



## **Cuadernos de Investigación**

# **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  
Universidad EAFIT

**ISSN 1692-0694. Medellín. Agosto de 2007. Documento 58 - 082007**

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

## **TABLA DE CONTENIDO**

Comportamiento Estructural de Prótesis Fijas Implantosoportadas por medio de Elementos Finitos .....	1
Aplicación del Sistema de Medición de la Conicidad Equivalente en Sistemas Férreos a la Luz de la Norma UIC519. Geometría de Contacto .....	11
Determinación de la Conicidad Equivalente del Sistema Vía Vehículo de una Línea Férrea .....	19
Herramientas de Soporte Virtual para el Aprendizaje en Dibujo Técnico con la Metodología T.I.C. ....	24
Incremento de la Eficiencia Operacional del Ensamble de Motocicletas Soportado en el Pilar de Mejoras Enfocadas Propuesto por el TPM .....	31
Modelación de Confiabilidad Basada en la Medición de Síntomas del Sistema de Bombeo GEMI .....	39
Modelo para el Estudio del Proceso de Implantación del Mantenimiento Productivo Total en Empresas bajo un Escenario de Fusión .....	44
Desarrollo de un Plan de Mantenimiento Preventivo Basado en el Análisis FMECA y Monitoreo mediante el Software AM para un Sistema GEMI CMD Bombas .....	54
Simulación por Ordenador del Fenómeno de Fluencia durante el Proceso de Cocción en Piezas Fabricadas en Cerámica .....	58
Estudio de las Simulaciones de Monte Carlo Aplicadas a Confiabilidad en Mantenimiento .....	71
Diseño de un Elevador Mini Cargas .....	79
Diseño de un Robot Tipo Industrial para el Ensamble de los Componentes Eléctricos de una Luminaria –Análisis Dinámico y Cinemático- .....	84
Design and Construction of Rear Suspension Mechanism for a Down Hill Competition Mountain Bike .....	101
Diseño de un Sistema de Información de Mantenimiento para una Empresa de Fundición .....	111

Diseño y Fabricación de un Prototipo de Motor Stirling .....	117
Instrumento de Diagnóstico para conocer el Nivel de Implementación de TPM en la Industria .....	127
Guía para la Medición de la Efectividad Global del Equipo (EGE) y la Efectividad de la Planta (EGP) en la Industria .....	137
Viabilidad del Desarrollo Tecnológico para las Pinzas de una Rama Termofijadora, aplicado en una Empresa del Sector Textilero del Valle de Aburrá .....	146
Manual de Descripción y Catalogación de Elementos Mecánicos Tipo Válvula para el Control y la Regulación de Flujos .....	152
Implementación de la Plataforma de Diseño en Ingeniería Rhinoceros, en Eduardoño S.A. ....	160
Sistemas de Recolección de Aceites Residuales para Estaciones de Servicio y Servitecas, contribuyendo con el Cuidado y la Preservación del Medio Ambiente .....	168
Diseño de un Vehículo Todoterreno Monoplaza .....	177
Ubicación del Nivel de Gestión y Operación de Mantenimiento con el fin de detectar Oportunidades en un Estrato Industrial del Área Metropolitana de la Ciudad de Medellín .....	181
Instalación de Poka Yoke en la Línea de Toyota Sofasa para llenado de Aceite de Transmisión y Diferencial	189
Sistema Inmovilizador Vehicular Vía UHF .....	197
Diseño y Construcción de un Audímetro .....	201
Estudio del Material para Fabricar un Recipiente a Presión a Través de Software CAD/CAM/CAE .....	207
Estudio de Factibilidad para la Implementación del Servicio de Suministro de Gas Natural Vehicular en una Estación de Gasolina .....	221
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 Flexibles .....	229
Rediseño y Construcción de un Modelo Experimental de un Molino de Viento Tipo Savonius .....	237
Caracterización de una Turbina del Tipo Francis Utilizada por una Empresa Local de Generación de Energía .....	241

Estudio de Prefactibilidad de una Línea de Puertas para Vehículos Renault en la Planta de Sofasa - Envigado .....	250
Implementación del Programa Evaluador Cmd1 en el Sistema de Información de Mantenimiento de la Empresa Textil Fabricato Tejióndor .....	255
Elaboración de un Plan de Mantenimiento Preventivo para el Sistema de Bombeo del Grupo Gemi Basado en el Análisis FMECA y en Mediciones CMD .....	2 60
Diseño y Fabricación de Gabinetes para Medidores de Gas en Poliéster Reforzado con Fibra de Vidrio por el Sistema de Inyección por Molde Cerrado “RTM” .....	265
Diseño y Fabricación de una Máquina Moleteadora de Manubrios para Motocicleta .....	275
Caracterización de los Componentes de Suspensión de los Vehículos de Pasajeros del Metro de Medellín	283
Aproximación a un Modelo de Medición del Rendimiento para las Actividades Claves en el Proceso de Ensamble en AKT Motos .....	289
Sistematización de Fresadora de Piñón Recto .....	301
Diseño de una Máquina para Fabricación de Productos de Gran Volumen en Polipropileno Reciclado .....	307
Implementación de Índices CMD1 en la Engomadora Teñidora Sucker Muller de Fabricato Tejióndor S.A.	313
Caracterización de Materiales Compuestos mediante el Método de Diseño de Experimentos .....	319
Estudio Teórico-Práctico del Sistema de Moldeo Cerrado por Infusión con Vacío y Contramolde Flexible de Silicona, para la Fabricación de Piezas en Poliéster Reforzado con Fibra de Vidrio .....	324
Diseño y Construcción de una Máquina para doblar Tubería Cuadrada y Redonda .....	332
Diseño de un Banco de Trabajo para Motocicletas .....	343
Resumen Estudio de Prefactibilidad de una Estación de Servicio Virtual de Gas Natural Vehicular .....	347
Estudio Actual de la Gestión de Mantenimiento de las Pymes del Sector Manufacturero con Vocación Exportadora del Valle de Aburrá .....	354
Estudios de Implementación de Gasolina Corriente +10% Alcohol Carburante en todos los Vehículos Renault Ensamblados en Sofasa para la Reducción de Costos y Mejoramiento de los Índices de Emisión de Gases	363



## **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 2006. La información de cada artículo, contiene el área de énfasis (Diseño en Sistemas Técnicos, Mantenimiento Industrial y Proyectos de Sistemas Técnicos), 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 2006. Each article contains information about the area of interest (Design of Technical Systems, Industrial Maintenance and Projects of Technical Systems), 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 y Proyecto de Sistemas Técnico, 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: AKT Motos, Mecánicos Unidos S.A., Fabricato Tejicóndor S.A., Sofasa, Empresas Públicas de Medellín, Eduardoño S.A., entre otras no menos importantes. Proyectos con un importante desarrollo como los titulados:

- **“Comportamiento estructural de prótesis fijas implantosoportadas por medio de elementos finitos”** de la ingeniera Juliana Muñoz Yepes, proyecto que ocupó el segundo puesto en el Concurso Nacional Otto de Greiff, Mejores trabajos de grado, Versión 9/2007.
- **“Aplicación del sistema de medición de la conicidad equivalente en sistemas férreos a la luz de la norma UIC519”**, realizado por el ingeniero Juan Pablo Tojancí Duque.
- **“Determinación de la conicidad equivalente del sistema vía vehículo de una línea férrea”**, realizado por el ingeniero David Orozco Álvarez.
- **“Herramientas de soporte virtual para el aprendizaje en dibujo técnico con la metodología TIC”**, del ingeniero David Agudelo Trujillo

Proyectos que fueron candidatizados como los mejores proyectos de grado del año 2006 y recibieron el reconocimiento de Mención de Honor por la Universidad EAFIT.

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**

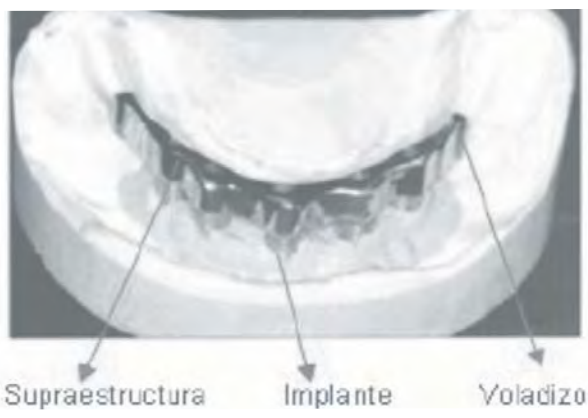
# **COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE PROTESIS FIJAS IMPLANTOSOPORTADAS POR MEDIO DE ELEMENTOS FINITOS**

**JULIANA MUÑOZ Y.**  
*jmunozye@eafit.edu.co*  
Departamento de Ingeniería Mecánica

**ÁREA DE ENFASIS**  
DISEÑO MECANICO

**ASESOR PRINCIPAL**  
SANTIAGO CORREA VELÉZ

**SECTOR BENEFICIADO**  
UNIVERSIDAD EAFIT



## **RESUMEN**

El propósito de este artículo es describir por medio de un modelo numérico tridimensional de elementos finitos el comportamiento estructural en la base de los pilares y en la supraestructura de diferentes diseños de prótesis fijas implantosoportadas con extensión distal bilateral cuando se someten a cargas que representen condiciones de mordida obtenidas por medio de un sensor de fuerza de mordida.

Para el análisis del diseño de una prótesis fija implantosoportada se hicieron dos estudios por elementos finitos. El primero tiene como propósito elaborar modelos simplificados de la supraestructura y los implantes mediante elementos tipo viga. Con este modelo se analiza de manera rápida todas las disposiciones posibles para seis, cinco, cuatro y tres implantes ubicados en la zona interforaminal, la fuerza clusal se colocó en todas las piezas dentarias y se evaluaron tres longitudes de voladizo, con el fin de determinar el número de implantes necesarios y su posición, la longitud óptima de la extensión del voladizo y el comportamiento estructural de la supraestructura y los implantes.

Para cumplir con este objetivo fue necesario el estudio de la geometría del arco dental, siendo este la base para la forma de la supraestructura y la posición de los implantes.

El segundo estudio consiste en la modelación geométrica de la mandíbula de un paciente totalmente edéntulo. Partiendo de esta geometría se desarrolla un modelo de 2 elementos finitos que tiene en cuenta factores como las propiedades del hueso mandibular, la inserción de los implantes en el hueso y la sujeción de la supraestructura a los implantes. Además, las condiciones de contorno simulan adecuadamente la condición real de mordida, tanto a nivel de fuerza oclusal como la restricción en desplazamientos durante la oclusión producida por los músculos de la masticación, en forma pasiva. Para ello se extrae del estudio anterior la configuración más óptima que distribuye adecuadamente los esfuerzos producidos por la fuerza oclusal, para poder determinar el comportamiento biomecánico de toda la restauración.

## ABSTRACT

The intention of this article is to describe, by using a three-dimensional numerical model of finite element analysis, the structural behavior of the base of the pillars and the superstructure of different designs of implant-supported fixed prosthetics with bilateral distal extension when put under bite load conditions obtained by bite sensors.

Two studies by finite element analysis are used for the testing of the design of a fixed prosthetic implant support. First, it is intended to develop simplified models of the superstructure and implants of elements type beam. With this model, one can analyze quickly all the possible dispositions of six, five, four and three implants located in the interforaminal zone. The occlusal force placed on all the dental pieces and three lengths of projection were evaluated, with the purpose of determining the number and positioning of implants, the optimal length of the extension of the projection, and structural behavior of the superstructure when implanted. In order to fulfill this objective, geometrical study of the dental arc was necessary, because it formed the base of the superstructure and dictated the position of the superstructure.

The second study totally consisted of the geometric modeling of an edentate patient's jaw. Beginning with this geometry a model of finite elements is developed that considered factors such as the properties of the mandible bone, the insertion point of 3 implant in the bone and the subjection of the superstructure. In addition, the conditions of contour suitably simulated the real condition of bite, with many levels of occlusal forces like the restriction of displacements during the occlusion produced by muscles of the mastication, in passive form. The most optimal configuration was extracted from the previous study using the biomechanical behavior of the entire restoration. This configuration suitably distributed the occlusal forces produced.

## PALABRAS CLAVE

Análisis de elementos finitos, bioingeniería, supraestructura, prótesis mandibulares implanto-soportadas, longitud de voladizo.

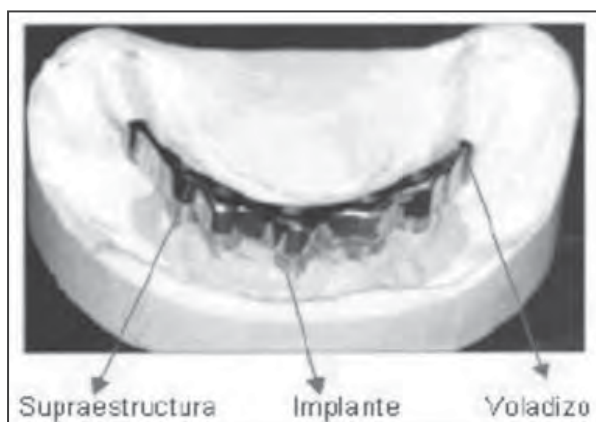
## INTRODUCCIÓN

La pérdida de los dientes implica cambios psicológicos, estéticos y funcionales para quien lo padece. Durante mucho tiempo la única opción de tratamiento para los pacientes completamente desdentados fue una prótesis total convencional removible.

El éxito de esta prótesis depende del soporte que ofrece el reborde óseo, que disminuye a través del tiempo debido a pérdida dental y sobrecarga funcional (Misch C.E, 1993).

Las prótesis fijas implanto-soportadas son otro tipo de restauración para pacientes totalmente edéntulos, su diseño por lo general se hace en forma empírica, basado en la experiencia clínica del odontólogo. En este tipo de prótesis hay entre otros, tres elementos importantes a considerar; los implantes (número, posición y tipo), (Ernest, Mallat, 2004). la supraestructura y las extensiones distales (voladizo), (Wegant RJ, Buró BA, 1993), (Ver Figura 1). La selección de las variables implicadas en el diseño de estos elementos han generado controversia en la literatura y su determinación se ha basado en el éxito clínico principalmente (Branemark Pi et al, 1995). La revisión de la literatura actual, ofrece múltiples valores y alternativas (Sertgöz A y Güevener S, 1996), pero hace falta una adecuada evaluación que permita entender el comportamiento biomecánico del sistema.

**FIGURA 1**  
**Componentes prótesis implanto soportada**



## METODOLOGÍA

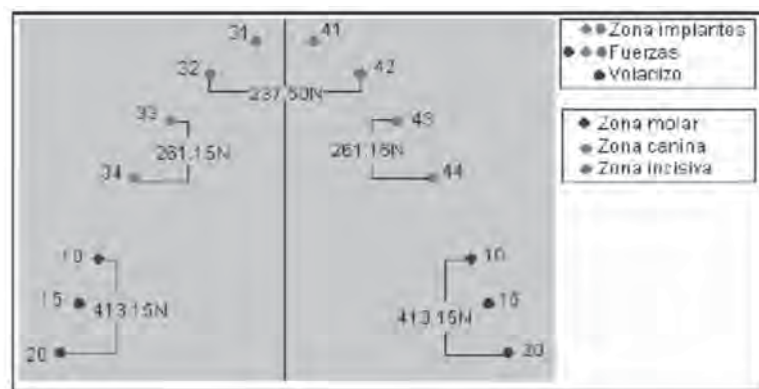
### ANÁLISIS DE LA SUPRAESTRUCTURA Y SUS VARIABLES

Para el análisis de la supraestructura y los implantes se encontró una ecuación polinómica de tercer grado que describe la forma del arco dental, tomando esta geometría como base para la modelación de la supraestructura, la ubicación de los implantes y la posición de las fuerzas

oclusales. Además se desarrollo un programa en ANSYS®10.0 para determinar el número de implantes necesarios y su posición, la longitud óptima de la extensión del voladizo y el comportamiento estructural de la supraestructura y los implantes.

Las variables que se tienen en cuenta para el desarrollo del programa son: el número de implantes que varia entre 3 y 6, la posición de los implantes y la posición de la fuerza de mordida (Ver Figura 2).

**FIGURA 2**  
Posición de los implantes y de la fuerza oclusal

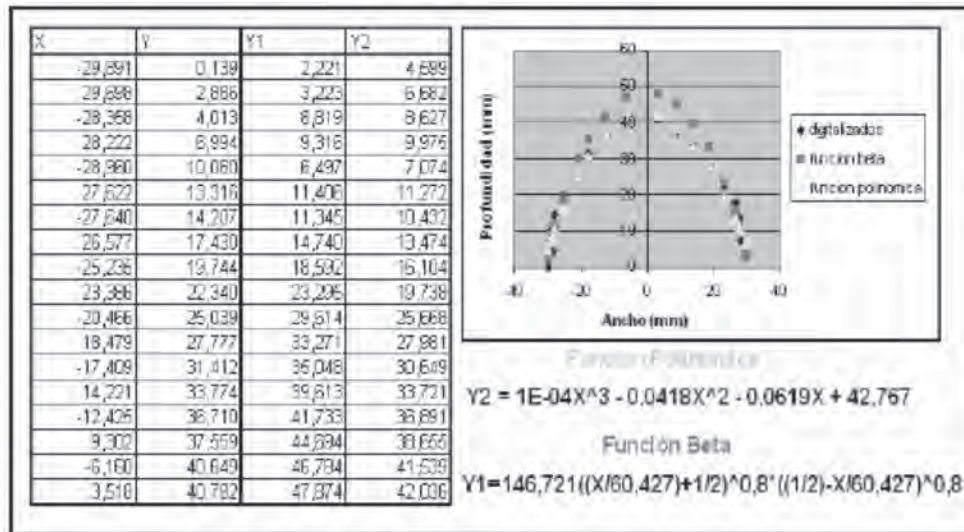


### GEOMETRÍA DE LOS IMPLANTES

Para hallar la ecuación que describe la geometría del arco dental, se realizó un estudio estadístico a determinada población (Stanley, Braun et al, 1998) y se halló una ecuación polinómica de tercer grado, que se ajusta mejor al arco dental que la función beta reportada en la literatura (Hassan, Noroozi et al, 2001). La supraestructura tiene una sección transversal uniforme de 4 mm de alto por 2 mm de ancho (Berrio, 2001), (Ver Figura 3).

Los implantes fueron cilíndricos, lisos y de hexágono externo, con 3.75 mm de diámetro y 7 mm de altura, la selección de la geometría de los implantes se basó en un adecuado diagnóstico de la cantidad, calidad y forma del reborde óseo.

**FIGURA 3**  
Gráfica del arco mandibular de la función beta y la función polinómica



**PROPIEDADES DEL MATERIAL**

El material empleado para los implantes es titanio, específicamente Ti-6Al-4V recocido y para la supraestructura es la aleación Au 2% Pd 80%, aleación comercial para supraestructuras. (Ver Tabla 1)

**TABLA 1**  
Propiedades del material

Material	E [MPa]	V	Syt [MPa]	Syc [MPa]	$\bar{\tau}_y$ [MPa]
Titanio ( Ti-6Al-4V)	113800	0,342	880	970	550
Aleación Au2% Pd80%	89500	0,33	1060	1060	

E: Módulo de elasticidad.

