, describe gráficamente cómo funciona el proceso, mencionando las partes fundamentales de la herramienta y su manera de interactuar en el momento de la soldadura,

detallando que la parte trasera del hombro es la que hace la distribución del material plastificado; la punta de prueba hace que este material plastificado cree una turbulencia y tienda a ascender; debe también haber una fuerza axial para que la herramienta proporcione la fricción suficiente sin desplazarse la herramienta.

FIGURA 1. Esquema del proceso de soldadura por fricción



## TIPOS DE SOLDADURA

El método más comúnmente utilizado para unir metales, es la soldadura y esta tiene una gran diversidad de métodos, las siguientes son las más comunes: soldadura TIG (Tungsten Inert Gas), soldadura MAG (Metal Active Gas), soldadura MIG (Metal Inert Gas), soldadura por arco, soldadura en frío, soldadura explosiva, soldadura por fricción, soldadura por fusión, soldadura a gas, soldadura por plasma, soldadura con rayo de electrones, soldadura ultrasónica, soldadura GMAW.

La soldadura por fricción posee dos métodos de aplicación dependiendo del tipo de juntas que se requiere unir, se puede lograr con una fresadora convencional para juntas planas o láminas de gran extensión, o con un torno convencional para juntas con una sección transversal redonda como tuberías.

El proceso de soldadura por fricción es relativamente nuevo, creado alrededor del año 1991, se quiere implementar este proceso en la industria, debido a que es un proceso muy económico que no requiere de materiales de aporte ni de equipos muy especializados, teniendo en cuenta que es un proceso muy limpio y no produce gases tóxicos que se emiten al ambiente y serían perjudiciales para la salud del usuario u operario.

## PRINCIPIO FÍSICO

El funcionamiento físico del proceso consiste en calentar el material por medio de una fricción generada por la herramienta, donde esta tiene mayor dureza y propiedades de fatiga que el material base. Al calentarse hace que el material alcance el punto de fusión y se mezcla por medio de la turbulencia que genera la geometría de la herramienta ya que esta posee una especie de anillos en su extremo

inferior, el cual es el que está en contacto con el material base.

## MÁQUINAS ADAPTADAS AL PROCESO

Los primeros ensayos del nuevo proceso se llevan a cabo en fresadoras convencionales. Así, se comprueba que este tipo de maquinaria podía realizar correctamente uniones con geometrías sencillas, como soldaduras a tope planas y de longitud y espesor muy limitado.

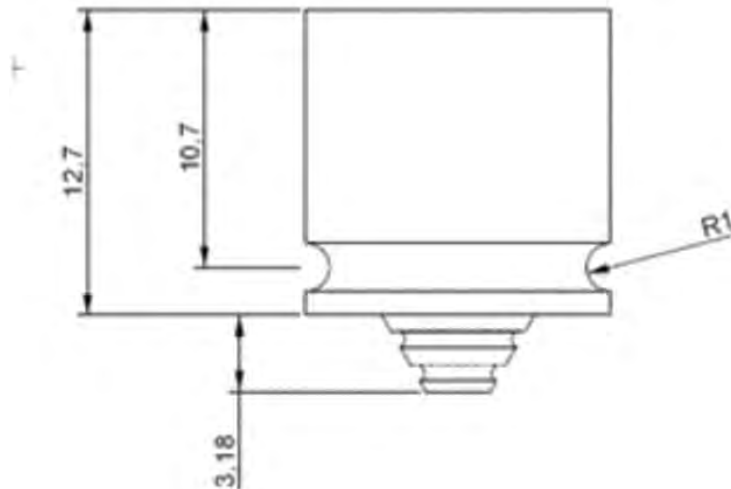
Cuando las uniones son geoméricamente más complejas o de mayor espesor surgen problemas relacionados con daños a los rodamientos del cabezal y a las guías, causados por sobrecargas de proceso inesperadas. Desde un primer momento resulta evidente la necesidad de crear máquinas, que siendo muy cercanas estructuralmente a las máquinas fresadoras, ofrecieran prestaciones específicas que las adaptaran al nuevo proceso.

## DISEÑO DE LA HERRAMIENTA

La herramienta consiste en un hombro y una punta de prueba que puedan ser integrales posiblemente de un diverso material. El diseño del hombro y de la punta de prueba es muy importante para la calidad de la soldadura. La punta de prueba de la herramienta genera el calor y revuelve el material que es soldado, pero el hombro también hace una parte importante proporcionando el tratamiento de fricción adicional así como evitar que el material plastificado se escape de la región de la soldadura.

El material plastificado se produce de conducir el lado que se arrastra de la herramienta, pero es atrapado por el hombro que se mueve a lo largo la soldadura para producir finalmente una superficie lisa. Para lograr la geometría de la herramienta se buscó tanto en bases de datos como en libros de la biblioteca, se opta por varias posibilidades de geometría y escoger una era cuestión de facilidad con las máquinas disponibles de la universidad y facilidad de maquinado.

FIGURA 2. Dimensiones de la herramienta para el caso 1

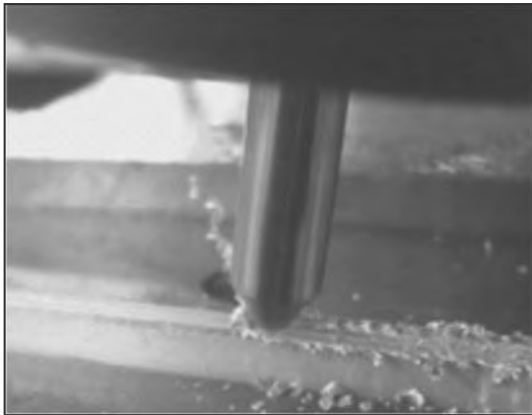


Para los ensayos con perfiles, se recurre a maquinar una herramienta diferente, debido a que su poco espesor, hace que se descarte la primera herramienta ya que por su geometría y dimensiones, es ideal para espesores más grandes.

Para el diseño de la herramienta del caso 2, se consigue una barra de tungsteno y 10% de cobalto, y realizarle un maquinado en las dos puntas de la barra, con una geometría diferente; debido a que este material posee tanta dureza, se recurre al laboratorio de herramientas de la universidad

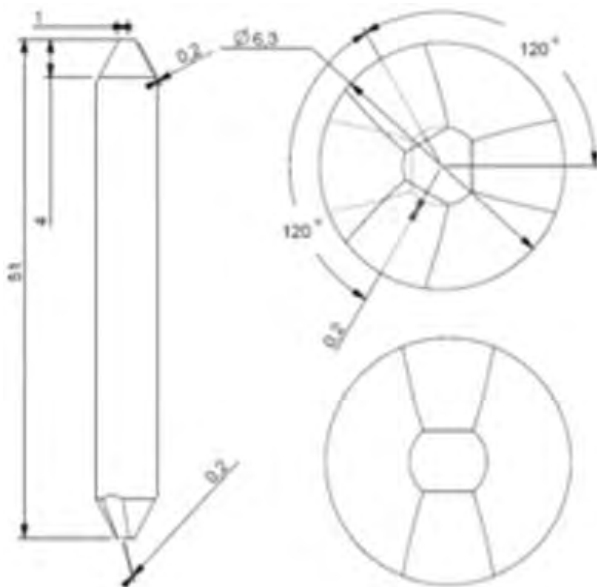
y poder disponer de un disco de diamante o piedra abrasiva y así poder dar con el mecanizado deseado.

**FIGURA 3**  
Herramienta de tungsteno en operación  
sobre perfilería



El material de esta herramienta, posee, mejores propiedades mecánicas, esto tiene como ventaja que esta no se desgasta, ni pierda su geometría y afecte la calidad de la soldadura.

**FIGURA 4**  
Dimensiones de la herramienta para el caso 2



## TRANSFERENCIA DE CALOR

El proceso de transferencia de calores uno de los aspectos más importantes en el estudio de FSW (Friction stir welding). Una buena comprensión del proceso de transferencia de calor en la pieza de trabajo puede ser provechosa en la predicción de los ciclos termales en la soldadura y la dureza en la zona asoldar de la pieza, posteriormente, puede ser provechosa en la evaluación de la calidad de la soldadura.

## MODELO GEOMÉTRICO

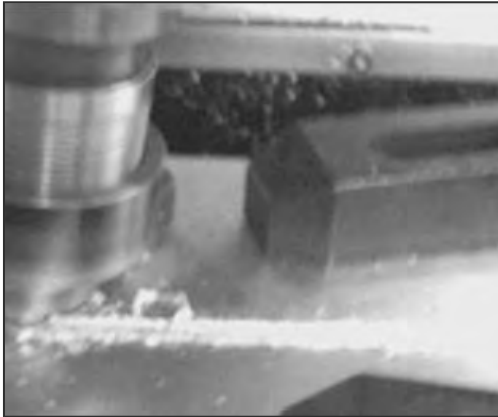
El presente estudio asume un marco de referencia fijado a la herramienta de soldado, de tal manera que la placa se mueve hacia ella con una velocidad ( $V_w=2.0\text{mm/seg}$ ) y temperaturas ( $25^\circ\text{C}$ ) impuestas en la superficie de entrada a la zona de estudio. La superficie del perno de la herramienta está mecanizada en forma de espiral. El efecto de flujo ascendente producido por dicho espiral se simula imponiendo una componente de velocidad ascendente en la superficie del perno.