V: Módulo de Poisson.

Syt: Esfuerzo de fluencia a tensión.

Syc: Esfuerzo de fluencia a compresión.

$\tau_y$ : Resistencia al corte.

en cada nodo: traslaciones nodales en las direcciones x, y, z y rotaciones sobre los ejes x, y, z.

**CONDICIONES DE FRONTERA**

**Restricciones**

El modelo va a estar restringido en todos los grados de libertad en la base de los pilares de los implantes, al ser el numero y posición de los implantes variable, la posición de las restricciones lo será también, así a mayor numero de implantes la estructura tendrá mas apoyos.



## Fuerzas

La aplicación de la carga en cada una de las posiciones equivalentes a las piezas dentarias y cada uno de los voladizos se dividirá en tres zonas según un estudio previo (Zapata, U, et al, 2002), (Ver Figura 2).

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

Una vez cargados los parámetros del modelo se concluye que:

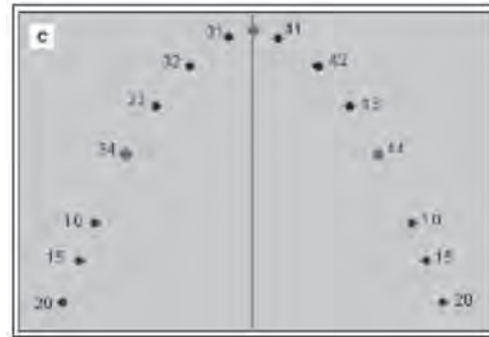
- La distribución de implantes se ve condicionada al voladizo, más que al número de implantes ubicados en la región interforaminal.
- La longitud de voladizo de 10 mm es viable para todas las restauraciones analizadas.
- La longitud de voladizo de 20 mm no es viable para ninguna restauración del tipo implanto soportada.
- La distribución mínima de implantes analizada, es decir dos implantes distales y uno central presenta resultados satisfactorios para longitudes de voladizo menores de 15 mm.

Debido a las limitaciones de los modelo de vigas los resultados se verificaron mediante un estudio detallado, que simula condiciones más reales en cuanto a geometría, propiedades de materiales y condiciones de mordida.

## SELECCIÓN DE PARÁMETROS PARA MODELO DETALLADO DE ELEMENTOS FINITOS

Con base en los análisis anteriores se seleccionó el diseño de la supraestructura que será modelado posteriormente en una mandíbula edéntula total. La disposición de implantes seleccionada es 3 implantes ubicados en las posiciones 34, 44 y en la línea media incisal y con una longitud de voladizo igual a 15 mm (Ver Figura 4).

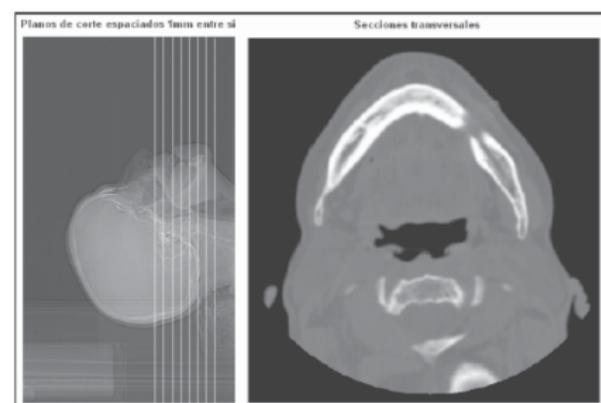
**FIGURA 4**  
Mejor disposiciones para tres implantes



## MODELACIÓN GEOMÉTRICA

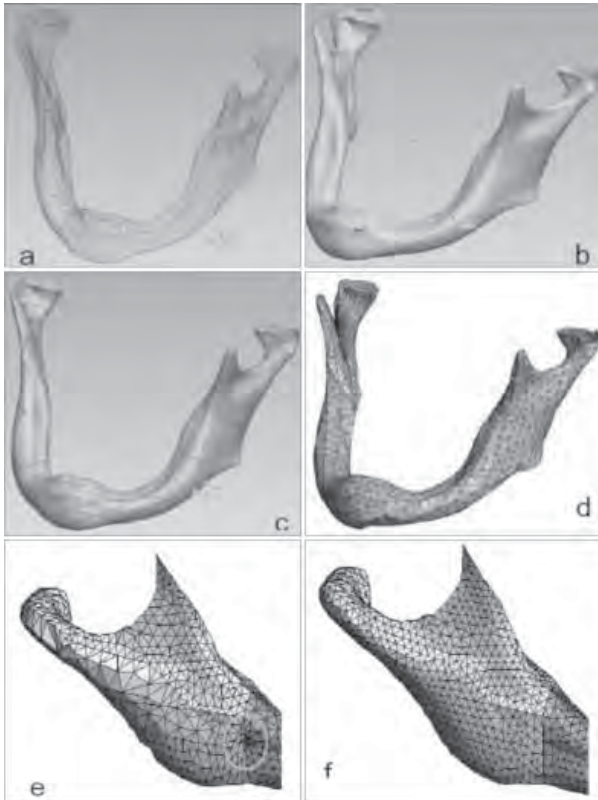
La modelación geométrica de la mandíbula se inicio con un software de procesamiento de imágenes biomédicas, desarrollado en Matlab 6.5®, que provee la nube de puntos en coordenadas espaciales de la estructura mandibular (Ver Figura 5), para posteriormente la utilización del software comercial de modelación geométrica ProEngineer Wildfire® y GID 8.0®, que facilitan la construcción y adecuación de las superficies de cada sólido (Ver Figura 6), la congruencia entre sus interfaces y la asignación de propiedades mecánicas según la zona y el tipo de hueso (Ver Figura 7), proporcionando un mallado estructurado que finalmente puede ser utilizado en software de análisis de elementos finitos. (Ver Figura 10), (Isaza, J.F, et al, 2005)

**FIGURA 5**  
Planos de corte y secciones transversales de la tomografía



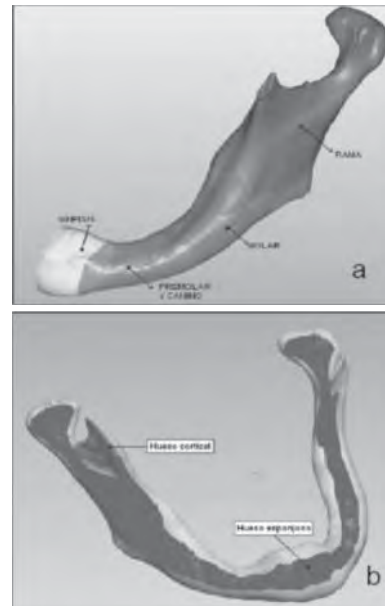
**FIGURA 6**

- a) Nube de puntos    b) Reconstrucción 3D
- c) Generación de superficies    d) Faceteado
- e) y f) Corrección de las superficies



**FIGURA 7**

- a) Volúmenes de la mandíbula, diferenciados por sus propiedades mecánicas
- b) Hueso cortical y Hueso esponjoso

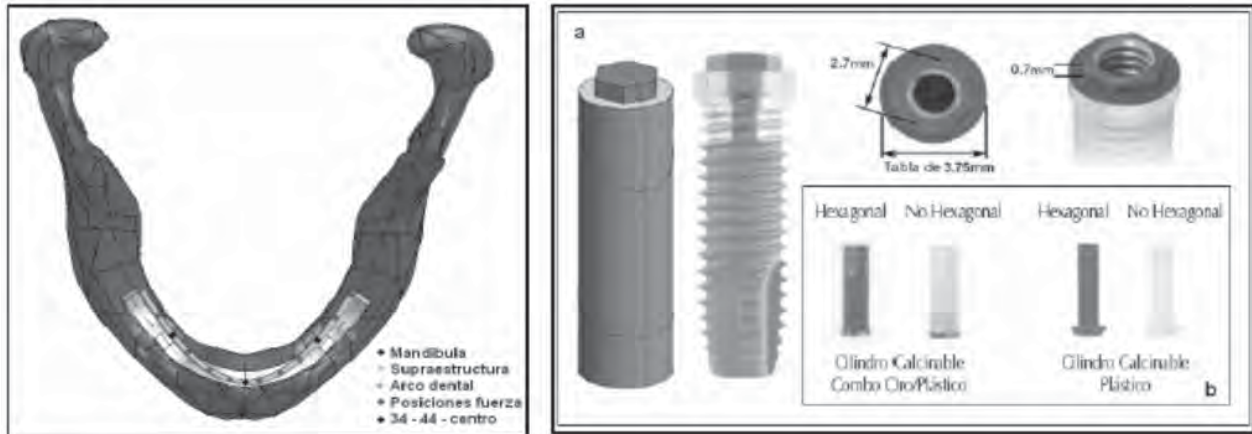


### UBICACIÓN, SELECCIÓN Y MODELACIÓN DE LOS IMPLANTES DENTRO DE LA MANDÍBULA

La ubicación exacta de los implantes es 34,44, centro, adicionalmente se superpuso el arco dental hallado en el primer estudio, sobre la geometría del maxilar completo, para verificar la el ajuste de la función polinómica hallada anteriormente. El tipo y diseño del implante se seleccionó con base en la carta de comercial de la casa comercial lifecore Biomedical. Se eligieron implantes maquinados lisos y de hexágono externo que van conectados a un aditamento especial llamado UCLA (Ver Figura 9), el implante del centro fue de 3.75mm de diámetro y 13mm de longitud, y los implantes 34 y 44 de 3.75mm de diámetro y 8mm de longitud (Ver Figura 8).



**FIGURA 8**  
Ubicación y tipo de implantes

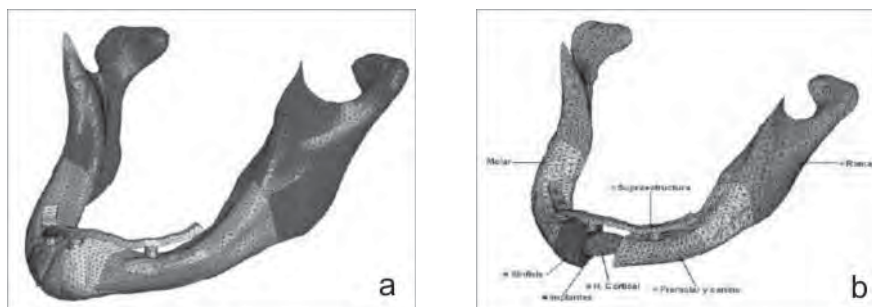


**FIGURA 9**  
Geometría de la prótesis fija implantosoportada



Una vez organizada la selección de las superficies respectivas a cada volumen, se malló toda la estructura en GID 8.0® y se llevó a cabo su exportación a ANSYS 10.0®, (ver Figura 10).

**FIGURA 10**  
a) Generación de la malla en GID 8.0®,  
b) Malla de elementos finitos y propiedades del material en ANSYS 10.0®



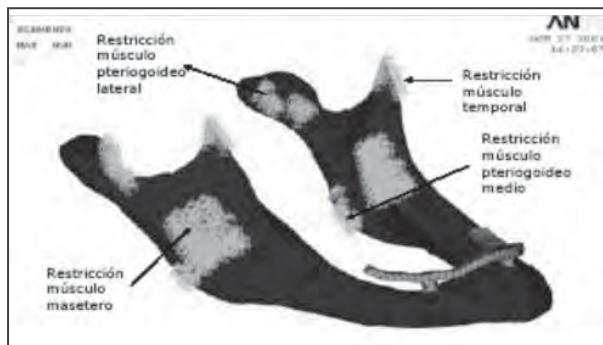
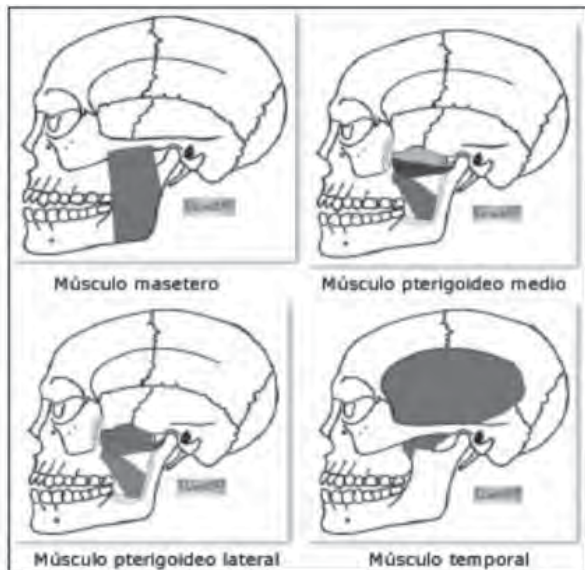
## MODELO DE ELEMENTOS FINITOS

Una vez realizada la importación de la geometría mallada, desde ANSYS 10.0®, se asignaron las propiedades mecánicas a cada material (Ver tabla 2), (Ver Figura 9), las restricciones (Ver Figura 11) y las fuerzas externas del modelo (Ver Figura 2). La discretización de los diferentes componentes del modelo se realizó con tetraedros sólidos de 10 nodos.

**TABLA 2**  
Propiedades mecánicas del hueso, la supraestructura y los implantes

Material	Módulo de Young (E) GPa.			Módulo de Poisson ( $\nu$ )			Módulo de Rigidez (G) GPa.		
	X	Y	Z	XY	YZ	XZ	XY	YZ	XZ
H. Cortical									
Sínfisis	20,5	11,3	14,9	0,155	0,315	0,135	4,9	4,1	6,2
Canino, Premolar	27,0	10,3	14,2	0,115	0,295	0,1	5,1	3,5	6,2
Molares	19,8	10,5	13,9	0,29	0,2	0,275	5,8	4,3	6,2
Rama	20,1	10,5	14,4	0,265	0,255	0,27	4,9	4,1	6,3
H. Esponjoso	0,943	0,316	0,390	0,115	0,295	0,1	0,13	0,09	0,16
Titanio (Ti-6Al-4V)	113,8			0,342			-		
Aleación Au2% Pd80%	89,5			0,33			-		

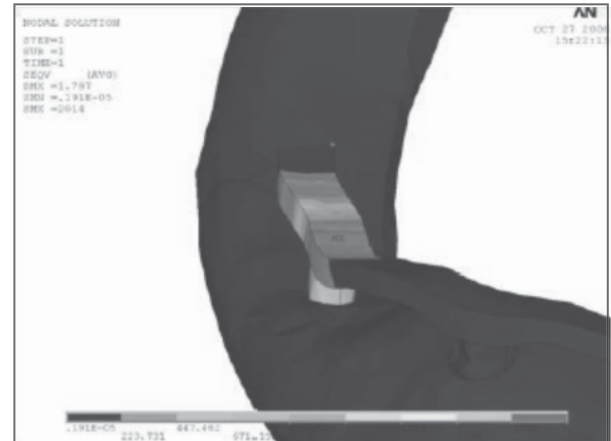
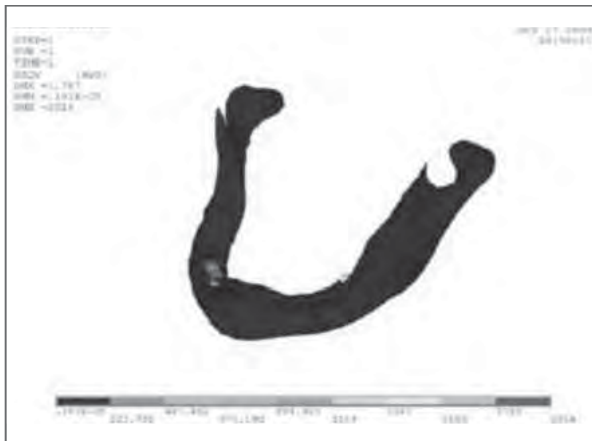
**FIGURA 11**  
Músculos de la masticación y restricciones del modelo



(Tie Y, et al, 2006)

Para llevar a cabo el análisis de resultados se utilizó el criterio de falla de Von Mises para la disposición de tres implantes (34 – 44 – centro) en cada posición de la fuerza de mordida, (Ver Figura 12).

**FIGURA 12**  
**Esfuerzo de Von Mises para fuerza oclusal en 15 mm**



## CONCLUSIONES

Se analizan los resultados de esfuerzos de Von Mises en los implantes, la superestructura y el hueso mandibular ante las fuerzas oclusales aplicadas en voladizo de 15 mm, 10 mm y sobre las piezas dentarias y se concluye que:

- La disposición de tres implantes, que parece la más óptima en cuanto a minimización de número de implantes no arroja resultados adecuados cuando la carga se encuentra en el voladizo de la supraestructura. Este resultado contradice el modelo simplificado, ya que éste muestra que para un voladizo de 10 mm el comportamiento de la restauración es adecuado.
- Este estudio demuestra que modelos de vigas o en simplificaciones importantes de geometría no son recomendables debido al gran número de variables que intervienen y que deben ser tenidas en consideración.
- De los resultados obtenidos se concluye que una disposición de 4 implantes en las posiciones 34-44-32-42 resulta la más óptima en cuanto a costo. En cuanto a longitud de voladizo se recomienda que este sea menor a 15 mm en cualquier caso. Como trabajo futuro debe abordarse la modelación detallada por

elementos finitos de esta disposición para comprobar dichos resultados.

- Se desarrolló la modelación geométrica partiendo de imágenes tomográficas de un paciente edéntulo. A este respecto se concluye que si bien los adelantos tecnológicos disponibles en materia de reconstrucción tridimensional permiten una rápida transición desde las mágenes hasta el modelo CAD, es necesario un trabajo detallado a posteriori que adapte la geometría obtenida a formatos útiles para el análisis por elementos finitos, de forma que se obtengan mallas uniformes, sin distorsión en los elementos y con la continuidad necesaria para no producir matrices singulares que imposibiliten el análisis.