## PRUEBAS Y ENSAYOS

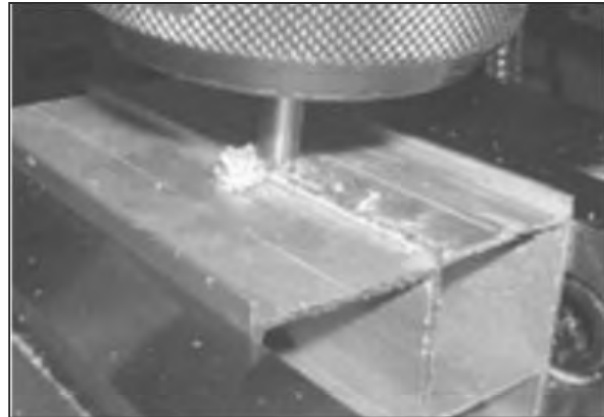
Para poder analizar correctamente los ensayos, evaluando su resistencia, se debe tomar ciertos datos de interés que permitirán establecer y fijar parámetros después de varios ensayos. Se utilizan placas de aluminio de  $10 \times 20\text{cm}$ , y  $3\text{mm}$  de espesor para un ensayo inicial sobre el riel de la bancada de la fresadora, la cual no fue buena idea debido a que las placas sufren un pequeño dobléz en el momento de pasar la herramienta. Los parámetros establecidos para este ensayo, corresponden a  $1300\text{rpm}$ , con  $3\text{mm}$  de profundidad de la herramienta y variando el avance para poder evaluar su comportamiento.

Luego se procede a utilizar perfilería de aluminio de  $2\text{mm}$  de espesor, en trozos de  $10\text{cm}$  de longitud, en ángulo. El propósito final de unir perfilería es obtener formas o secciones transversales que no se obtienen fácilmente en el mercado. Los parámetros establecidos para este ensayo, corresponden a  $1000\text{rpm}$ , con  $1\text{mm}$  de profundidad de la herramienta, y variando el ángulo de inclinación de  $10^\circ$  a  $20^\circ$  y poder evaluar su comportamiento.

**FIGURA 5**  
Ensayos con placas de 3mm de espesor



**FIGURA 7**  
Perfilería de 2mm en ángulo después de la unión



**FIGURA 6**  
Perfilería de 2mm en ángulo después de la unión



Para llevar a cabo el siguiente ensayo se recurre a perfilera en ángulo de 5mm de espesor teniendo parámetros correspondientes a una variación de velocidad de giro desde 800 hasta 1200rpm. El ángulo de inclinación se alterna entre 10° y 15°, el espesor de los perfiles requiere de una herramienta más robusta (caso 1) y con geometría más compleja, para poder que el material a lo largo de todo su espesor se alcance a fundir y mezclarse correctamente.

**FIGURA 8**  
Perfilería de 5mm en ángulo en el momento de la unión



Posteriormente se utiliza perfilera comercial de 2mm de espesor y los parámetros establecidos para este ensayo, corresponden a una variación de velocidad de giro desde 200 hasta 1000rpm para evaluar su comportamiento; el ángulo de inclinación se establece en 10°.

## ENSAYOS DE TENSIÓN

Se selecciona la mejor probeta de los ensayos; siendo las juntas de las placas de 3mm y del perfil en ángulo de 5mm de espesor y así poderla comparar con una junta soldada convencionalmente.

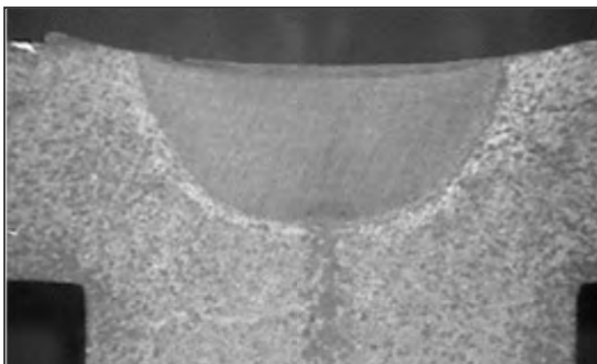
**TABLA 1**  
Valores de fuerza de los ensayos de tensión.  
Soldadura convencional

Soldadura convencional (placas 3mm)	3.25 KN
Soldadura convencional (placas 3mm)	3.5 KN
Soldadura por fricción (placas 3mm)	2.9 KN
Soldadura por fricción (placas 3mm)	5.7 KN
Soldadura por fricción (ángulos 5mm)	13.15 KN
Soldadura por fricción (ángulos 5mm)	13.1 KN

## MACROANÁLISIS DE JUNTAS

Con este procedimiento se analiza los tamaños de grano en la zona analizada, fusión del material y grietas o fisuras en el material resultantes.

**FIGURA 9**  
Macro-análisis de juntas de 5mm ángulo



## ASPECTOS A CONSIDERAR

Se presenta un calentamiento considerable en la fresadora, distribuyéndose y hasta calentando la prensa mecánica después de hacer varios ensayos. La falta del cuerpo, u hombro en la herramienta, hace menos resistentes las juntas, ya que el material mezclado no es distribuido correctamente. Trabajar con espesores tan reducidos, dificulta la tarea, ya que factores como la profundidad entran en juego a la hora de implementar el proceso de soldadura por fricción.

## RECOMENDACIONES

Una herramienta, con todos sus componentes (hombro, punta de prueba, espiral) garantiza una buena unión. Mientras el espesor de las juntas sea mayor, es más aplicable el proceso de FSW. Se recomienda continuar este trabajo de investigación, para controlar las variables, por ejemplo: la geometría de la herramienta, el calentamiento de la pieza, los parámetros del proceso, etc.