## BIBLIOGRAFÍA

- ANUSAVICE, K.J. et al. (1986). "Influence of Metal Thickness on Stress Distribution in Metal-Ceramic Crowns". En: Dent Res. Vol. 65, No. 9 pp 1173-1178.
- Ansys. Última actualización 2005. Versión 10.0. Licencia número: 00338873.
- BRANEMARK Pi et al. (1995). "Ten year survival rates of fixed prostheses on four or six implants ad modum

- Branemak in full edentulism". En: Clin Oral Implants Res. Vol. 4 pp. 227-31.
- BÓVEDA, Carlos. Departamento de endodoncia. Pagina en Internet. Citada en: mayo 2 del 2006. www.carlosboveda.com.
- DECHOW, P.C, et al. (1992). "Elastic properties of the human mandibular corpus". En: Goldstein SA, Carlson DS (eds). Bone biodynamics in orthodontic and orthopaedic treatment. Ann Arbor: Craniofacial Growth Series, Center of Human Growth and Development. pp. 299-314.
- ERNEST, Mallat.( 2004) Prótesis parcial removible y sobredentaduras. Madrid España: Ed. El Sevier.
- GID®. The personal pre and postprocessor. International center for numerical methods in engineering CIMNE. Ultima actualización agosto del 2006. Versión 8.0. Licencia numero: Tc18.4.12 Tk8.4(8.4.12)
- HASSAN, Noroozi et al. (2001) "The dental arch for revisited". En: Angle Orthodontist..Vol .71, No. 5; pp. 386-389.
- ISAZA, J.F, et al. (2005). "Reconstrucción tridimensional de estructuras óseas a partir de estudios tomográficos para su manipulación en modelos de elementos finitos". CES Odontología. Vol. 18, No. 2, pp. 19-22. ISSN 0120-971X.
- LEÓN BERRÍO, Adelaida y PINEDA PIEDRAHITA, Mauricio. (2001). Evaluación de un modelo con implantes por medio de elementos finitos. Tesis de Postgrado (Odontología). Medellín: Instituto de Ciencias de la Salud. Facultad de Odontología, 115 p.
- MATWEB. Pagina en Internet. Citada en: Mayo 5 del 2006. asm.matweb.com.
- MISCH CE. "Contemporary Implant Dentistry". En: Mosby year book. 1993, pp. 469-85
- MORRIS, H.F. "Veterans Administration Cooperative Studies Project No. 147/242. Part VII: The mechanical properties of metal ceramic alloys as cast and after simulated porcelain firing". En: J. Prosthet. Dent. Vol . 61 (1989); pp.160-169.
- Nobelbiocare. Página en Internet. Citada en: Octubre 2 del 2006. www.nobelbiocare.com.
- Parametric technology corporation, pagina en Internet. Citada en: Agosto 27 del 2006. www.ptc.cpm.
- RACK, H.J y QAZI, J.I. (2005). "Titanium alloys for biomedical applications" En: Materials science and engineering. Vol. 26 pp 1269-1277.
- SERTGÖZ A. and GÜEVENER S. (1996) "Finite Element Analysis of the effect of cantilever and implant length on stress distribution in an implant-supported fixed prosthesis". En: J Prosthet Dent: vol 76. pp 165-9.
- STANLEY, Braun et al. (1998) "The form of the human dental arch". En: The Angle Orthodontist. Vol. 68; pp. 29-36.
- TURNER, C.H.; COWIN, S.C. (1990) "The fabric dependence of the orthotropic elastic constants of cancellous bone". En: Journal Biomechanics. Vol 23 No 6 pp. 549-61.
- WEGANT RJ, Burt BA. (1993) An assessment of survival rates and with in patient clustering of failures for endosseous oral implants. J Dent Res, Vol.72. pp. 2 - 8.
- ZAPATA, U, et al. "Creación de un modelo matemático tridimensional de la mandíbula y z de la ATM de un sujeto vivo por medio del método de elementos finitos". En: Internacional journal of computerized dentistry. Vol.5 (2002); p. 87-99.
- ProEngineer Wildfire®. Parametric Technology Corporation. Ultima actualización febrero del 2006. Versión 3.0. Licencia número: 2A82748.

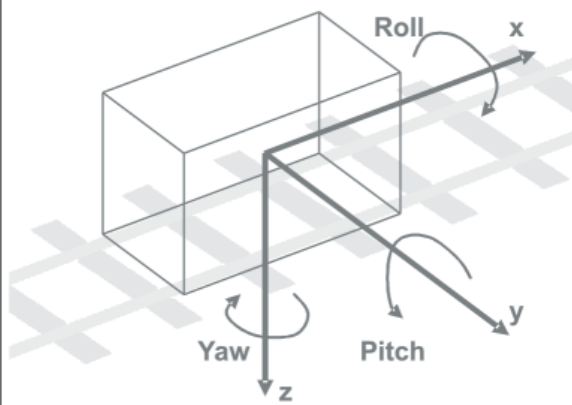
# **APLICACIÓN DEL SISTEMA DE MEDICIÓN DE LA CONICIDAD EQUIVALENTE EN SISTEMAS FÉRREOS A LA LUZ DE LA NORMA UIC519. GEOMETRÍA DE CONTACTO**

**JUAN PABLO TOJANCÍ DUQUE**  
*jtojanci@eafit.edu.co*  
Departamento de Ingeniería Mecánica

**ÁREA DE ÉNFASIS**  
MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

**ASESOR PRINCIPAL**  
DR. JORGE LUIS RESTREPO OCHOA

**SECTOR BENEFICIADO**  
UNIVERSIDAD EAFIT



## **RESUMEN**

Este artículo resume las metodologías empleadas para la determinación de los puntos de contacto y las características geométricas de los mismos.

Para un desplazamiento lateral cualquiera del conjunto eje rueda se puede determinar diferentes características geométricas, como la diferencia entre los radios de rodadura, los radios de curvatura de la rueda y el riel y la pendiente de las curvas en el punto de contacto. Con estas características se puede determinar la conicidad equivalente y los esfuerzos de contacto.

## **ABSTRACT**

This article summarizes the methodologies used for the determination of the contact points and the geometric characteristics of these points.

For a lateral displacement of the wheelset a different geometric characteristics can be determined, like the difference between the rolling radius from tread, the radius of curvature of the wheel and the rail profiles and the slope of the curves in the contact point. With these characteristics the equivalent conicity and the contact stresses can be determined.

## **PALABRAS CLAVE**

Geometría de contacto, interfaz rueda riel, conicidad equivalente, esfuerzos de contacto.

## **KEY WORDS**

Contact geometry, wheel rail interface, equivalent conicity, contact stresses.



## INTRODUCCIÓN

Los aspectos más importantes en la operación de los sistemas férreos tales como: la seguridad y el confort de los pasajeros, la eficiencia en la prestación del servicio de transporte, los costos de operación y de mantenimiento por desgaste de los elementos; están relacionados directamente con la dinámica de la interfaz vía-vehículo.

A través de los años los sistemas férreos, al igual que con los demás sistemas de transporte, son diseñados y construidos para que alcancen velocidades de operación cada vez más altas, generándose un comportamiento dinámico y una interacción ruda-riel más crítica, por lo que se hace necesario el perfeccionamiento del sistema de control en los parámetros de operación del sistema que permitan asegurar un funcionamiento óptimo. Solamente con la medición de los perfiles de las ruedas y los rieles se puede obtener información útil para crear un sistema de control del desgaste del sistema rueda-riel pero con la conicidad equivalente se mejora el control del sistema, haciéndolo más exacto y confiable.

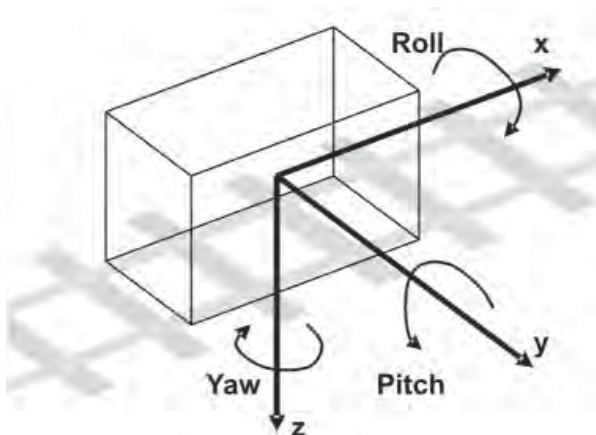
Para calcular la diferencia entre los radios de rodadura se requiere determinar los puntos de contacto entre el conjunto eje-rueda y los rieles para cualquier desplazamiento lateral del vehículo, también es necesario determinar las variables geométricas de las curvas de los perfiles en los puntos de contacto. Esta determinación no se incluye en el Código UIC 519. El proyecto se enfocó en la aplicación de metodologías para la determinación de los puntos de contacto, las pendientes de las curvas de los perfiles, los radios de rodadura de cada rueda y los radios de curvatura de los perfiles en los puntos de contacto. Además aplicó el procedimiento para la determinación de los radios de las elipses y los esfuerzos “normales” de contacto contenido en (IWINICKI, 2006).

## GRADOS DE LIBERTAD

Un tren cuando se desplaza sobre la vía sufre diferentes desplazamientos y rotaciones que están relacionados

con el sistema coordenado global (Figura 1). Los desplazamientos son descritos de la siguiente forma: El desplazamiento longitudinal es descrito por el eje x, considerándolo positivo en la dirección del desplazamiento frontal. El desplazamiento lateral lo describe el eje y, se considera positivo en desplazamiento hacia la derecha. El desplazamiento vertical es descrito por el eje z, se considera positivo hacia abajo. Las rotaciones son consideradas positivas en el sentido contrario al de las manecillas del reloj y son descritas de la siguiente forma: la rotación sobre el eje x, es conocida como “roll”, sobre el eje y como “pitch” y sobre el eje z como “yaw”. (KLAUSER, 2006)

**FIGURA 1**  
**Grados de libertad del vehículo sobre la vía**

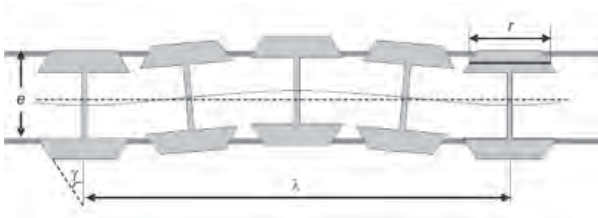


## MOVIMIENTO DE KLINGEL

En vía recta el vehículo con ruedas cónicas se desplaza siguiendo una trayectoria en forma de onda, este movimiento es conocido como Movimiento de Klingel y se genera cuando el vehículo se desplaza lateralmente, la diferencia de radios de rodadura produce un movimiento lateral inverso de centrado. (Figura 2)

El movimiento de Klingel es un movimiento cinemático puro en el que el desplazamiento lateral es armónico, en función de desplazamiento frontal y se presenta mientras que no exista contacto entre las pestañas de las ruedas y los rieles. (Esveld, 2001)

**FIGURA 2**  
**Movimiento de Klingel**



### GEOMETRÍA DE CONTACTO

La geometría de contacto se utiliza para determinar los puntos de contacto y las características geométricas de los puntos de contacto. “Las dos características más importantes son: la variación de la diferencia entre los radios de rodadura en función del desplazamiento lateral, con el que se determina la conicidad y la variación de la pendiente en el punto de contacto, que sirve para determinar el efecto de la fuerza gravitacional”. (WICKENS , 2003)

En el lugar en el que la rueda y el riel están en contacto se deforman elásticamente generando un área de contacto. Como el área de contacto es muy pequeña en comparación con las dimensiones de la vía, los contactos entre las ruedas y los rieles se consideran como puntos, lo que facilita la ubicación del contacto.

Para determinar los puntos de contacto entre las ruedas y los rieles para un desplazamiento lateral, se consideran únicamente los desplazamientos en el plano yz y la rotación sobre el eje x (roll). Como los valores de los desplazamientos verticales “z” y los de las rotaciones “roll” son pequeños, el código UIC 519 sugiere no considerarlos para determinar la Conicidad Equivalente.

### ESFUERZOS DE CONTACTO

Hertz demostró que cuando dos cuerpos elásticos son presionados entre ellos siguiendo las siguientes condiciones: (IWINICKI, 2006)

- Comportamiento elástico.
- Espacios semi-infinitos.

- Radios de curvatura largos, comparados con el tamaño del contacto.

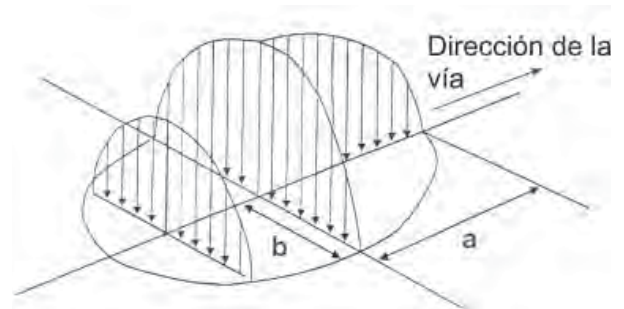
Curvaturas constantes dentro del área de contacto. Entonces:

- La superficie de contacto es una elipse.
- La superficie de contacto se considera plana.

El esfuerzo normal de contacto se ejerce en forma de un semielipsoide.

Para la determinación de los radios a y b de las elipses de contacto y del esfuerzo normal de contacto se deben conocer los valores de la carga Q aplicada por las ruedas a los rieles y las propiedades mecánicas de la rueda y el riel. (Figura 3)

**FIGURA 3**  
**Elipse de contacto y semielipsoide de los esfuerzos**



KLAUSER, 2006, pp. 3-9

### PRINCIPIOS DE CÁLCULO

Los principios generales que define el Código UIC 519 para la determinación de la conicidad equivalente se utilizaron para la determinación de la geometría de contacto. Estos son: Las ruedas y los rieles son considerados cuerpos rígidos.

Para la determinación de la Conicidad Equivalente se considera que las ruedas son simétricas en revolución y los rieles se consideran rectos y con perfiles uniformes.

Un perfil de riel real se define, por lo menos, con 11 perfiles separados regularmente en una sección de vía de 100m; la conicidad se obtiene tomando el promedio de estas conicidades individuales, la desviación estándar de las conicidades también debe ser indicada.

La rueda no penetra dentro del riel, sólo se consideran los puntos de contacto.

No se considera la rotación del sistema eje rueda sobre el eje longitudinal de la vía cuando el conjunto se desplaza lateralmente.

En el punto de contacto, los planos tangentes a la rueda y el riel son paralelos.

### METODOLOGÍAS DE CÁLCULO

Se desarrolló una metodología para determinar los puntos de contacto teniendo en cuenta los principios generales que recomienda el Código UIC 519. Para cumplir con estos principios no se aplica ningún tipo de rotaciones al sistema. En esta metodología el desplazamiento vertical de cada rueda es independiente al de la otra. (Figura 7)

**FIGURA 4**  
Distancias entre la rueda y el riel



Además se desarrolló una metodología alterna para determinar los puntos de contacto del sistema compuesto por dos ruedas, en el que se permite realizar rotaciones del tipo roll. En esta metodología se comparan las menores distancias determinadas entre cada rueda y riel(Figura 9). Si las menores distancias a cada lado son iguales se determinan las coordenadas de estas como puntos de contacto, si las menores distancias no son iguales se debe rotar el conjunto eje-ruedas hasta que las menores distancias sean iguales.

**FIGURA 5**  
Distancias entre las ruedas y los rieles



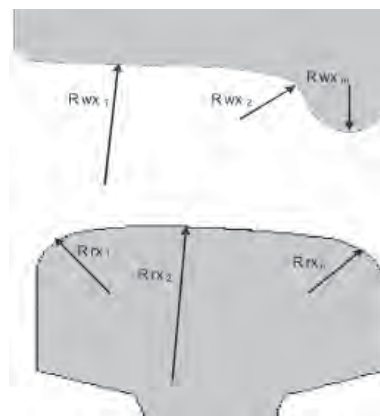
Después de determinar el punto de contacto entre la rueda y el riel se determina el radio de rodadura y la pendiente de los perfiles en el punto de contacto (Figura 11)

**FIGURA 6**  
Radio de rodadura y pendiente del punto de contacto



También se determinan los radios de curvatura de los perfiles de la rueda. (Figura13).

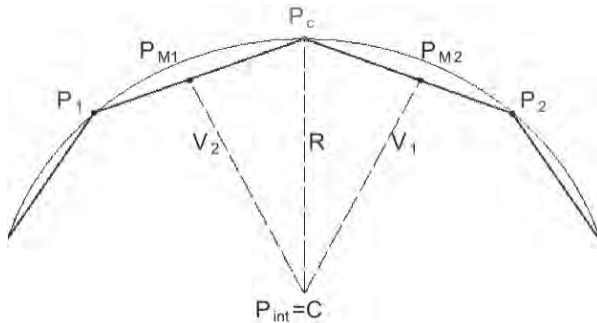
**FIGURA 7**  
Radios de curvatura de los perfiles





Los radios de curvatura de cada perfil se calculan determinando el radio aproximado del punto de contacto y los dos puntos adyacentes a éste. (Figura 9)

**FIGURA 8**  
Determinación del radio de curvatura



Se aplica la metodología de cálculo para determinar los radios de las elipses y los esfuerzos “normales” de contacto por medio de la teoría Hertziana. (IWNICKI, 2006)

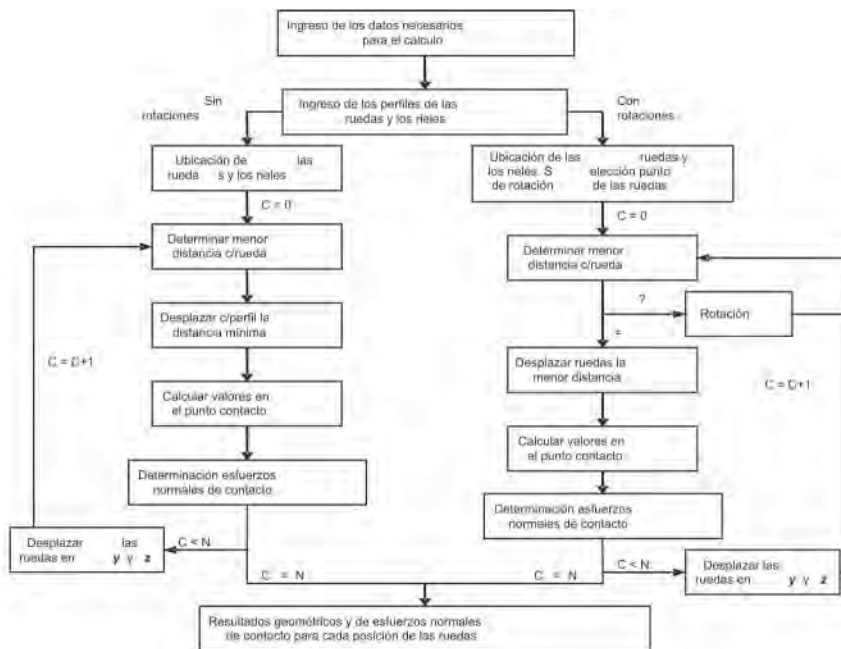
En la (figura 17) se muestra las metodologías de cálculo empleadas en el programa.