## CONCLUSIONES

La preparación de superficies de unión no es crítica, así sean maquinadas, aserradas o hasta cizalladas, todas son soldables.

El proceso controlado por la maquinaria elimina el error humano por lo que la calidad de la soldadura es independiente de la habilidad o actitud del operario.

El proceso de soldadura por fricción es ecológicamente limpio, no se genera humo, emisiones o gases con impacto ambiental.

A partir de los resultados obtenidos y de diseños de experimentos estructurados, se podrán controlar las variables del proceso.

El equipo de soldadura por fricción es fácilmente automatizado para lograr tasas de producción elevadas.

## **BIBLIOGRAFÍA**

KALPAJIAN, Serope. Manufactura, ingeniería y tecnología. México: Pearson, 2002, pp. 62-87. ISBN:9702601371.

OSTWALD, Phillip F. y BEGEMAN, Myron L. Procesos de manufactura. México: Compañía editorial continental, 1996, pp. 123-151. ISBN:9682602564.

CAMBRIDGE@, 2003. Estudio del proceso de soldadura por fricción elaborado por la Universidad de Cambridge, [En línea]. México.[Citada en Marzo de 2007]. Disponible en:<<http://www.msm.cam.ac.uk/phasetrans/2003/FSW/aaa.html>>.

CIMEC@, 2005. Friction stir welding (FSW), modelado tridimensional, flujo, temperatura, soldaduras de aluminio a tope. [En línea]. México. [Citada en Marzo de 2007]. Disponible en:<<http://www.cimec.org.ar/ojs/index.php/mc/article/view/183/163>>.

NRC@, 2006. Objetivos, principios y ventajas de la soldadura por fricción.[En línea]. Madrid, España. [Citada en Marzo de 2007]. Disponible en:<[http://imi.cnrcnrc.gc.ca/Carrefour\\_d\\_informations/Factsheets/cta\\_fsw\\_e.html](http://imi.cnrcnrc.gc.ca/Carrefour_d_informations/Factsheets/cta_fsw_e.html)>.

PROQUEST4@,2007. Distribución del límite de grano en la zona afectada por el calor en el proceso de soldadura por fricción. [En línea].USA. [Citada en Marzo de 2007]. Disponible en:<<http://proquest.umi.com/pqdweb?index=19&did=1323862711&SrchMode=1&sid=14&Fmt=6&VInst=P ROD&VType=PQD&RQT=309&VName=PQD&TS=1191351329&clientId=65927>>.

SAE@, 2005. Modelación termomecánica de un proceso de soldadura por fricción. [En línea]. Valencia, España. [Citada en Marzo de 2007]. Disponible en: <<http://www.sae.org/technical/papers/2006-01-1392>>.

## TÍTULOS PUBLICADOS EN ESTA COLECCIÓN

Copia disponible en: [www.eafit.edu.co/investigacion](http://www.eafit.edu.co/investigacion)

Cuaderno 1 – Marzo 2002

*SECTOR BANCARIO Y COYUNTURA ECONÓMICA  
EL CASO COLOMBIANO 1990 – 2000*

Alberto Jaramillo, Adriana Ángel Jiménez,  
Andrea Restrepo Ramírez, Ana Serrano Domínguez y  
Juan Sebastián Maya Arango

Cuaderno 2 – Julio 2002

*CUERPOS Y CONTROLES, FORMAS DE  
REGULACIÓN CIVIL. DISCURSOS Y PRÁCTICAS  
EN MEDELLÍN 1948 – 1952*

Cruz Elena Espinal Pérez

Cuaderno 3 – Agosto 2002

*UNA INTRODUCCIÓN AL USO DE LAPACK*

Carlos E. Mejía, Tomás Restrepo y Christian Trefftz

Cuaderno 4 – Septiembre 2002

*LAS MARCAS PROPIAS DESDE  
LA PERSPECTIVA DEL FABRICANTE*

Belisario Cabrejos Doig

Cuaderno 5 – Septiembre 2002

*INFERENCIA VISUAL PARA LOS SISTEMAS  
DEDUCTIVOS LBPCO, LBPC Y LBPO*

Manuel Sierra Aristizábal

Cuaderno 6 – Noviembre 2002

*LO COLECTIVO EN LA CONSTITUCIÓN  
DE 1991*

Ana Victoria Vásquez Cárdenas,  
Mario Alberto Montoya Brand

Cuaderno 7 – Febrero 2003

*ANÁLISIS DE VARIANZA DE LOS BENEFICIOS  
DE LAS EMPRESAS MANUFACTURERAS EN  
COLOMBIA,  
1995 – 2000*

Alberto Jaramillo (Coordinador),  
Juan Sebastián Maya Arango, Hermilson Velásquez  
Ceballos, Javier Santiago Ortiz,  
Lina Marcela Cardona Sosa

Cuaderno 8 – Marzo 2003

*LOS DILEMAS DEL RECTOR: EL CASO DE LA  
UNIVERSIDAD EAFIT*

Álvaro Pineda Botero

Cuaderno 9 – Abril 2003

*INFORME DE COYUNTURA: ABRIL DE 2003*  
Grupo de Análisis de Coyuntura Económica

Cuaderno 10 – Mayo 2003

*GRUPOS DE INVESTIGACIÓN*

Escuela de Administración  
Dirección de investigación y Docencia

Cuaderno 11 – Junio 2003

*GRUPOS DE INVESTIGACIÓN ESCUELA DE  
CIENCIAS Y HUMANIDADES, ESCUELA DE  
DERECHO, CENTRO DE IDIOMAS Y  
DEPARTAMENTO DE DESARROLLO ESTUDIANTIL*

Dirección de investigación y Docencia

Cuaderno 12 – Junio 2003

*GRUPOS DE INVESTIGACIÓN –  
ESCUELA DE INGENIERÍA*

Dirección de investigación y Docencia

Cuaderno 13 – Julio 2003

**PROGRAMA JÓVENES INVESTIGADORES –  
COLCIENCIAS: EL ÁREA DE LIBRE COMERCIO DE  
LAS AMÉRICAS Y  
LAS NEGOCIACIONES DE SERVICIOS**

Grupo de Estudios en Economía y Empresa

Cuaderno 14 – Noviembre 2003

**BIBLIOGRAFÍA DE LA NOVELA COLOMBIANA**

Álvaro Pineda Botero, Sandra Isabel Pérez,  
María del Carmen Rosero y María Graciela Calle

Cuaderno 15 – Febrero 2004

**PUBLICACIONES Y PONENCIA 2003**

Dirección de investigación y Docencia

Cuaderno 16 – Marzo 2004

**LA APLICACIÓN DEL DERECHO EN LOS SISTEMAS  
JURÍDICOS CONSTITUCIONALIZADOS**

Gloria Patricia Lopera Mesa

Cuaderno 17 – Mayo 2004

**PRODUCTOS Y SERVICIOS FINANCIEROS A GRAN  
ESCALA PARA LA MICROEMPRESA: HACIA UN  
MODELO VIABLE**

Nicolás Ossa Betancur

Cuaderno 18 – Mayo 2004

**ARTÍCULOS RESULTADO DE LOS PROYECTOS DE  
GRADO REALIZADOS POR LOS ESTUDIANTES  
DE INGENIERÍA DE PRODUCCIÓN QUE SE  
GRADUARON EN EL 2003**

Departamento de Ingeniería de Producción

Cuaderno 19 – Junio 2004

**ARTÍCULOS DE LOS PROYECTOS DE GRADO  
REALIZADOS POR LOS ESTUDIANTES DE  
INGENIERÍA MECÁNICA QUE SE GRADUARON EN  
EL AÑO 2003**

Departamento de Ingeniería Mecánica

Cuaderno 20 – Junio 2004

**ARTÍCULOS RESULTADO DE LOS PROYECTOS DE  
GRADO REALIZADOS POR LOS ESTUDIANTES DE  
INGENIERÍA DE PROCESOS QUE SE GRADUARON  
EN EL 2003**

Departamento de Ingeniería de Procesos

Cuaderno 21 – Agosto 2004

**ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS DE LA AVENIDA  
TORRENCIAL DEL 31 DE ENERO DE 1994 EN LA  
CUENCA DEL RÍO FRAILE Y  
SUS FENÓMENOS ASOCIADOS**

Juan Luis González, Omar Alberto Chavez,  
Michel Hermelín

Cuaderno 22 – Agosto 2004

**DIFERENCIAS Y SIMILITUDES EN LAS TEORÍAS  
DEL CRECIMIENTO ECONÓMICO**

Marleny Cardona Acevedo, Francisco Zuluaga Díaz,  
Carlos Andrés Cano Gamboa,  
Carolina Gómez Alvis

Cuaderno 23 – Agosto 2004

**GUIDELINES FOR ORAL ASSESSMENT**

Grupo de investigación Centro de Idiomas

Cuaderno 24 – Octubre 2004

**REFLEXIONES SOBRE LA INVESTIGACIÓN  
DESDE EAFIT**

Dirección de investigación y Docencia

Cuaderno 25 – Septiembre 2004

**LAS MARCAS PROPIAS DESDE  
LA PERSPECTIVA DEL CONSUMIDOR FINAL**

Belisario Cabrejos Doig

Cuaderno 26 – Febrero 2005

**PUBLICACIONES Y PONENCIAS -2004-**

Dirección de investigación y Docencia



Cuaderno 27 – Marzo 2005

***EL MERCADEO EN LA INDUSTRIA DE LA CONFECCIÓN – 15 AÑOS DESPUÉS -***

Belisario Cabrejos Doig

Cuaderno 28 – Abril 2005

***LA SOCIOLOGÍA FRENTE A LOS ESPEJOS DEL TIEMPO: MODERNIDAD, POSTMODERNIDAD Y GLOBALIZACIÓN***

Miguel Ángel Beltrán, Marleny Cardona Acevedo

Cuaderno 29 – Abril 2005

***“OXIDACIÓN FOTOCATALÍTICA DE CIANURO”***

Grupo de investigación Procesos Ambientales y Biotecnológicos -GIPAB-

Cuaderno 30 – Mayo 2005

***EVALUACIÓN A ESCALA DE PLANTA PILOTO DEL PROCESO INDUSTRIAL PARA LA OBTENCIÓN DE ACEITE ESENCIAL DE CARDAMOMO, BAJO LA FILOSOFÍA “CERO EMISIONES”***