**RESULTADOS**

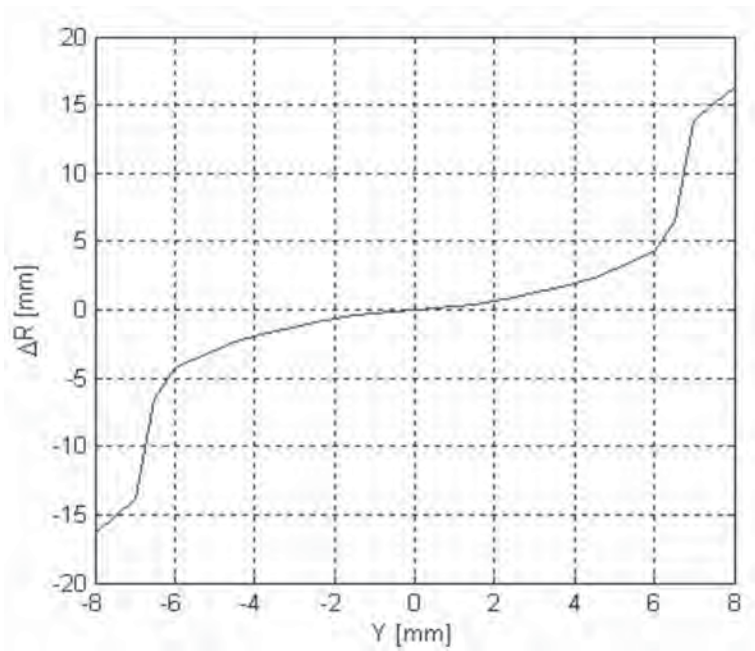
El programa desarrollado en Matlab determina el punto de contacto y para estos puntos determina los resultados de la diferencia entre los radios de rodadura, las coordenadas de los puntos de contacto, la pendiente de las curvas de los perfiles en el punto de contacto, el radio de curvatura del perfil de la rueda y el riel en el punto de contacto, los semiejes de la elipse de contacto y los esfuerzos normales de contacto.

En forma gráfica el programa entrega la curva de  $f(y) = r$  (Figura 11) y la comparación entre los puntos de contacto para los diferentes desplazamientos laterales (Figura 11).

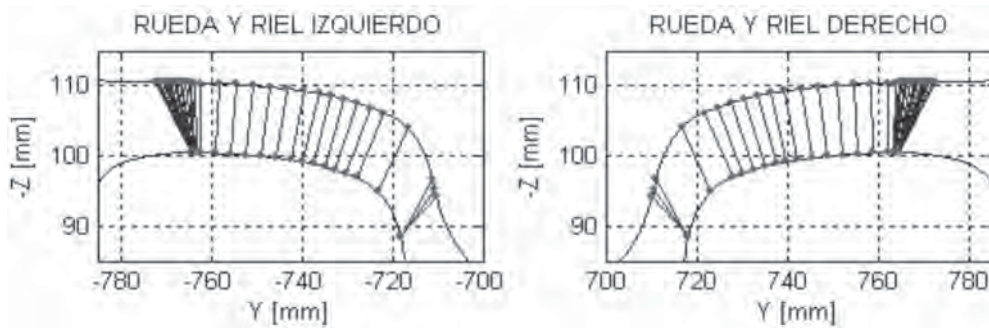
**FIGURA 9**  
Diagrama de la metodología de cálculo



**FIGURA 10**  
 $f(y) = r$

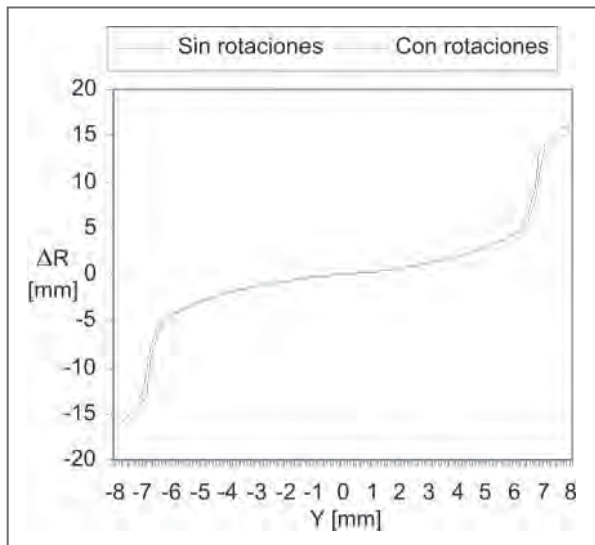


**FIGURA 11**  
Puntos de contacto en la rueda y el riel



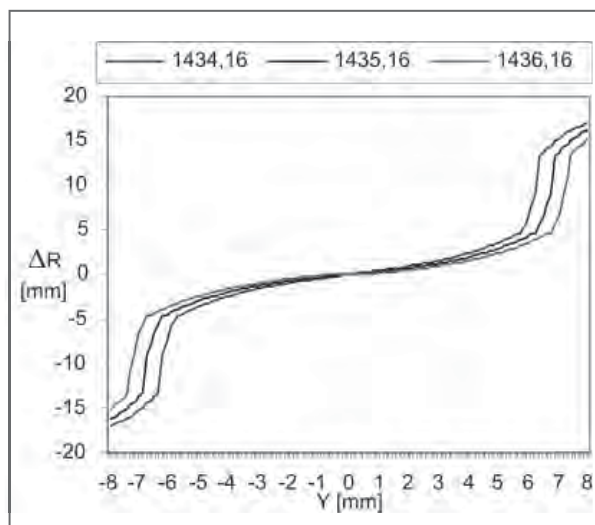
Se comparó la diferencia entre los resultados determinados por el programa con y sin rotaciones. (figura 14).

**FIGURA 12**  
Gráficas comparativas de  $f(y) = \Delta r$ .



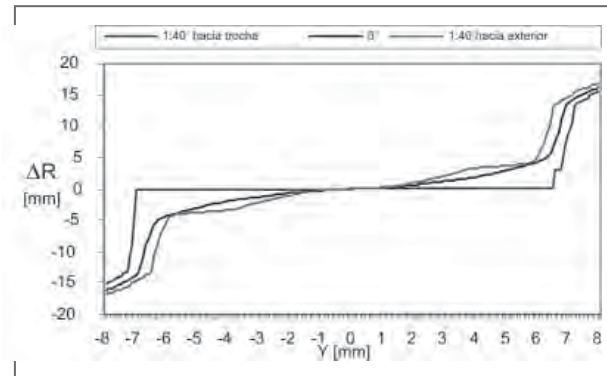
A continuación se presenta una gráfica en la que se comparan las funciones de  $f(y) = \Delta r$  para diferentes anchos de vía.

**FIGURA 13**  
Gráficas de  $f(y) = r$ , con diferente dimensión de la trocha



A continuación se presenta una gráfica en la que se comparan las funciones de  $f(y) = r$  para diferentes inclinaciones de los rieles.

**FIGURA 14**  
Gráficas de  $f(y) = \Delta r$ , con diferente inclinación de los rieles



## CONCLUSIONES

Se desarrolló una metodología para determinar los puntos de contacto y la función  $f(y) = r$ , que entrega resultados con una precisión de tres cifras significativas. Esto se cumple para todos los desplazamientos laterales ( $dy$ ) de todas las configuraciones de rueda y riel propuestos por el Código UIC 519. Esto garantiza que cuando se requiera determinar los puntos de contacto o la diferencia entre los radios de rodadura, ya sea para usarlos directamente o para determinar otras características de la interfaz rueda-riel, el usuario contará con valores confiables.

La metodología desarrollada para la determinación de los puntos de contacto con rotaciones sobre el punto medio entre las ruedas, tomando este punto como referencia para determinar los desplazamientos laterales y verticales, entrega valores muy aproximados a los contenidos en el Código UIC 519, mientras que los rieles no entran en contacto con las pestañas de las ruedas. Este procedimiento puede ser usado para determinar las características de la interfaz rueda-riel en una forma más real que la determinada con el programa sin rotaciones. Además, con este método se pueden determinar los desplazamientos laterales, verticales y las rotaciones que sufre cualquier punto del vehículo para un desplazamiento lateral cualquiera.

El programa desarrollado puede ser usado para determinar los puntos de contacto, la diferencia entre los radios de rodadura, las pendientes de la curva, los radios de curvatura, el esfuerzo "normal" de contacto, los radios de la elipse de contacto, las rotaciones y los desplazamientos verticales para un rango de desplazamientos laterales cualquiera.

Los cambios en los parámetros de vía y de los perfiles de la rueda o el riel modifican las características geométricas de los puntos de contacto para los diferentes desplazamientos laterales. Con los resultados obtenidos con el programa se podrían hacer estudios del comportamiento del sistema de acuerdo al desgaste de los perfiles o se podrían estudiar las implicaciones que tendría modificar parámetros de la vía o del conjunto eje-ruedas

## BIBLIOGRAFÍA

- BOTERO, Juan Francisco. (2005). Cargas estáticas en un vehículo férreo de pasajeros. Proyecto de grado Ingeniería Mecánica. Medellín: Universidad EAFIT.
- ESVELD, Coenraad. (2001). Modern railway track. 2da Edición. Zaltbommel: MRT-Productions.
- International Union of Railways. (2003) UIC Code 518: Testing and approval of railway vehicles from the point of view of their dynamic behaviour - Safety - Track fatigue - Ride quality. 2da Edición. París: International Union of Railways.
- International Union of Railways. (2004) UIC Code 519 OR: Method for determining the equivalent conicity. París: International Union of Railways.
- IWNICKI, Simon. (2006). Handbook of Railway Vehicle Dynamics. Boca Raton: CRC Press.
- KLAUSER, Peter Ernst. (2006). Introduction to rail vehicle dynamics. Course Notes. AEA Technology.
- OLIVEROS, Fernando. (1977). Tratado de ferrocarriles I Via. Madrid: Editorial Rueda.
- RUIZ, Oscar Eduardo. (2002) Underlying topics on CAD / CAM / CG. ASME International.
- WICKENS, A. H. (2003). Fundamentals of rail vehicle dynamics: guidance and stability. Lisse: Swets & Zeitlinger.
- \_\_\_\_\_. (2005). "EAFIT y Conciencias en proyectos de investigación con el Metro de Medellín". En: revista El Eafitense Vol. 81 Pág. 10-11.

## INTERNET

- CLAVIJO, Guido León. (2004). Vías Férreas. <http://www.umss.edu.bo/epubs/etexts/downloads/26/plantemas.htm>.
- SHEVTSOV, I.Y.; MARKINE, V.L.; ESVELD, C. (2003). Optimal design of wheel profile for railway vehicles. [http://www.rail.tudelf.nl/CM2003\\_9.htm](http://www.rail.tudelf.nl/CM2003_9.htm).
- MAGEL, Eric E. (2004). Optimizing Wheel and Rail Profiles on Amtrak's Northeast Corridor. <http://www.interfacejournal.com/features/09-04/necopt/necopt3.html>
- UNIVERSIDAD DE OVIEDO. (2005). Dibujo en ingeniería: Dibujo Asistido por ordenador. <http://www.mieres.uniovi.es/egi/dao/apuntes.pdf>
- Rail Sciences Inc. Optimización de Rueda/Riel. Estados Unidos. 2000. <http://www.railsciences.com/wheelesp.html>

# DETERMINACIÓN DE LA CONICIDAD EQUIVALENTE DEL SISTEMA VÍA VEHÍCULO DE UNA LÍNEA FERREA

DAVID OROZCO ÁLVAREZ

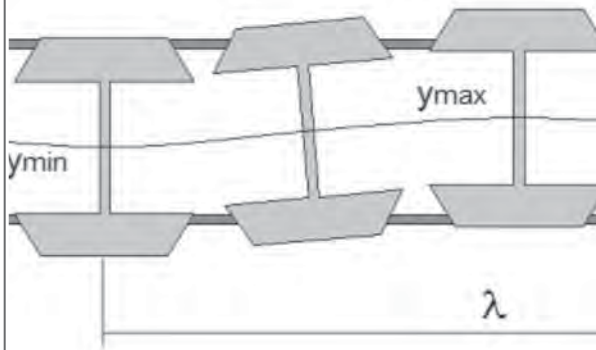
dorozco1@eafit.edu.co

Departamento de Ingeniería Mecánica

AREA DE ÉNFASIS  
MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

ASESOR PRINCIPAL  
DR. JORGE LUIS RESTREPO OCHOA

SECTOR BENEFICIADO  
UNIVERSIDAD EAFIT



## RESUMEN

Los vehículos férreos son sistemas complejos, que utilizan muchos principios de ingeniería para certificar su operación segura y eficiente. Uno de los principios importantes en el movimiento del sistema férreo es la conicidad equivalente.

La conicidad equivalente es un parámetro que se usa para estudiar la dinámica de los vehículos férreos en movimiento y depende directamente de la geometría de las superficies que están en contacto entre sí, en este caso la rueda y el riel.

En este trabajo se estudia la interfase rueda riel y se determina la conicidad equivalente para unos perfiles teóricos de rueda y riel siguiendo los principios, métodos y estándares establecidos por la norma UIC-519.

## ABSTRACT

Railways are complex systems, which utilize many engineering disciplines in order to ensure their safe and efficient operation. An important principle in the railway system movement is the equivalent conicity.

The equivalent conicity is a parameter used to study railway vehicles in movement and depends directly of the geometry of the surfaces that are in contact, in this case the wheel and rail.

In this paper the wheel rail interface is studied and the equivalent conicity is determined, for theoretical wheels and rail profiles, following the same principles, methods and standards established by the UIC code 519.

## PALABRAS CLAVE

Conicidad equivalente, Interfase rueda riel, sistemas férreos, Norma UIC 519

## KEY WORDS

Equivalent conicity, Wheel rail interface, Railway systems, UIC Code 519

## INTRODUCCIÓN

El comportamiento dinámico de vehículos férreos se refiere al movimiento o vibración de todas las partes del vehículo y depende tanto del diseño del vehículo como de la vía en el cual transita el vehículo. Este comportamiento tiene implicaciones en el confort de los pasajeros, el desgaste de la rueda y el riel, la generación de ruido y la seguridad del sistema férreo. (IWNICKI, 2004, 2).

Los estudios dinámicos, tanto para el diseño de sistemas férreos como para evaluar su comportamiento utilizan en muchos casos el concepto de conicidad equivalente. El tratado y optimización de este valor es usado en distintas aplicaciones tales como el diseño de perfiles de rueda y riel, determinación de la velocidad crítica del sistema férreo, casos en que se presente inestabilidad y casos donde exista riesgo de descarrilamiento (SHEVTSOV, 2003) (MARKINE, 2006).

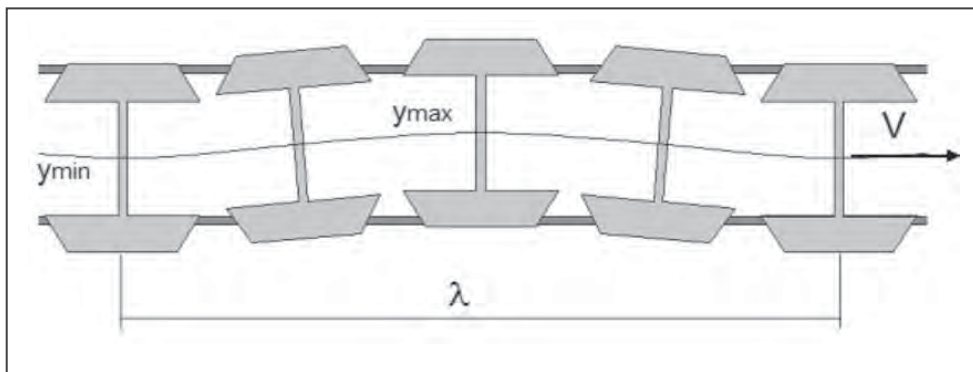
Este proyecto busca, mediante el uso de herramientas computacionales, determinar la conicidad equivalente del sistema férreo para analizar y dar criterios que permitan mejorar la interfase rueda riel del sistema.

## INTERFASE DE CONTACTO RUEDA RIEL

Un conjunto eje-rueda se define como un par de ruedas, con una forma aproximadamente cónica y pestañas, conectadas rígidamente a un eje. Las pestañas evitan que las ruedas al desplazarse lateralmente se descarrilen.

Cuando un conjunto eje-rueda libre rueda hacia delante, oscila de lado a lado con una amplitud casi constante y siguiendo una trayectoria casi senoidal. (Figura 1)

**FIGURA 1**  
Movimiento cinemático de un conjunto eje rueda



Las propiedades cinemáticas del contacto rueda riel, tales como el radio de rodadura, ángulos de contacto y ángulo de rodadura del conjunto eje-rueda varían a medida que las ruedas se mueven lateralmente respecto a los rieles. Por medio del estudio de las características entre rueda y riel es posible juzgar el comportamiento dinámico del conjunto eje-rueda y las propiedades dinámicas (como la estabilidad) del vehículo. (ESVELD, 2006, 2)

La interacción rueda/riel es un aspecto crítico en el funcionamiento de un vehículo férreo. La habilidad de un conjunto eje-rueda de dirigir y mantenerse estable es determinada por la función de la diferencia de radios de rodadura; esto es la diferencia de los radios de rodadura de la rueda derecha e izquierda como función de la posición lateral de las ruedas.  $E_c \Delta r = r_1 - r_2$  donde  $r_1$  es el radio de rodadura de la rueda derecha y  $r_2$  es el radio de rodadura de la rueda izquierda. (KLAUSER, 2006, 1)



La función  $\Delta r$  varía linealmente con el desplazamiento lateral de las ruedas, siempre que los perfiles de la rueda sean cónicos, es decir, siempre que los perfiles de la rueda muestren una inclinación constante a lo largo de toda la zona de la superficie de rodadura. En este caso la longitud de onda del serpenteo la determina exclusivamente la inclinación cónica del perfil de rueda (la conicidad).

En caso de perfiles de rueda desgastados o nuevos, que están adaptados, no se da una inclinación cónica constante a lo largo de toda la zona de la superficie de rodadura. En dicho caso la función  $\Delta r$  en general no sigue un curso lineal. De este modo ya no se puede determinar la longitud de onda del serpenteo mediante la inclinación del perfil de la rueda.

Para poder permitir, a pesar de ello, también en estos perfiles una comparación sencilla, pero solo aproximada, respecto al comportamiento de marcha con perfiles cónicos, se calcula para tales perfiles de rueda la llamada conicidad equivalente  $\tan \alpha_e$ . Ese valor corresponde a la inclinación de un perfil cónico, en el cual resultaría un serpenteo de la misma longitud de onda como el perfil de la rueda inspeccionada. (TROCHE, 1996, 16)

### **NORMA UIC 519**

La norma UIC 519 es un documento creado por la Unión Internacional de Vías Férreas, donde se da una breve explicación de la conicidad equivalente y presenta dos métodos para calcular esta variable. El documento además pretende poder comparar resultados obtenidos por distintos sistemas férreos por medio del cálculo de la conicidad de acuerdo a los mismos principios. La norma explica los principios que deben ser seguidos para calcular la conicidad pero no impone ningún método numérico de cálculo.

### **MÉTODOS DE CÁLCULO DE LA CONICIDAD EQUIVALENTE**

La norma UIC 519 especifica 2 métodos para determinar la conicidad equivalente: el método de Klingel y el método de la regresión lineal.

### **MÉTODO KLINGEL**

Este método se basa en la ecuación del movimiento cinemático de un par de ruedas libre, sin inercia, sobre una vía:

$$\text{Ec 2} \quad \ddot{y} + \frac{V^2}{er_0} \Delta r = 0$$

Al resolver esta ecuación diferencial se obtiene una longitud de onda para una amplitud dada, del cual se puede obtener la función de la conicidad equivalente para cada uno de las amplitudes al reemplazar cada longitud de onda en la siguiente ecuación:

$$\text{Ec 3} \quad \tan \gamma_e = \left( \frac{\pi}{\lambda} \right)^2 2er_0$$

donde  $\lambda$  es la longitud para una amplitud determinada.

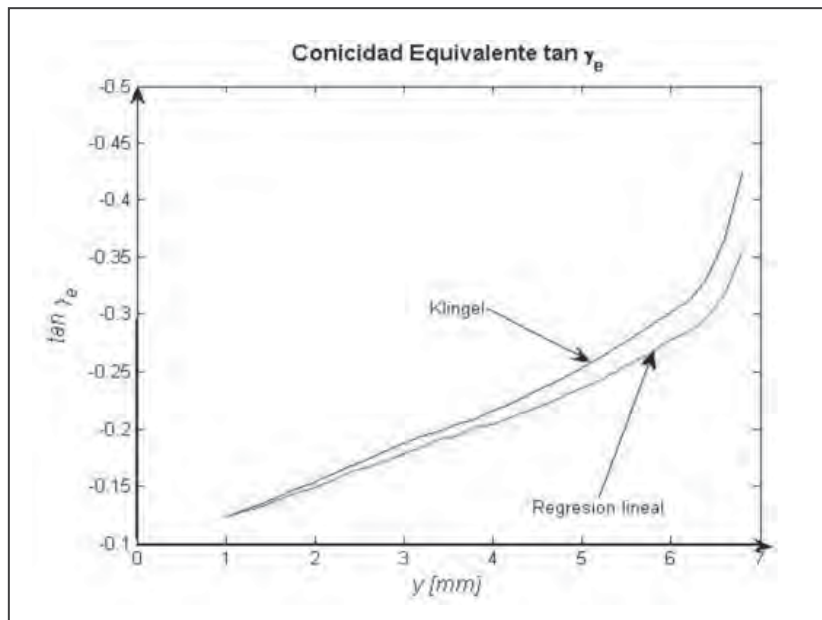
### **MÉTODO DE LA REGRESIÓN LINEAL**

Este método al igual que el de Klingel usa la ecuación del movimiento cinemático de un par de ruedas libre para hallar las amplitudes, pero este en vez de hallar la longitud de onda, usa una regresión lineal de mínimos cuadrados, sobre cada amplitud para hallar la conicidad equivalente.

### **RESULTADOS**

Los resultados que se obtuvieron se tabularon y a partir de estos datos se graficaron, para cada uno de los 9 ejemplos de la norma, los dos métodos en una misma grafica para poder comparar de manera fácil la varianza de un método con respecto al otro, como se muestra en la figura 2.

**FIGURA 2**  
**Gráfica de resultados para un perfil de rueda y riel de la norma UIC 519**



**CONCLUSIONES**

En la revisión de los conceptos de interfase rueda riel y conicidad equivalente por medio de la norma UIC519, y documentos realizados por distintos autores en el tema de la interfase rueda riel, tales como Esveld, Persson, Iwnicky, entre otros se notó la falta de claridad en algunas partes de la norma en cuanto a la demostración de algunos de los principios y definiciones generales para comprender el uso de la conicidad en la interfase rueda riel y a partir de esto se complementó toda la información concerniente a la conicidad equivalente y se elaboró el estado de arte de este documento.

Se implementó en Matlab el algoritmo definido por la metodología hallada en la norma UIC para determinar la conicidad equivalente. El programa resuelve la conicidad por dos métodos que establece la norma: el de Klingel y el de la regresión lineal. Según lo calculado por el método Klingel se puede concluir que tanto la metodología como el programa elaborado son confiables.

En la implementación de la norma UIC 519 se resolvieron

problemas en los cuales los datos de entrada tienen diferentes características como son:

Datos simétricos de la curva  $\Delta r$  vs  $y$  y valores asimétricos de la curva

$$\int_{y_{min}}^{+y} \Delta r dy .vs. y$$

Datos de la curva  $\Delta r$  vs  $y$  en los que hay un rango en el que los datos del vector  $\Delta r$  dan igual a cero. En cuanto al análisis de resultados se puede concluir que: Para los primeros valores de las amplitudes, en los casos en que la integral de la curva da simétrico, los resultados de la conicidad de los dos métodos trabajados están más próximos entre sí.

La gráfica de la curva conicidad vs. amplitud para los ejercicios calculados por el método de la regresión lineal muestran pequeñas oscilaciones que hacen que la gráfica se vea menos suavizada que el del método Klingel.

El comportamiento del método de la regresión lineal es un poco difícil de predecir ya que en algunos ejemplos su %error puede ir de un valor mínimo e ir aumentando o



también de un valor máximo e ir disminuyendo, pero sus valores y curva de la conicidad equivalente se asemejan a los de la norma.

El método de Klingel arroja valores muy aproximados para cada amplitud excepto en puntos de la curva de la función  $\Delta r$  cuya pendiente sea muy alta.

## **BIBLIOGRAFÍA**

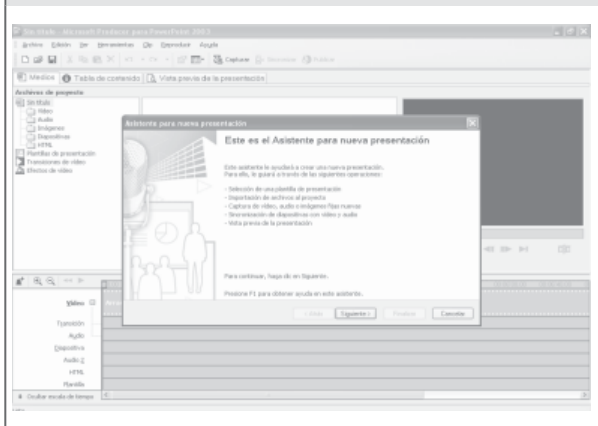
- INTERNATIONAL UNION OF RAILWAYS. UIC CODE 519. Method for determining the equivalent conicity. 1st edition, December 2004.
- KLAUSER, Peter. Assessing Wheel/Rail Contact Geometry. 16 de Mayo de 2006.
- MARKINE, V.L., SHEVTSOV, I.Y., ESVELD, C Shape optimisation of a railway wheel profile. European Railway Review. Issue 2. 2006. pp 81 – 86.
- PERSSON, I., IWNICKY S. D. Optimisation of railway wheel profiles using a genetic algorithm. The rail technology unit. Manchester, United Kingdom. January 2004p
- SHEVTSOV, I.Y., MARKINE, V.L., ESVELD, C. Optimal design of wheel profile for railway vehicles. 6th International Conference on contact mechanics and wear of rail/wheel systems. Gothengburg, Sweden. June 10-13, 2003. 12 p.
- TROCHE, Gerhard. Informe técnico sobre la investigación del desgaste rueda riel en la vida del Metro de Medellín. 17 de octubre de 1996.

# HERRAMIENTAS DE SOPORTE VIRTUAL PARA EL APRENDIZAJE EN DIBUJO TÉCNICO CON LA METODOLOGÍA T.I.C.

DAVID AGUDELO TRUJILLO  
*dagudel3@eafit.edu.co*  
Departamento de Ingeniería Mecánica

ASESOR PRINCIPAL  
ING. JAIME LEONARDO BARBOSA

SECTOR BENEFICIADO  
UNIVERSIDAD EAFIT



## RESUMEN

El cambiante mundo de la ingeniería en la era moderna, esta llevando a las universidades a investigar mucho mas fuerte en la experimentación e implementación de herramientas que permitan llevar a cabo la educación virtual desde una institución. Los cambios son debidos a la evolución y la renovación de las herramientas de enseñanza para el docente, nuevas técnicas de la educación y los nuevos enfoques que presentan las instituciones en la actualidad.

El dibujo técnico es el medio de comunicación por excelencia en el ambiente industrial. Como método gráfico de comunicación y de expresión es utilizado por los ingenieros en su actividad profesional para comunicarse con otros ingenieros, con operarios, con clientes, etc., y así expresar sus ideas, resolver problemas y preservar el conocimiento adquirido sobre los sistemas técnicos.

## ABSTRACT

The changing world of engineering in the modern age, is taking universities to investigate much harder in the experimentation and implementation of tools that allow virtual education to be carried out from an institution. The changes are due to the evolution and the renovation of the educational tools for the instructor, new education techniques and the new approaches that the institutions present/display at the present time.

Technical drawing is the mass media par excellence in the industrial atmosphere. As a graphical method of communication and expression it is used by the engineers in their professional activity to communicate with other engineers, workers, clients, etc., and thus to express their ideas, to solve problems and to preserve the knowledge acquired of technical systems.

## PALABRAS CLAVE

Educación Virtual, Dibujo Técnico, Imágenes, Final Cut, MS Producer, T.I.C., Eafit Interactiva.

## INTRODUCCIÓN

El dibujo técnico juega un doble papel en la formación y en el perfil del Ingeniero. De un lado es un método gráfico de comunicación y de expresión y de otro lado es una herramienta de apoyo en procesos de pensamiento relacionados con la actividad del diseño. (Programa, 2003,1)

La implementación de estrategias de aprendizaje en la relación docente – alumno a través de medios interactivos que permitan afianzar los conocimientos teóricos prácticos necesarios para el curso de dibujo técnico IM0110 es el objetivo claro al que se llegó. Estas estrategias fundamentadas en la educación virtual bajo la metodología T.I.C. que significa Tecnología de la Información y la Comunicación permitieron su realización.

En la actualidad la universidad cuenta en la actualidad con un modelo bimodal de incorporación de tecnologías de información y comunicación en ambientes de

aprendizaje de educación superior conocida como eafit interactiva, por tal razón es importante crear ayudas para el proceso de enseñanza – aprendizaje en la asignatura de dibujo técnico IM0110.

Son estas las plataformas computacionales que hacen parte de las T.I.C, y se constituyen en una herramienta primordial a la hora de impartir cursos a distancia, por que permiten soportar y administrar gran cantidad de información de una manera sencilla, como lo son cursos y talleres en línea.

Por medio de estas plataformas se puede establecer comunicación desde cualquier lugar, dándole la posibilidad a los alumnos participantes de acceder a la misma haciendo uso solamente de Internet y una computadora. En la figura 1, se observa la plataforma interactiva de la Universidad eafit conocida como EAFIT Interactiva la cual se usa como un sistema de enseñanza a distancia.

FIGURA 1

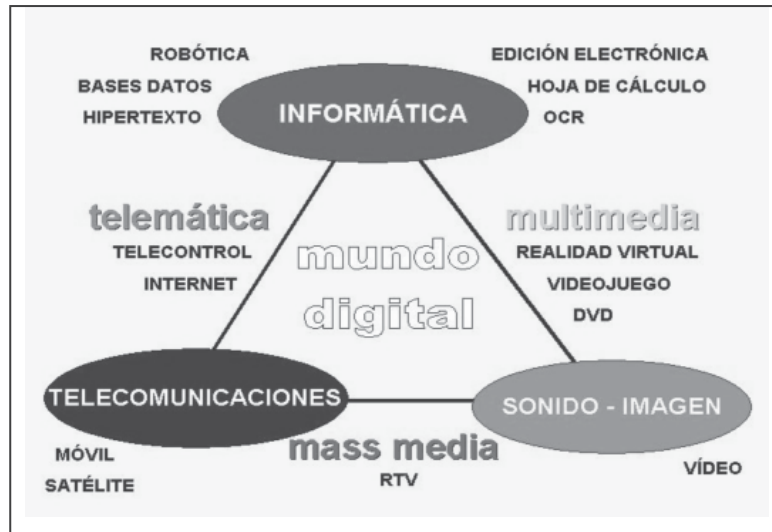


## PROCESO DE DESARROLLO

La incorporación de las T.I.C al ámbito educativo y 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).

Estas herramientas se pueden definir como un conjunto de equipos, redes y servicios que se integran, en un sistema de información interconectado y complementario como se observa en la figura 2.

FIGURA 2



PMARQUES@, 2006

Una de las principales razones para la utilización de las T.I.C en este proyecto de grado es la necesidad de formar profesionales competitivos en el ámbito nacional e internacional como justifica la misión de la Universidad EAFIT, donde se busca formar alumnos capaces de vivir y trabajar en un mundo cada vez más globalizado y en las condiciones de la llamada sociedad de la información y el conocimiento.

Los cuatro momentos clave de la actuación docente en el que la utilización de las T.I.C puede contribuir a las siguientes ventajas:

Fase pre-activa que se basa en la planificación, creación de materiales didácticos.

Fase de ejecución y evaluación de las actividades de enseñanza y aprendizaje con los alumnos el cual tiene que ver con las explicaciones, autonomía de trabajo del alumno, interacciones etc.

Fase post-activa es la encargada de las tutoría, gestiones administrativas

Formación continuada que tiene que ver con las lecturas, cursos, jornadas, colaboración en investigaciones.

El término campus bimodal se puede dividir en dos componentes que forman el concepto. El primero de ellos es referirnos al término campus, el cual se relaciona al entorno donde se realiza el proceso de enseñanza aprendizaje y a los espacios anexos que lo corroboran. Desde hace muchos años estos procesos se llevan a cabo en aulas de clase en los cuales el alumno interactúa directamente con el profesor. Normalmente el protagonista del proceso de aprendizaje es el docente y el alumno es el destinatario de los conocimientos que transmite el docente. (Villegas1, 2002, 15)

Los denominados entornos o herramientas de autor o lenguajes visuales que combinan audio, video y animación, son aplicaciones informáticas que permiten elaborar sistemas multimedia. Estas herramientas ofrecen un entorno de trabajo que permite una programación basada en iconos, objetos y menús de opciones, los cuales posibilitan al usuario realizar un producto multimedia sin necesidad de escribir una sola

línea en un lenguaje de programación. (CLARA, 2006, 20).

La tendencia que se comienza a observar en las herramientas de autor es a aumentar el número de facilidades que estas proporcionan, con más programas que suman soportes de texto mejorado, diccionarios, bases de datos multimedia incorporadas y editores de todo tipo. De esta manera lo más importante es que estas herramientas están orientándose a objetos y soportes para Internet y aplicaciones en línea. Esto permite desplegar información del tipo de audio o video con mejor calidad y a mayor velocidad. El inconveniente son los tiempos de espera vía modem, pero con el abaratamiento de los servicios de Internet a través de banda ancha este servicio de aprendizaje adquiere grandes ventajas en el presente y futuro de la educación. (PUCP@, 2006)

Las herramientas de autor para aplicaciones multimedia pueden ser programas gratuitos (Freeware) o pagados a empresas reconocidas en el sector de diseño y desarrollo de aplicaciones Web como es el caso de Director de Macromedia que es actualmente la herramienta de autor más difundida del mundo. En este programa el proceso de elaboración de un proyecto se plantea como la producción de una película o movie: con un guión, un score (desarrollo), un cast (reparto) y el stage (escenario). Existen versiones para Macintosh, Windows y Silicon Graphics. (PUCP@, 2006)

Al realizar las grabaciones de cada uno de las imágenes que se efectuaron en las diferentes locaciones: Estudio grabación de la Universidad EAFIT, Empresa Mecánicos Unidos S.A., Laboratorio de Metrología y mediciones, las imágenes se tiene que pasar a un programa que permita:

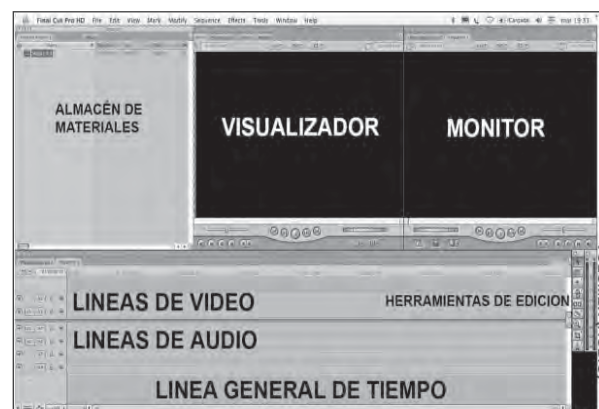
- Edición y producción.
- Realizar los montajes entre audio y video.
- Grabar el video final en DVD.
- Convertir el video en DVD a un formato WMA o AVI para que sea leído por Microsoft Producer 2003.

Para el desarrollo del presente proyecto de grado se utilizaron herramientas compartidas tanto de Windows como de EMac OS, estas aplicaciones se convirtieron en gran apoyo para el correcto desarrollo del proyecto. Herramientas como Final Cut 4.5 de Macintosh y Microsoft Producer 2003 de Microsoft consiguieron llevar a cabo el final de este proyecto.

Final Cut pertenece a la familia "Pro" figura 3, que significa profesional de las aplicaciones Apple, este se diferencia bastante de iMovie que es otro programa de edición de videos pero más básico. El entorno de trabajo de Final Cut está conformado de elementos y de herramientas que a simple vista asustan un poco al abrir el programa por primera vez, pero, a la postre, son útiles muy necesarios y que ahorran muchas veces tiempo y "quebraderos" de cabeza a la hora de ponerse a editar. (CURSOS, 2005, 4)

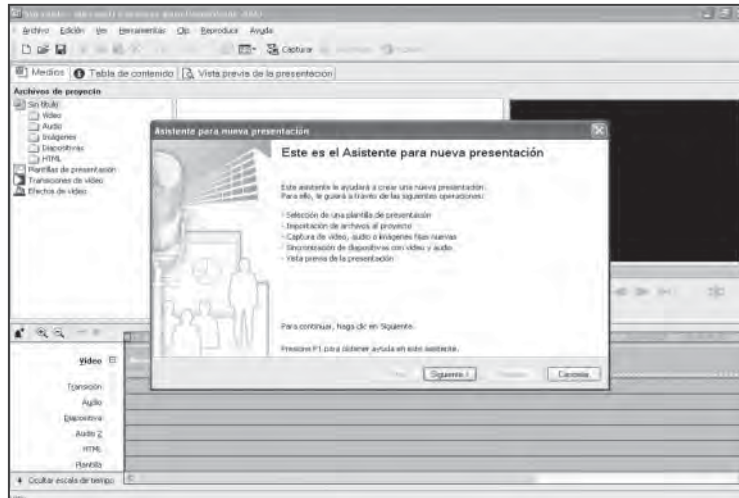
Microsoft Producer 2003 figura 4, es otro de los programas que se utilizaron en el desarrollo del proyecto de grado el cual se convierte en una herramienta adicional para Microsoft Office PowerPoint 2003, que ofrece una serie de herramientas para crear, editar y sincronizar fácilmente contenidos educativos multimedia: audio, vídeo, diapositivas de PowerPoint, HTML, imágenes, etc. Es útil para crear atractivas y eficaces presentaciones con gran riqueza de medios audiovisuales los cuales se pueden visualizar vía Web. (CLARA, 2006, 23)

**FIGURA 3**



(CURSOS, 2005)

**FIGURA 4**



MS Producer 2003 ofrece una serie de ventajas para la construcción de herramientas virtuales educativas que sirvan como apoyo a la bimodalidad que tiene la universidad EAFIT actualmente. La tabla 1 enseña un resumen del funcionamiento del MS Producer 2003.