Grupo de investigación Procesos Ambientales y Biotecnológicos -GIPAB-

Cuaderno 31 – Junio 2005

***LA DEMANDA POR FORMACIÓN PERMANENTE Y CONSULTORÍA UNIVERSITARIA***

Enrique Barriga Manrique

Cuaderno 32 – Junio 2005

***ARTÍCULOS DE LOS PROYECTOS DE GRADO REALIZADOS POR LOS ESTUDIANTES DE INGENIERÍA MECÁNICA QUE SE GRADUARON EN EL AÑO 2004***

Escuela de Ingeniería

Departamento de Ingeniería Mecánica

Cuaderno 33 – Julio 2005

***PULVERIZACIÓN DE COLORANTES NATURALES POR SECADO POR AUTOMIZACIÓN***

Grupo de investigación Desarrollo y

Diseño de Procesos -DDP-

Departamento de Ingeniería de Procesos

Cuaderno 34 – Julio 2005

***“FOTODEGRADACIÓN DE SOLUCIONES DE CLOROFENOL-CROMO Y TOLUENO-BENCENO UTILIZANDO COMO CATALIZADOR MEZCLA DE DIÓXIDO DE TITANIO (TiO<sub>2</sub>), BENTONITA Y CENIZA VOLANTE”***

Grupo de investigación Procesos Ambientales y Biotecnológicos -GIPAB-

Edison Gil Pavas

Cuaderno 35 – Septiembre 2005

***HACIA UN MODELO DE FORMACIÓN CONTINUADA DE DOCENTES DE EDUCACIÓN SUPERIOR EN EL USO PEDAGÓGICO DE LAS TECNOLOGÍAS DE INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN***

Claudia María Zea R., María del Rosario Atuesta V., Gustavo Adolfo Villegas L., Patricia Toro P., Beatriz Nicholls E., Natalia Foronda V.

Cuaderno 36 – Septiembre 2005

***ELABORACIÓN DE UN INSTRUMENTO PARA EL ESTUDIO DE LOS PROCESOS DE CAMBIO ASOCIADOS CON LA IMPLANTACIÓN DEL TPM EN COLOMBIA***

Grupos de investigación:

Grupo de Estudios de la Gerencia en Colombia

Grupo de Estudios en Mantenimiento Industrial (GEMI)

Cuaderno 37 – Septiembre 2005

***PRODUCTOS Y SERVICIOS FINANCIEROS A GRAN ESCALA PARA LA MICROEMPRESA COLOMBIANA***

Nicolás Ossa Betancur

Grupo de investigación en Finanzas y Banca

Área Microfinanzas

Cuaderno 38 – Noviembre 2005

***PROCESO “ACOPLADO” FÍSICO-QUÍMICO Y BIOTECNOLÓGICO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CONTAMINADAS CON CIANURO***

Grupo de investigación Procesos Ambientales y

Biotecnológicos -GIPAB-

Cuaderno 39 – Febrero 2006

**LECTURE NOTES ON NUMERICAL ANALYSIS**

Manuel Julio García R.

Department of Mechanical Engineering

Cuaderno 40 – Febrero 2006

**MÉTODOS DIRECTOS PARA LA SOLUCIÓN DE SISTEMAS DE ECUACIONES LINEALES SIMÉTRICOS, INDEFINIDOS, DISPERSOS Y DE GRAN DIMENSIÓN**

Juan David Jaramillo Jaramillo, Antonio M. Vidal Maciá, Francisco José Correa Zabala

Cuaderno 41- Marzo 2006

**PUBLICACIONES, PONENCIAS, PATENTES Y REGISTROS 2005**

Dirección de investigación y Docencia

Cuaderno 42- Mayo 2006

**A PROPÓSITO DE LA DISCUSIÓN SOBRE EL DERECHO PENAL “MODERNO” Y LA SOCIEDAD DEL RIESGO**

Diana Patricia Arias Holguín

Grupo de Estudios Penales (GEP)

Cuaderno 43- Junio 2006

**ARTÍCULOS DE LOS PROYECTOS DE GRADO REALIZADOS POR LOS ESTUDIANTES DE INGENIERÍA MECÁNICA QUE SE GRADUARON EN EL AÑO 2005**

Departamento de Ingeniería Mecánica  
Escuela de Ingeniería

Cuaderno 44- Junio 2006

**EL “ACTUAR EN LUGAR DE OTRO” EN EL CÓDIGO PENAL COLOMBIANO, ÁMBITO DE APLICACIÓN Y PROBLEMAS MÁS RELEVANTES DE LA FÓRMULA DEL ART. 29 INCISO 3**