**TABLA 1**

FUNCIONAMIENTO DE MICROSOFT PRODUCER	
1.	Selección de las plantillas de diseño
2.	Esquema de la presentación
3.	Descripción de la presentación
4.	Importación de diapositivas o imágenes
5.	Importación o Captura del vídeo
6.	Sincronización de los elementos
7.	Publicación de la Presentación

(CLARA, 2006, 40)

Ventajas del MS Producer: Las ventajas que ofrece el MS Producer 2003 son las siguientes:

Soporta una gran variedad de tipos de archivos de audio y video, incluyendo Microsoft Windows Media 9, Series para audio y video de alta calidad.

Permite capturar audio y video en tiempo real, utilizando cualquier dispositivo de captura soportado por Microsoft DirectShow.

Incluye transiciones y efectos de video.

Ofrece un entorno de fácil manejo, dado que permite hacer una presentación con la ayuda de un asistente.

Permite combinar al mismo tiempo el video y presentaciones realizadas en PowerPoint en una misma pantalla.

Permite realizar presentaciones utilizando más de dos vídeos que se organizan de acuerdo al orden de la presentación.(41)

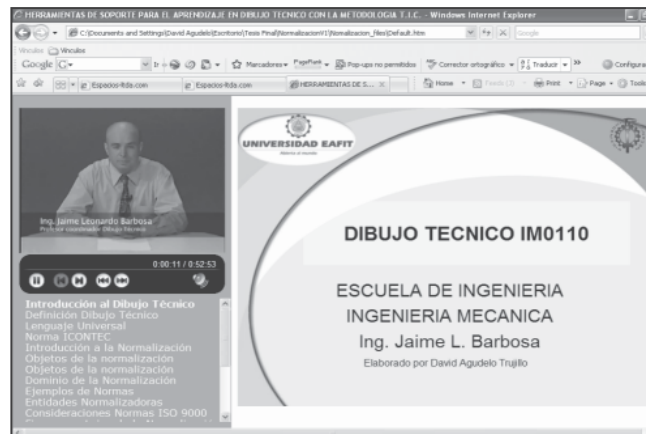
**RESULTADO**

El resultado obtenido se resume en videostreaming figura 5, con 3 videos teórico – prácticos con el siguiente contenido:

- Normalización 52 minutos)
- Formatos y tipos de línea
- (45 minutos)
- Teoría de la proyección
- (44 minutos)



FIGURA 5



La metodología determinada por tres características: Revisión bibliográfica, determinación de los temas y software a utilizar y pre-producción, producción, pos-producción utilizada para la consecución del proyecto de grado se puede observar mas concretamente en la figura 6.

FIGURA 6



## RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar una muy buena campaña de información y motivación por parte de los docentes que dictan la asignatura de Dibujo Técnico IM0110 enfatizando a los estudiantes la existencia de este tipo de herramientas tecnológicas, para que hagan uso de estos videos aprovechando las ventajas de aprendizaje, calidad de información y las herramientas educativas con las que cuenta la asignatura y la universidad en su campus bimodal.

Se recomienda para unos próximos módulos contar con la ayuda del centro multimedial, especialmente del Canal en Vivo de la Universidad EAFIT, para el proceso de grabación de imágenes, edición de los videos y el posterior montaje tanto en Microsoft Producer como en la plataforma de Eafit Interactiva.

El software MS Producer 2003 es una herramienta de fácil manejo y de gran utilidad para este tipo de proyectos, dado que permite el uso de audio, video y diapositivas de manera simultánea y todas se complementan para

juntas conformar una presentación que sea más atractiva y dinámica para el usuario.

Con el desarrollo de este tipo de videos, se esta dando el siguiente paso en los modelos de aprendizaje virtual, dado que los alumnos tienen toda la libertad de ingresar al conocimiento cuando lo deseen y de la manera mas practica y cómoda posible.

Se deben realizar revisiones periódicas del funcionamiento de los videos, cada semestre, tanto en la utilización del MS Producer 2003, programa en el cual esta soportado todos los videos, como en la plataforma de Eafit Interactiva, para asegurar el correcto y buen funcionamiento de la herramienta educativa y evitando que el estudiante pierda el interés y no utilice la herramienta debido a fallas o problemas que presente el programa a la hora de ejecutarse.

## **BIBLIOGRAFÍA**

MÚNERA, Maria Clara ; GRAJALES Julián David – Proyecto de grado “Herramientas de audio, video y animación para un curso interactivo en procesamiento de plásticos”, EAFIT, Medellín, 2006

PROGRAMA, Departamento de ingeniería mecánica – “IM0110 dibujo técnico de ingeniería mecánica universidad EAFIT” – Medellín – Colombia – 2003 – Formato digital

RESTREPO, Carlos Mario, -Proyecto de grado- “Curso básico interactivo de robótica industrial y sistemas de manufactura flexible bajo la plataforma eafit interactiva, EAFIT”– 2005

VILLEGAS1, Gustavo Adolfo – Mejía Rubi Consuelo, Campus bimodal experiencia educativa que conjuga la presencialidad y la virtualidad, ICFES, Bogota, Colombia, ISBN 958-11-0470-4 – 2002

PMARQUES@,2006 Congreso EDUCARED Madrid, 3, 4 y 5 de noviembre Educación y Tecnología: uso pedagógico de las herramientas y ejemplos de buenas prácticas. Consultada 26 Octubre, 2006. [En línea]: <http://dewey.uab.es/pmarques/educared.htm#inicio>

PUCP@, 2006 Diseño de la información - HERRAMIENTAS DE AUTOR Consultada 29 de octubre de 2006 [En línea] <http://www.pucp.edu.pe/fac/comunic/perdigital/pd2/PDPUCP10.htm>



# INCREMENTO DE LA EFICIENCIA OPERACIONAL DEL ENSAMBLE DE MOTOCICLETAS SOPORTADO EN EL PILAR DE MEJORAS ENFOCADAS PROPUESTO POR EL TPM

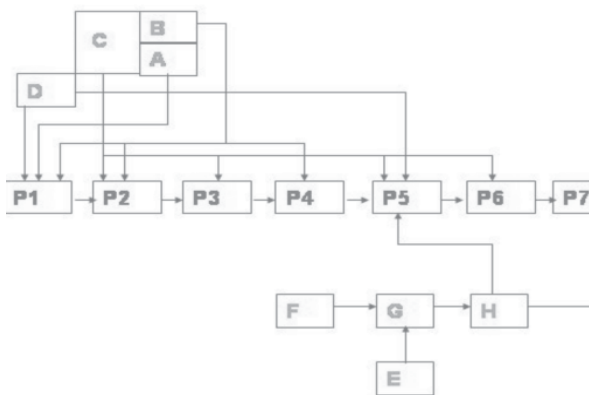
SANTIAGO ARBELAEZ MONTOYA  
*sarbela1@eafit.edu.co*

CAMILO MANTILLA ORTIZ  
*cmantill@eafit.edu.co*  
Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS  
MANTENIMIENTO  
PREPARACIÓN DE PROYECTOS

ASESOR PRINCIPAL  
ING. JUAN PABLO AGUDELO

EMPRESA  
AKT MOTOS



## RESUMEN

El proyecto consiste en el incremento de la eficiencia operacional del ensamble de motocicletas soportado en el pilar de mejoras enfocadas propuesto por el TPM.

El proyecto busca plantear soluciones rápidas, sencillas y efectivas que ayuden a cumplir con el objetivo general, así mismo clasificar, procesar y sintetizar la información recopilada para atacar los principales problemas que presenta una línea de ensamble.

## PALABRAS CLAVES

**Diagrama bimanual:** Sirve principalmente para estudiar operaciones repetitivas y en ese caso se registra un solo ciclo completo de trabajo

**Flasher:** Elemento que permite que las direccionales destellen repetitivamente.

**Kaizen:** El proceso continuo de análisis de situación para la adopción proactiva de decisiones creativas e innovadoras tendientes a incrementar de manera consistente la competitividad de la empresa mediante la mejora continúa de los productos, servicios y procesos.

**Material CKD:** Es la forma en que las motocicletas llegan a la planta de ensamble como materia prima.

## ABSTRACT

The aim of this project is to increase the operational efficiency in the assembly motorcycle line, taking support in the pillar, focus improvement proposed by TPM.

This project looks for easy, quick and effectiveness solutions to achieve the main aim, it looks to classify, to try, to synthesize the information we obtain to attack the main problem in the motorcycle assembly factory.

## KEY WORDS

**Graph bimanual:** To study repetitive operation.

**Flasher:** Motorcycle element which permit the bulbs flash.

**Kaizen:** Continuous analysis to increase the enterprise competitiveness.

**CKD:** The way the motorcycle arrives, Complete Knocked Down.

## **INTRODUCCIÓN**

El proyecto consiste en el incremento de la eficiencia operacional del ensamble de motocicletas soportado en el pilar de mejoras enfocadas propuesto por el TPM.

La ensambladora de motos AKT es una compañía que viene comercializando y ensamblando motocicletas que se adaptan al territorio colombiano. En AKT motos se tiene actualmente implementado un procedimiento de revisión de calidad el cual tiene tres etapas principales como son; revisión estática (es el último puesto de la línea de producción), revisión estática dinámica (en un rodillo de pruebas) y la revisión dinámica (en una pista); apoyándose en esta revisión de calidad se toman una serie de datos para su posterior análisis.

Para detectar los errores en la línea de ensamble se recopilan datos, los cuales son suministrados por los operarios de la revisión de calidad quienes tienen un conocimiento técnico y un criterio exacto para determinar las anomalías en el producto terminado.

Una vez detectados los problemas y su procedencia se quiere abordarlos y encontrar soluciones que ayuden a incrementar la eficiencia operacional de una ensambladora de motocicletas; dependiendo de la procedencia del error, las alternativas de solución son diferentes y es ahí donde se utilizan todos los conocimientos adquiridos durante la formación profesional para encontrar la forma más adecuada de mejorar el proceso.

Se espera incrementar la eficiencia del proceso en el ensamble de las motos para que la empresa obtenga mejores resultados en producción y en calidad final del producto.

## **1. MEJORAS ENFOCADAS**

La mejora orientada incluye todas las actividades que maximizan la eficacia global de equipos, procesos y plantas a través de la eliminación de pérdidas y la mejora de rendimientos.

La filosofía Kaizen no es solo para que el ejecutivo cuente con un sistema de información que le notifique que surge en los procesos productivos (sean estos de bienes o de servicios) sino que resulta fundamental visitar varias veces por día el lugar de trabajo para evaluar personalmente que ocurre y por qué. Los administradores Kaizen le dan preferencia a todo lo relativo a los procesos, inspeccionando por tal motivo los lugares que son base de los resultados. "Sí se quiere mejorar los resultados es menester concentrarse en mejorar los procesos".

Es importante entender que las mejoras orientadas no solo se dirigen a los elementos individuales del equipo, sino que se inclina al bien global de la planta y del equipo de trabajo, dándole prioridad a los problemas que elevan la eficacia del conjunto de la planta y del proceso.

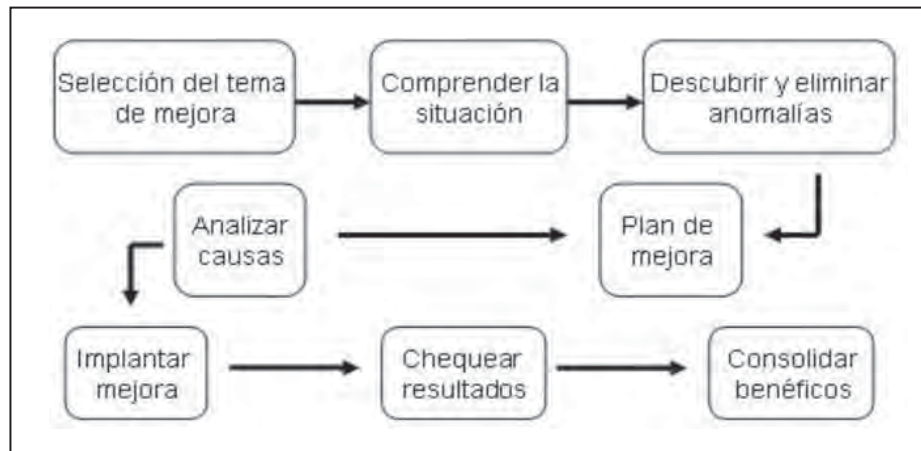
La mejora enfocada intenta eliminar toda clase de pérdidas, por lo tanto resulta muy importante cuantificarlas e identificarlas. Luego de analizar estadísticamente los resultados se procede a investigar hacia atrás para llegar a las causas de las anomalías del proceso, esto se logra verificando y analizando cuatro salidas principales del proceso de producción tales como equipo, materiales, personas y métodos.

### **1.1 Pasos para implementar las mejoras enfocadas**

Las técnicas TPM ayudan a eliminar las averías de los equipos. El procedimiento seguido para realizar acciones de mejoras enfocadas sigue los pasos del conocido ciclo PHVA (Planificar-Hacer-Verificar-Actuar).

### ILUSTRACIÓN 1

#### Pasos a seguir al implantar mejoras enfocadas



#### 1.2 Eficiencia global de equipos

En toda organización es muy importante saber como se están operando sus maquinas, si son eficientes y cual es el desperdicio que están presentando. Para medir esto se utiliza uno de los más importantes indicadores del TPM denominado EGE (eficiencia global de los equipos).

El cálculo de EGE consiste en multiplicar los tres subindicadores que lo conforman: eficiencia, utilización y

aprovechamiento. Cada uno se debe definir una unidad de medida y un proceso de recolección de datos.

### 2. PROCESO DE DESARROLLO

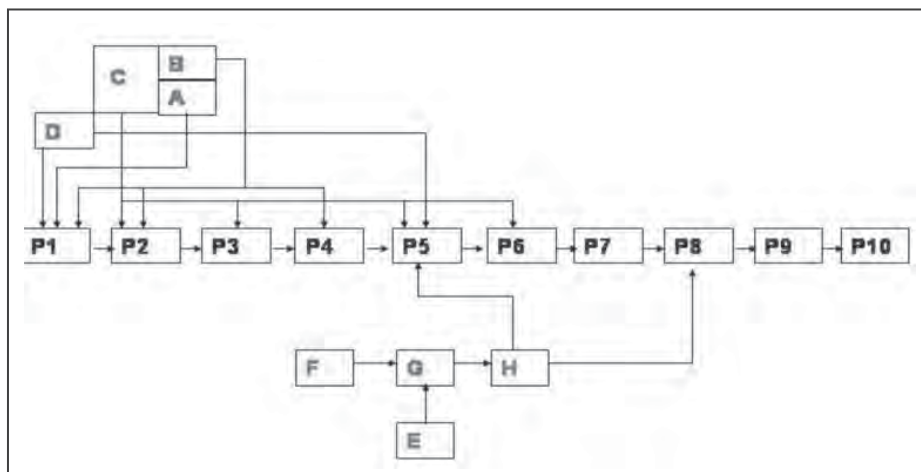
#### 2.1 Cuantificación de anomalías

##### 2.1.1 Línea de ensamble

Se realizó un esquema de cómo estaba diseñado el funcionamiento de la línea de ensamble.

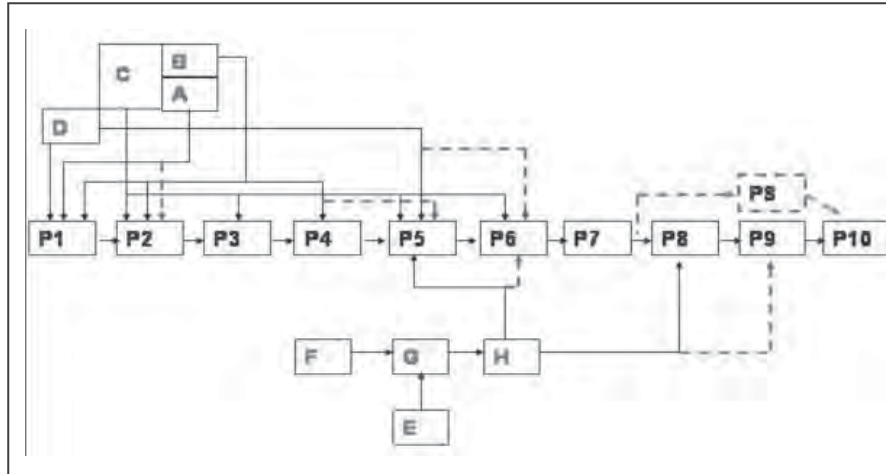
### ILUSTRACIÓN 2

#### Línea de ensamble diseñada



Luego se realizó el mismo esquema pero con los tiempos reales que se estaban presentando en la línea. De esta forma se identificaron los puestos que atrasan el ensamble.

**ILUSTRACIÓN 3**  
**Línea de ensamble real**



### 2.1.2 Paros en la línea

Los operarios de la planta de ensamble son concientes de la importancia de medir la cantidad de paros de línea, saber sobre sus raíces y dar ideas para posibles soluciones, por esto han ayudado a recopilar la mayor cantidad de información sobre los paros y sus causas, además de esto se suman las anomalías de ensamble y de la materia prima.

Actualmente la empresa se hace mediciones sobre las anomalías de ensamble pero los análisis de esta información solo se hacen esporádicamente, además de esto no se tiene clara la información de la procedencia de los paros de línea.

Se propone cuantificar los paros de línea por medio de un formato.

La recopilación de datos permite visualizar la procedencia de los paros de línea para saber cuales son los principales que se deben atacar para así lograr el objetivo de incrementar la eficiencia operacional de la línea de ensamble.

A continuación se muestran los datos totales recopilados en cuatro semanas, desde el seis de febrero hasta el tres de marzo del 2006. Los datos nos muestran que los problemas mas críticos son el material CKD, el proceso de ensamble, la pintura liquida y el material de integración nacional.

CÓD	TIEMPO IMPRODUCTIVOS	TOTAL MEDICIONES (minutos)
4	MATERIAL CKD	1380
9	PROBLEMAS OPERACIONALES	817
1	PINTURA MULTICOCHES	505
5	MATERIAL INT NACIONAL	411
16	REUNION	185
11	PROBLEMA TECNICOS	140
6	INSUMOS EN LA LINEA	65
12	CAMBIO DE REFERENCIA	47
2	PINTURA AUTOPALACIO	0
3	PINTURA PUNTO COLOR	0
7	PROGRAMACION	0
8	NACIONALIZACION	0
10	PROBLEMA DE CALIDAD	0
13	DAÑO DE ENERGIA	0
14	SISTEMA NEUMATICO	0
15	DAÑO MECANICO	0
	<b>TOTALES</b>	<b>3390</b>

### 2.2 análisis de los problemas

El análisis de los problemas se hizo con la ayuda de las herramientas del TPM como son el diagrama causa – efecto quien permitió desplegar cada una de las anomalías que presentaba cada problema seleccionado.