Susana Escobar Vélez

Grupo de Estudios Penales (GEP)

Cuaderno 45- Septiembre 2006

**ARTÍCULOS DE LOS PROYECTOS DE GRADO REALIZADOS POR LOS ESTUDIANTES DE INGENIERÍA DE DISEÑO DE PRODUCTO QUE SE GRADUARON EN EL AÑO 2004 Y EN EL 2005-1**

Departamento de Ingeniería de Diseño de Producto  
Escuela de Ingeniería

Cuaderno 46- Octubre 2006

**COMENTARIOS A VISIÓN COLOMBIA II CENTENARIO: 2019**

Andrés Ramírez H., Mauricio Ramírez Gómez y Marleny Cardona Acevedo

*Profesores del Departamento de Economía*

Antonio Barboza V., Gloria Patricia Lopera M.,

José David Posada B. y José A. Toro V.

*Profesores del Departamento de Derecho*

Carolina Ariza Z. – *Estudiante de Derecho*

Saúl Echavarría Yepes-*Departamento de Humanidades*

Cuaderno 47- Octubre 2006

**LA DELINCUENCIA EN LA EMPRESA: PROBLEMAS DE AUTORÍA Y PARTICIPACIÓN EN DELITOS COMUNES**

Grupo de Estudios Penales (GEP)

Maximiliano A. Aramburo C.

Cuaderno 48 – Octubre 2006

**GUIDELINES FOR TEACHING AND ASSESSING WRITING**

Grupo de investigación – Centro de Idiomas (GICI)

Ana Muñoz, Sandra Gaviria, Marcela Palacio

Cuaderno 49 – Noviembre 2006

**APLICACIÓN DE LOS SISTEMAS FOTOCATALÍTICOS PARA LA DESTRUCCIÓN DE COMPUESTOS ORGÁNICOS Y OTRAS SUSTANCIAS EN FUENTES HÍDRICAS**

Grupo de investigación Procesos Ambientales y Biotecnológicos -GIPAB-

Edison Gil Pavas, Kevin Molina Tirado

Cuaderno 50 – Noviembre 2006

***PROPUESTAS METODOLÓGICAS EN  
LA CONSTRUCCIÓN DE CAMPOS  
PROBLEMÁTICOS DESDE EL CICLO DE VIDA DE  
LAS FIRMAS Y EL CRECIMIENTO INDUSTRIAL DE  
LAS MIPYMES***

Grupo de Estudios Sectoriales y Territoriales

Departamento de Economía

Escuela de Administración

Marleny Cardona Acevedo

Carlos Andrés Cano Gamboa

Cuaderno 51 – Enero 2007

***PRODUCTO DE TELEPRESENCIA PARA  
LA EDUCACIÓN SUPERIOR EN  
EL ÁMBITO NACIONAL***

Departamento de Ingeniería de Sistemas

Departamento de Ciencias Básicas

Helmuth Treftz Gómez, Pedro Vicente Esteban Duarte

Andrés Quiroz Hernández, Faber Giraldo Velásquez

Edgar Villegas Iriarte

Cuaderno 52 – Febrero 2007

***PATRONES DE COMPRA Y USO DE VESTUARIO  
MASCULINO Y FEMENINO EN  
LA CIUDAD DE MEDELLÍN***

Departamento de Mercadeo

Belisario Cabrejos

Cuaderno 53 – Febrero 2007

***EL DEBATE SOBRE LA MODERNIZACIÓN  
DEL DERECHO PENAL***

Materiales de investigación

Grupo de investigación

Grupo de Estudios Penales (GEP)

Juan Oberto Sotomayor Acosta,

Diana María Restrepo Rodríguez

Cuaderno 54 – Marzo 2007

***ASPECTOS NORMATIVOS DE LA INVERSIÓN  
EXTRANJERA EN COLOMBIA: Una mirada a la luz  
de las teorías de las Relaciones Internacionales***

Pilar Victoria Cerón Zapata y

Grupo de investigación en Inversión Extranjera:

Sabina Argáez, Lina Arbeláez y Luisa Victoria Euse

Cuaderno 55 – Abril 2007

***PUBLICACIONES, PONENCIAS,  
PATENTES Y REGISTROS 2006***

Dirección de investigación y Docencia

Cuaderno 56 – Abril 2007

***CAPITAL HUMANO: UNA MIRADA DESDE  
LA EDUCACIÓN Y LA EXPERIENCIA LABORAL***

Marleny Cardona Acevedo, Isabel Cristina Montes

Gutiérrez, Juan José Vásquez Maya,

María Natalia Villegas González, Tatiana Brito Mejía

Semillero de investigación en Economía de EAFIT

–SIEDE–

Grupo de Estudios Sectoriales y Territoriales –ESyT–

Cuaderno 57 – Mayo 2007

***ESTADO DEL ARTE EN EL ESTUDIO DE  
LA NEGOCIACIÓN INTERNACIONAL***

María Alejandra Calle

Departamento de Negocios Internacionales

Escuela de Administración

Cuaderno 58 – Diciembre 2008

***ARTÍCULOS DE LOS PROYECTOS DE GRADO  
REALIZADOS POR LOS ESTUDIANTES DE  
INGENIERÍA MECÁNICA QUE SE GRADUARON EN  
EL AÑO 2006***

Escuela de Ingeniería

Departamento de Ingeniería Mecánica

Cuaderno 59- Octubre 2007

**DESARROLLO DE NUEVOS PRODUCTOS (DNP)**

Jorge E. Devia Pineda, Ph.D.

Grupo de investigación Desarrollo y Diseño de

Procesos y Productos -DDP-

Departamento de Ingeniería de Procesos

Cuaderno 60- Marzo 2008

**ARTÍCULOS DE PROYECTOS DE GRADO  
REALIZADOS POR LOS ESTUDIANTES DE  
INGENIERÍA DE DISEÑO DE PRODUCTO QUE SE  
GRADUARON DESDE EL 2005-2 HASTA EL 2007-1**

Grupo de investigación en Ingeniería de Diseño

Cuaderno 61- Marzo 2008

**MEMORIAS CÁTEDRA ABIERTA TEORÍA  
ECONÓMICA**

Marleny Cardona Acevedo, Danny Múnera Barrera,  
Alberto Jaramillo Jaramillo, Germán Darío Valencia  
Agudelo, Sol Bibiana Mora Rendón

Cuaderno 62- Abril 2008

**PUBLICACIONES, PONENCIAS, PATENTES  
Y REGISTROS - 2007**

Dirección de investigación y Docencia

Cuaderno 63- Junio 2008

**PROYECTOS De investigación 2006**

Escuela de Ingeniería

Cuaderno 64- Junio 2008

**PROYECTOS DE GRADO  
INGENIERÍA DE SISTEMAS 2006-2007**

Ingeniería de Sistemas

Cuaderno 65- Junio 2008

**APLICACIÓN DE LA ELECTROQUÍMICA EN  
EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**

Grupo de investigación en Procesos Ambientales y  
Biotecnológicos

Línea de investigación: Procesos avanzados de  
Oxidación

Cuaderno 66- Junio 2008

**COMPARATIVE ANALYSES OF POLICIES,  
LEGAL BASIS AND REALITY OF SME  
FINANCING IN CHINA AND COLOMBIA**

Marleny Cardona A., Isabel Cristina Montes G.,

Carlos Andrés Cano G., Bei Gao

Grupo de Estudios Sectoriales y Territoriales –ESYT–

Departamento de Economía

Cuaderno 67- Septiembre 2008

**ARTÍCULOS DE LOS PROYECTOS DE GRADO  
REALIZADOS POR LOS ESTUDIANTES DE  
INGENIERÍA MECÁNICA QUE SE GRADUARON EN  
EL 2007**

Ingeniería Mecánica

Cuaderno 68- Septiembre 2008

**EL BANCO DE LAS OPORTUNIDADES  
DE MEDELLÍN**

**Caso de investigación**

Ernesto Barrera Duque

Grupo de investigación la Gerencia en Colombia

Cuaderno 69- Noviembre 2008

**LAS DIMENSIONES DEL EMPRENDIMIENTO  
EMPRESARIAL: LA EXPERIENCIA DE  
LOS PROGRAMAS CULTURA E Y  
FONDO EMPRENDER EN MEDELLÍN**

Marleny Cardona A., Luz Dinora Vera A.,

Juliana Tabares Quiroz

Grupo de Estudios Sectoriales y Territoriales

–ESYT–

Departamento de Economía

Cuaderno 70- Diciembre 2008

**LA INSERCIÓN DE LA REPÚBLICA POPULAR  
CHINA EN EL NORESTE ASIÁTICO DESDE  
LOS AÑOS 1970: ¿HACIA UN NUEVO  
REGIONALISMO?**

**Informe Final Proyecto de investigación**

Adriana Roldán Pérez, Melissa Eusse Giraldo,

Luz Elena Hoyos Ramírez y Carolina Duque Tobón

Cuaderno 71 - Marzo 2009

**PROYECTOS DE GRADO 2008**

*Artículos*

Escuela de Ingeniería

Departamento de Ingeniería de Procesos

Cuaderno 72 - Abril 2009

**PUBLICACIONES, PONENCIAS, PATENTES,  
REGISTROS Y EMPRENDIMIENTOS 2008**

Dirección de investigación y Docencia

Universidad EAFIT

Cuaderno 73 - Mayo 2009

**EL CASO COCA NASA.**

*Análisis Jurídico de la política del Estado*

*Colombiano en materia de comercialización de  
alimentos y bebidas derivados de hoja de coca  
producidos por comunidades indígenas*

Nicolás Ceballos Bedoya

Grupo de investigación "Justicia y Conflicto"

Escuela de Derecho

Cuaderno 74 - Junio 2009

**ARTÍCULOS DE PROYECTO DE GRADO  
REALIZADOS POR LOS ESTUDIANTES  
DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**QUE SE GRADUARON EN EL 2008**

Ingeniería Mecánica