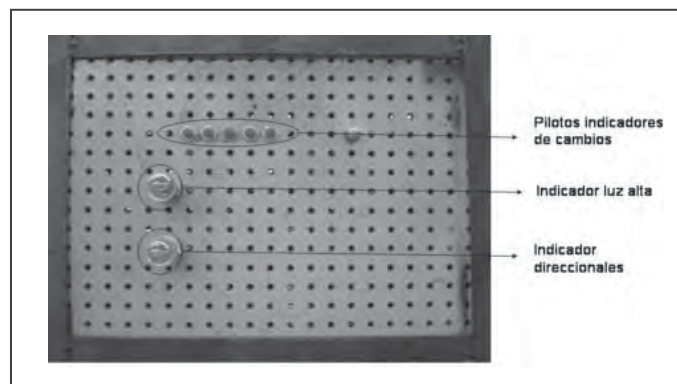
Otra herramienta utilizada es el método porque – porque que sirvió para identificar cual es la raíz de los problemas y su posible solución.

La herramienta principal utilizada para medir los tiempos y movimientos innecesarios en la línea y en sus preensambles fue el diagrama bimanual.

### 2.3 Implementación de soluciones

Después de tener identificados y analizados todos los problemas de la línea de ensamble, se procede a buscar e implementar soluciones como las siguientes.

**ILUSTRACIÓN 4**  
Revisión ramal eléctrico



**ILUSTRACIÓN 5**  
Antes y después preensamble guardapolvos



### 2.4 Impacto de las mejoras implementadas en el EGE

La eficiencia global de la línea aumento en el mes de abril comparada con los meses anteriores después de implementar las diferentes mejoras propuestas.

**ILUSTRACIÓN 6**  
**Cálculo del EGE después de implementar las propuestas**

Mes	Utilización (%)	Eficiencia (%)	Calidad (%)	EGE (%)
Diciembre	60,42	60,53	83,48	30,53
Enero	59,26	59,26	82,97	27,30
Febrero	56,42	56,42	82,99	27,54
Marzo	57,12	57,49	82,69	26,43
Abril	64,15	67,36	90,42	39,07

**CONCLUSIONES**

Al realizar la descripción de la línea de ensamble de AKT motos y de todos los componentes internos y externos que hacen posible un funcionamiento adecuado de esta, se encontraron una serie de paros por tiempos de preparación, paros menores, paros por mantenimiento, reproceso y producto defectuoso.

Por esta razón se realizó la medición del EGE donde se evidencia el estado de subutilización que disminuye la eficiencia global de la línea. Siendo esta una buena herramienta para monitorear la eficiencia del proceso, para así llegar a aprovechar al máximo todo el potencial de la línea de ensamble, esta medición es interesante en la empresa ya que hasta ahora no se tenía como una herramienta de verificación y debido a la facilidad de usarla se hace posible utilizarla periódicamente por el departamento de producción.

Para hacer las mediciones en la línea de ensamble es importante tener en cuenta los operarios, oír sus inquietudes y tomar en cuenta sus ideas, esto los hace sentir parte del proceso y así las mediciones hechas por ellos mismos son más efectivas y verídicas.

Para el análisis de los errores en la línea de ensamble se utilizó la herramienta del análisis de Pareto, la cual proporciona facilidad para interpretar los resultados y seleccionar los problemas que bajo mediciones reales tienen una mayor incidencia en el proyecto, esto permite

atacar los puntos débiles y concentrarse en ellos hasta que ya no hagan parte principal del problema; aunque siempre hayan algunos problemas que serán parte de la anomalía principal, la herramienta permiten enfocarse en los más críticos de todos.

Las mediciones elaboradas durante todo el desarrollo del proyecto y sus debidos análisis, mantuvieron informados tanto a la producción como a los operarios sobre las mejoras desarrolladas y los efectos que estas tienen sobre la línea de producción, por esto es importante que las mediciones se mantengan constantemente al igual que los análisis de éstas, para así hacer saber al equipo de trabajo que las mejoras por pequeñas que sean tienen efectos sobre la producción.

Las herramientas del TPM sirvieron para analizar las anomalías principales de la línea de ensamble. De esta forma se buscaron soluciones específicas a cada anomalía dependiendo de su origen. Gracias a la metodología utilizada soluciones son relativamente simples, pero logran aumentar la eficiencia de la línea de ensamble, no obstante, es importante tener en cuenta el criterio de los operarios y sus métodos de trabajo, pues son los operarios, los que están constantemente en el puesto de trabajo y conocen cada parte del proceso a fondo.

En la ilustración 7 se observa los ahorros y la disminución de los problemas de calidad que se presentan en AKT motos después de implementar las propuestas



desarrolladas por el proyecto. Este ahorro se calculo con los datos obtenidos durante el mes de abril y proyectados durante un año en línea recta.

**ILUSTRACIÓN 7**  
**Ahorro en costos por año**

<b>COSTO x AÑO</b>	<b>PESOS (\$)</b>
Antes del proyecto	\$26.130.559
Después del proyecto	\$21.888.656
<b>AHORRO x AÑO</b>	<b>\$14.241.903</b>

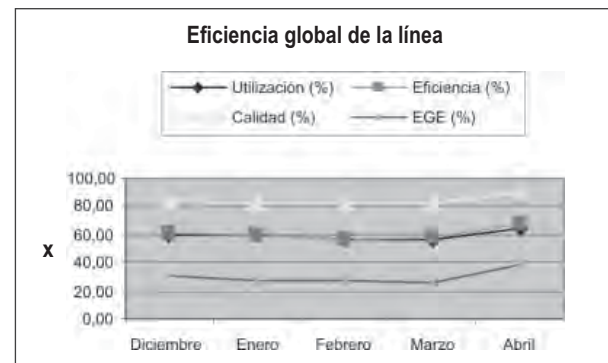
La línea de ensamble de AKT motos antes del proyecto tenia un tiempo de 25 minutos aproximado para el ensamble por moto. Después de las mejoras implementadas este tiempo se redujo a 22 minutos con 30 segundos. Este ahorro de tiempo se evidencia en el aumento de motos ensambladas en el mes de abril como se puede observar en la figura 8

**ILUSTRACIÓN 8**  
**Motos ensambladas**

<b>MES</b>	<b>Motos ensambladas</b>
	<b>Total</b>
Diciembre	2300
Enero	2185
Febrero	2070
Marzo	2080
Abril	2560

No todo esto, es producto únicamente de las mejoras realizadas en este proyecto de grado, también el trabajo de concientización de los operarios, las ideas aportadas por los demás equipos de trabajo, el compromiso de los empleados (a todos los niveles de la compañía), ayudaron que los resultados fueran buenos en cuanto a la eficiencia de la línea de producción, la cual tuvo un incremento del EGE tal como lo muestra la grafica a continuación.

**ILUSTRACIÓN 9**  
**Gráfico del aumento del EGE**



Los resultados entregados por el proyecto se espera que aumenten cada mes, debido a la experiencia y capacitación que van adquiriendo los operarios, actualmente la edad promedio de los trabajadores de la empresa es de 24 años, son operarios que en muchas ocasiones es la primera vez que trabajan en una línea de ensamble, por lo tanto es de esperarse que con la experiencia adquirida y el tiempo de trabajo continuo, la eficiencia local de cada uno de ellos aumente con el transcurso del tiempo.

## RECOMENDACIONES

Capacitar a los empleados en cuanto a las mejoras enfocadas "kaizen", que conozcan la herramienta a fondo para que desarrollen y ejecuten las ideas propuestas por los grupos de trabajo, así aprovechar la juventud de los operarios e incentivarlos a que se hagan mejoras que incrementen el rendimiento de la ensambladora de motocicletas.

Crear grupos de trabajo interdisciplinarios con el personal interesado, para que se lleven a cabo y ejecuten ideas que ayuden a mejorar los niveles de producción, que den soluciones a posibles problemas o anomalías que se presentan en la ensambladora.

Según las mediciones realizadas en este proyecto, el producto de integración nacional es uno de los que mas afecta la eficiencia operacional de la línea de ensamble, por lo tanto buscar la manera de comprometer a estos



proveedores con la producción; si es necesario, llevar un control y una evaluación de los paros causados y el valor monetario que esto tiene para la compañía en motos no ensambladas y a su vez penalizaciones por parte de pedidos de mercancía posteriores

Los problemas analizados en este proyecto de grado son los que según las mediciones dieron un mayor porcentaje en el análisis de Pareto, habiendo disminuido estos problemas son otros los que tienen un porcentaje mayor en este análisis, por esto la recomendación es que las mediciones sean continuas y que los análisis sean cíclicos, para así detectar las principales anomalías que afectan la línea de producción. De esta forma se implementan mejoras continuas que acerquen a la empresa al objetivo de cero defectos.

Desarrollar el formato de ficha estándar para cada puesto de trabajo, de esta forma los operarios sabrán de que forma deben realizar sus operaciones de manera efectiva y segura.

Crear un mayor número de incentivos a los operarios por realizar su trabajo de forma destacada o por hacer propuestas a la empresa. Esto lleva a que los involucrados directamente en la línea de ensamble busquen mejoras basadas en su experiencia.

## **BIBLIOGRAFÍA**

ÁLVAREZ L. Humberto. Mantenimiento, La esencia del TPM. Edición, Barcelona. España. 2003. p 33 – 46. ISBN 02144344.

CUATRECASAS. Luis. Calidad, Gestión integral de la calidad. Edición, Barcelona. España. 2000. p 62 – 67. ISBN 8480882824

THE JAPAN INSTITUTE OF PLANT MAINTENANCE. Focused equipment improvement for TPM teams. Portland: Productivity Press. 1997. p 1 - 50. ISBN 1563270811.

THE PRODUCTIVITY DEVELOPMENT TEAM. OEE for operators. Portland: Productivity Press. 1999. 63 p. ISBN 1563272210

SUZUKI, Tokutaro. TPM in process industries. Portland: Productivity Press, 1994. p 45 -59. ISBN 848702218

## **INTERNET**

### **CURSOS@**

Análisis de los movimientos del cuerpo. [En línea]. Información acerca de cómo analizar los movimientos y hacerlos eficientes. [Citado el 18 de Febrero del 2006]. Disponible en: <http://148.202.148.5/cursos/id209/mzaragoza/unidad2/unidad2SEIS.htm>

### **MTAS@**

Fiabilidad de los componentes. [En línea]. Información acerca de la tasa de fallos. [Citado el 4 de febrero del 2006]. Disponible en: [http://www.mtas.es/insht/ntp/ntp\\_316.htm](http://www.mtas.es/insht/ntp/ntp_316.htm)

### **MONOGRAFÍAS@**

Mantenimiento productivo total. [En línea]. Información de las generalidades del mantenimiento productivo total. [Citado el 15 de Enero del 2006]. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos14/manufact-esbelta/manufact-esbelta2.shtml>

### **TPMONLINE@**

Mantenimiento productivo total. [En línea]. Información acerca de las principales características del SMED. [Citado el 25 de Enero del 2006]. Disponible en: [http://www.tpmonline.com/articles\\_on\\_total\\_productive\\_maintenance/articlstpm.htm](http://www.tpmonline.com/articles_on_total_productive_maintenance/articlstpm.htm)

# MODELACIÓN DE CONFIABILIDAD BASADA EN LA MEDICIÓN DE SÍNTOMAS DEL SISTEMA DE BOMBEO GEMI

JUAN DAVID CARO VÁSQUEZ

*jcarovas@eafit.edu.co*

Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS

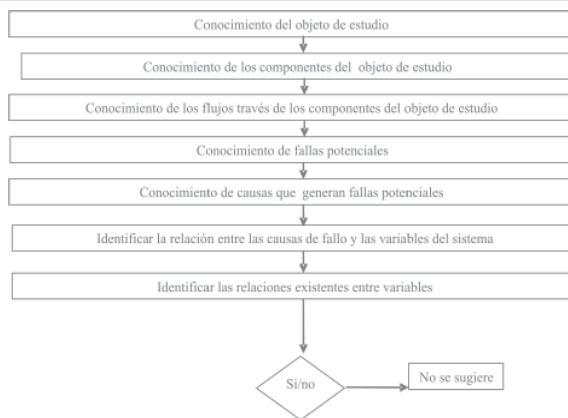
MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

ASESOR PRINCIPAL

ING. JUAN SANTIAGO VALLEJO

SECTOR BENEFICIADO

UNIVERSIDAD EAFIT



## RESUMEN

La confiabilidad es estudiada de varias maneras independientes pero correlacionadas, la más estudiada es la confiabilidad basada en estadística (registro de tiempos de falla), otra manera de análisis de confiabilidad es basada en modelación matemática, considerando cambios en los síntomas particulares de cada sistema.

El proyecto describe una metodología que analiza las bombas del sistema de bombeo GEMI (grupo de investigación - estudios de mantenimiento industrial) partiendo de una descripción de las bombas y sus componentes, determinando variables que afectan el sistema, ajustando posteriormente estas variables a un modelo matemático determinando un desgaste y luego la confiabilidad de cada bomba

## ABSTRACT

Reliability is studied in several independent ways, being the most studied the reliability based on statistics (failure times), another way of analyzing reliability is based on mathematical models which consider particular changes on the symptoms of each system.

This project describes a methodology that analyses GEMI (investigation group of industrial maintenance studies) pumps, beginning with a pump and parts description, indicating variables that affect the system, modelling each variable to find wear rates and reliability

## PALABRAS CLAVES

Modelación, desgaste, confiabilidad, análisis de variables, análisis de tendencias

## KEYWORDS

Modelling, wear, reliability, variable analysis, trend analysis

## INTRODUCCIÓN

La presencia de fallas potenciales en una máquina es una realidad que es necesario considerar. Para las máquinas o sistemas relevantes es incluso necesario estudiar o anticipar modos, causas y efectos de falla. Actualmente existen bases tecnológicas que permiten profundizar los estudios de los comportamientos de falla, y así obtener a partir de los mencionados estudios información de gran utilidad para quien vele por las mismas máquinas u otras similares

El proyecto de grado surge de la necesidad de determinar la factibilidad de estudios de desgaste, explorando la gama de resultados que este al concluir pueda arrojar. Se busca que los estudios puedan ser aplicados en cualquier otro aparato, instrumento o máquina, sin implicaciones tecnológicas o económicas severas.

La pretensión del proyecto es extender el campo de predicción de fallos para el sistema de bombeo GEMI brindando una opción de análisis distinto a los empleados hasta ahora, usando una metodología diferente a la propuesta por la estadística (considerando solo las fallas del sistema), es decir utilizando técnicas de modelación matemática valiéndose de variables de diseño, operación, degradación y mantenimiento.

## METODOLOGÍA

La metodología usada en el proyecto y sugerida como base para un estudio similar es la siguiente.

Conocimiento del objeto de estudio: se estudia el objeto, funcionamiento, interfaz, condiciones de operación, entorno, etc.

Conocimiento de los componentes del objeto de estudio: se realiza un estudio interno del objeto, determinando los componentes del mismo y la función particular de cada cual.

Conocimiento de los flujos a través de los componentes del objeto de estudio: se analizan los flujos: eléctricos,

mecánicos o energéticos que interactúan con cada componente previamente analizado.

Conocimiento y documentación de las fallas potenciales de los componentes del objeto: se determina como puede el objeto fallar asociando dicha falla a algún o algunos componentes del objeto.

Conocimiento y documentación de las causas que generan las fallas potenciales de los componentes: determinar la justificación por la cual un componente o componentes dejan de cumplir sus funciones.

Identificar la relación entre las causas de fallo y las variables del sistema: Señalar la relación entre una o varias variables cuantificables y la falla potencial del sistema.

Identificar las relaciones existentes entre variables: Determinar las correlaciones entre variables para evitar estudiar fenómenos dependientes entre sí.

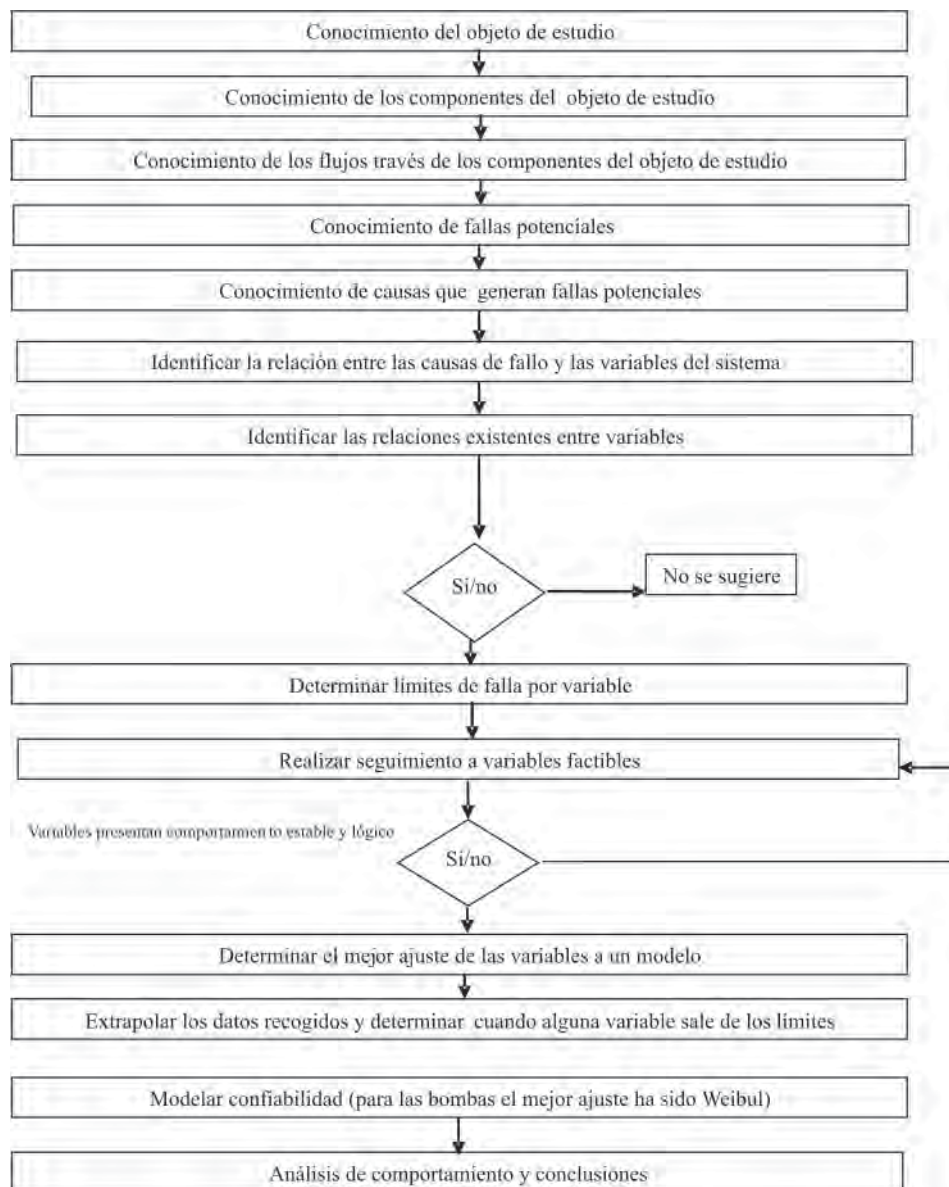
Determinar factibilidad de medición de variables: Analizar la posibilidad de realizar seguimiento a las variables del sistema basándose en costos, tecnología o cualquier consideración necesaria.

Determinar límites de falla por variable: Utilizando la información previamente recopilada se determina a partir de que valor de las variables se considera que el objeto de estudio está en falla.

Realizar seguimiento a variables factibles: Con la metodología adecuada medir las variables durante un tiempo significativo.

Determinar el mejor ajuste de las variables a un modelo (lineal, potencial, logarítmico u otro): Ajustar la información utilizando diferentes métodos de modelación, utilizando el tipo de tendencia que tenga mejor correlación y que su comportamiento sea físicamente posible y lógico.

Extrapolar los datos recogidos y determinar tiempos de falla para cada elemento estudiado y determinar la confiabilidad de cada cual.



### 3. RESULTADOS

Los resultados de la metodología, no fueron satisfactorios, debido a que en la elaboración de la parte final del proyecto se encontraron razones de peso para desvirtuar el análisis de varias variables, como dispersión y falta de correlación de las mismas, al igual no se consideraron variables externas al sistema que afectan el desempeño del mismo.

Se determina con técnicas estadísticas Weibull, la confiabilidad de cada bomba. Pero no se encuentra

relación alguna entre cada ellas como para analizarlas bajo este método como un sistema.

### CONCLUSIONES

#### CONCLUSIONES DE RESULTADOS

El estudio de la degradación mediante el seguimiento de las variables es desde sus comienzos un estudio dinámico. A partir de cada nuevo dato se puede depurar y mejorar los resultados a partir de los obtenidos.

Es recomendable al tomar datos comparar con los anteriores para verificar tendencias y comportamientos que no parezcan normales o que no puedan ser atribuidos al desgaste, de esta manera el monitoreo como tal vela por los resultado de análisis de degradación.

Los hallazgos de correlaciones entre sistemas y variables oscilan mucho. Para obtener estudios adecuados es necesario verificar que las condiciones de operación sean controladas al igual que las condiciones de monitoreo, justificando variaciones entre las mismas partes de un sistema global.

La manera más práctica de modelar y obtener conclusiones a partir de los datos iniciales es ajustar los datos tomados a un tipo de tendencia común: lineal, exponencial, potencial o logarítmica. Se excluye concienzudamente la modelación polinómica porque esta no se ajusta a la realidad, mostrando resultados utópicos.

La confiabilidad no varía mucho al considerar los datos extraídos de la degradación. Estos deben ser considerados para poder predecir comportamientos de los equipos analizados.

## CONCLUSIONES METODOLÓGICAS

Es necesario realizar el monitoreo de variable en los mismos marcos de tiempo para relacionar los componentes del sistema con el sistema como tal.

Se deben validar las mediciones tomadas mediante alguna metodología que permita certeza de las mediciones como tal, se recomienda un control estadístico de procesos para cada variable.

La selección y seguimiento de variables es vital para el feliz término del estudio, esta fase es la que mas tiempo debe consumir, ya que al estar correctamente definida cada variable y sin variaciones inexplicables se puede obtener un resultado adecuado alimentado por más variables.

Se debe implementar una manera de verificación dinámica de datos. Esta ha de validar los mismos y adecuarlos a medida que se toma a un modelo preestablecido.

El estudio debe ser repetido con otras condiciones de mejora de la metodología para obtener datos satisfactorios.

## BIBLIOGRAFÍA

BLASCO FONT DE RUBINAT, Jaume. Los Artefactos y sus Proyectos. Barcelona, España: Edicions UPC, 2000. ISBN: 8-48-301234-0

CEMPEL, C; Natke, H. G. y Yao, J. T. P. Symptom Reliability and Hazard for Systems Condition Monitoring. Paper.

DUPOW, Heiner y Blount, Gordon. A review of reliability prediction. Aircraft Engineering and Aerospace Technology. Bradford: 1997. ISBN: 00022667.

ESCOBAR R., Luis A; Villa D, Enrique R y Yañez C, Sergio. Confiabilidad: Historia, estados del arte y desafíos futuros. DYNA. Medellín: 2003. ISSN:0012-7353

KARASSIK, Igor J. Pump Handbook. McGraw Hill. London: 2001. ISBN: 0070340323

KNEZEVIC, Jezdimir. Mantenimiento. Madrid, España: Isdefe,1996. ISBN: 8-48-933808-6

MCNAUGHTON, Kenneth J. Bombas; seleccion, uso y mantenimiento. McGraw-Hill. Mexico. ISBN: 9684220367

NACHLAS, Joel A. Fiabilidad. Isdefe. Madrid: 1995. ISBN: 84-89338-07-8.

SELIVANOV, A. I. Fundamentos de la teoría de envejecimiento de las máquinas. Moscú, URSS: Mir. 1972.

WARBURTON D, Strutt J E, y Allsopp K. Reliability prediction procedures for mechanical components at the design stage. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part E: Journal of process mechanical engineering. Londres: 1998. ISBN: 09544089.

## **CIBERGRAFÍA**

FLUIDE DESIGN, [En Línea] [Revisión de hipervínculo 9 de Junio de 2006]. Disponible en:  
<http://www.fluidedesign.com/>

IMAGING1, [En línea] [Revisión de hipervínculo 9 de Junio de 2006]. Disponible en Internet en:  
<http://www.imaging1.com>

MAINTENANCE WORLD, [En línea] [Revisión de hipervínculo 9 de Junio de 2006]. Disponible en Internet en: <http://www.maintenanceworld.com>

MANTENIMIENTO MUNDIAL, 2006, [En línea] [Revisión de hipervínculo 9 de Junio de 2006]. Disponible en Internet en: <http://internal.dstm.com.ar/sites/mmnew/her/def.asp>

MONOGRAFÍAS, “Franco Irene”, [En línea] [Revisión de hipervínculo 9 de Junio de 2006]. Disponible en Internet en: <http://www.monografias.com/trabajos17/mantenimiento-predictivo/mantenimiento-predictivo.shtml>

MONOGRAFÍAS, “Armando Hidalgo Mascorro”, [En línea] [Revisión de hipervínculo 9 de Junio de 2006]. Disponible en Internet en: <http://www.monografias.com/trabajos27/manual-amef/manual-amef.shtml>

SOLO MANTENIMIENTO, 2006, [En línea] [Revisión de hipervínculo 9 de Junio de 2006]. Disponible en Internet en: <http://www.solomantenimiento.com/>

UNIVERSIDAD DE CHILE [En línea] [Revisión de hipervínculo 9 de Junio de 2006]. Disponible en Internet en: <http://cipres.cec.uchile.cl/~mvivanco/>



# MODELO PARA EL ESTUDIO DEL PROCESO DE IMPLANTACIÓN DEL MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL EN EMPRESAS BAJO UN ESCENARIO DE FUSIÓN

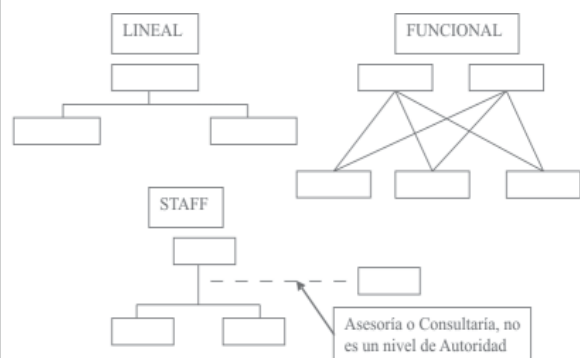
ALEJANDRO AGUDELO ACOSTA  
*aagudel8@eafit.edu.co*

LEONARDO F ESCOBAR ROJAS  
*lescoba6@eafitedu.co*  
Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS  
MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

ASESOR PRINCIPAL  
Ing. GUSTAVO VILLEGAS LÓPEZ

SECTOR BENEFICIADO  
UNIVERSIDAD EAFIT



## RESUMEN

Las empresas en general, pueden mostrar diferencias en las acciones adelantadas en las prácticas de implantación de TPM y en los resultados obtenidos; sin embargo, el TPM propone una metodología de implantación en la cual se detallan los pasos que las empresas deben seguir para que al final se obtengan los beneficios esperados.

El levantamiento de los casos de las empresas que componen a Inverchocolates S.A. son el objeto de la investigación adelantada en el tema de fusión de empresas por el grupo GEMI, Grupo de Estudios y Mantenimiento Industrial, de la Universidad EAFIT. Este muestra discrepancias que conllevan a proponer un instrumento que permita el estudio de estos, permitiendo que se vislumbre el TPM (total productive maintenance) no solo a nivel corporativo sino también bajo un eventual escenario de fusión entre empresas, con el fin de implantar políticas que permitan aprovechar la sinergia y el aprendizaje entre ellas.

Vale la pena resaltar que el modelo explicativo para el estudio del TPM en empresas bajo escenario de fusión, hace énfasis sobre la componente administrativa de cada una de las empresas incluidas en el proceso, dado que es este el lugar donde se originan las decisiones mas relevantes.

## ABSTRACT

The companies in general, can show differences in the actions advanced in the practices of implantation of TPM and in the obtained results; nevertheless, the TPM proposes an implantation methodology in which the steps are detailed that the companies must follow so that in the end the awaited benefits are obtained.

The rise of the cases of the companies that compose to Inverchocolates S.A. is the object of the investigation advanced in the subject of fusion of companies by group GEMI, University, Training group and Industrial Maintenance EAFIT. This sample discrepancies that



entail to propose an instrument that allows the study of these, allowing that also glimpses the TPM (total productive maintenance) not only at corporative level but under a possible scene of fusion between companies, with the purpose of implanting policies that allow to take advantage of sinergia and the learning among them.

It is worth the trouble to emphasize that the explanatory model for the study of the TPM in companies under fusion scene, makes emphasis on the administrative component of each one of the companies including in the process, since it is the this place where the excellent decisions are originated

### **PALABRAS CLAVE**

Comité Mantenimiento Productivo Total (TPM)  
Grupo de estudio y mantenimiento industrial (GEMI)  
Grupo Empresarial Antioqueño (GEA).

### **KEY WORDS**

Training group and industrial maintenance (GEMI)  
Total Productive Manintenance (TPM)  
Enterprise group Antioqueño (GEA) Committee

### **INTRODUCCIÓN**

El TPM propone una metodología prescriptiva de implantación en la cual se detallan los pasos que las empresas deben seguir para que al final se obtengan los beneficios esperados; sin embargo, estudios previos realizados sobre las actividades desplegadas por parte de las empresas relacionadas con TPM, muestran algunas diferencias significativas atribuibles a la fase en que se encuentra la implantación misma del TPM, la actividad propia de cada empresa, su estilo de dirección

y su cultura predominante entre otros.

Las diferencias mencionadas, son altamente notorias de una cultura a otra, es decir, de la cultura oriental, en donde tiene su origen, a la cultura occidental; pero estas diferencias no se quedan sólo ahí, se presentan aún en empresas ubicadas en la misma región geográfica, e incluso en empresas pertenecientes a un mismo grupo empresarial.

En nuestro entorno algunos grupos empresariales cuentan con empresas ubicadas en diferentes sectores industriales, algunas de éstas han avanzado significativamente en la implantación de TPM, es el caso de Industrias Alimenticias NOEL S.A., Industrias Zenú S.A. y Dulces de Colombia S.A. quienes recientemente se fusionaron con Nacional de Chocolates, empresa que tiene una historia reciente en el TPM.

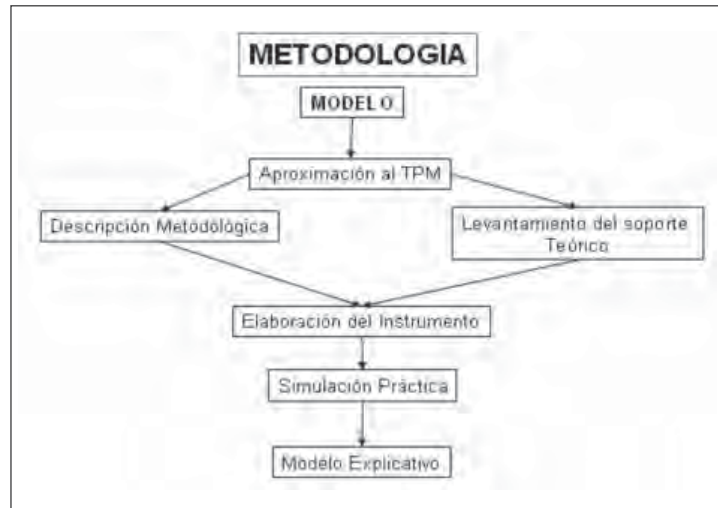
Los procesos seguidos por estas empresas muestran discrepancias que conllevan a proponer estudios en los que se homologue el TPM a nivel corporativo como política de la Alta Dirección de las empresas y que aproveche la sinergia y el aprendizaje organizacional de las diferentes

Experiencias para alcanzar el máximo beneficio (Tomado de la propuesta PY 0583, "Homologación del proceso de implantación de TPM en empresas del Grupo Empresarial Antioqueño recientemente fusionadas").

El proyecto propone un modelo explicativo para el estudio del proceso de implantación del Mantenimiento Productivo Total (TPM), en empresas bajo un escenario de fusión, el cual se elabora a partir de un estudio que se realiza a partir de una revisión bibliográfica de los temas a los cuales está relacionada.

## 1. METODOLOGÍA

### ESQUEMA



### 1.2 Importancia

Este Trabajo Dirigido de Grado está inmerso en la propuesta de investigación PY 0583, "Homologación del proceso de implantación de TPM en empresas del Grupo Empresarial Antioqueño recientemente fusionadas".

El levantamiento del estado actual de los procesos de implantación de TPM en las industrias pertenecientes al Grupo Empresarial Antioqueño posee alto valor para los estudiantes que toman la asignatura de Mantenimiento Productivo Total en el énfasis en mantenimiento en pregrado de ingeniería mecánica, los estudiantes de segundo semestre de la especialización en Mantenimiento Industrial y estudiantes de la maestría en

ingeniería que desean orientar investigaciones futuras en el tema.

Dentro del plan operativo del departamento de ingeniería mecánica se tiene establecido el fortalecimiento de la investigación en el área de mantenimiento. Los resultados de este proyecto afianzan la posibilidad de tener investigaciones futuras cofinanciadas por la industria.

Específicamente el GEA. (Tomado de la propuesta PY 0583, "Homologación del proceso de implantación de TPM en empresas del Grupo Empresarial Antioqueño recientemente fusionadas").

## ILUSTRACIÓN 1

### Fases relacionadas al proyecto

	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 4
<b>ALTA GERENCIA</b>	Educación y creación de una estructura gerencial	Manejar los comités de TPM y revisar diagnósticos gerenciales	Manejar los comités de TPM y revisar diagnósticos gerenciales	Manejar los comités de TPM y revisar diagnósticos gerenciales, además incluir metas en los objetivos estratégicos del negocio

Fredendal et al, Winter – 1997

### 1.3 Análisis de fases

Para analizar la metodología de implantación del TPM, en un escenario de fusión se tomó como referencia la teoría que plantea Fredendall and Lawrence, 1997. La teoría de soporte trata las cuatro etapas de la metodología de implantación del TPM, que son: Preparación, Implementación preliminar, Implementación completa de TPM y Estabilización o Perpetuación.

Para la fase 1: Educación y creación de una estructura gerencial.

Para la fase 2: Manejar los comités de TPM y revisar diagnósticos gerenciales.

Para la fase 3: Manejar los comités de TPM y revisar diagnósticos gerenciales.

Para la fase 4: Manejar los comités de TPM y revisar diagnósticos gerenciales, además incluir metas.

## 2. CUESTIONARIO

### 2.1 Descripción teórica

En el siguiente texto, se encuentran descritas y explicadas las consideraciones teóricas y conceptuales que se tienen para cada una de las cuestiones que se encuentran en cada fase del modelo que se plantea.

### FASE 1

**Preparación:** La alta gerencia tiene la responsabilidad de preparar un ambiente conveniente para la introducción del TPM. Esto se hace anunciando primero la decisión para introducir TPM y luego comenzando la educación necesaria para éste.

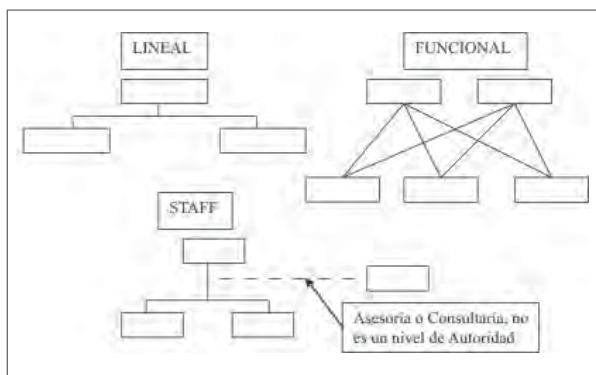
**Compromiso:** La alta gerencia demuestra su compromiso con los encargados, que son los primeros que se capacitan. Esto incluye visitar otras plantas que están utilizando o implementando el TPM y llevando a cabo otras actividades para superar la resistencia.

**Estrategia:** La gerencia utiliza generalmente un comité central pequeño de TPM para promover y coordinar la implementación del TPM. El comité se asegura, que todos los grupos de trabajo estén conformados por personas de todos los niveles establecidos. El comité también crea políticas básicas del TPM, metas alcanzables y cuantificables con las cuales se evaluarán los resultados de los grupos superiores. Después de establecer estas metas, se establecen estándares, los cuales ayudan al desarrollo de metas y objetivos. Al establecerse estos grupos, el comité del TPM ayuda a la alta gerencia a formular un plan maestro para el desarrollo del TPM. Esto incluye un plan para reducir las seis grandes pérdidas de equipo y para crear un programa de mantenimiento autónomo, un plan para el

mantenimiento creado por el departamento respectivo y un plan de educación y entrenamiento para mejorar habilidades del mantenimiento. (Fredendal et al, Winter 1997)

**Enfoque:** El Mantenimiento Productivo Total hace énfasis sobre la función del mantenimiento preventivo en equipos e instalaciones industriales. Varias aplicaciones del TPM mencionadas por Suzuki, indican que las metas y prácticas del Mantenimiento Productivo Total están estrechamente ligadas a sistemas de Manufactura de Clase Mundial y que son a menudo formuladas, en términos económicos de costos y valor agregado. El secreto de las compañías de mayor éxito radica en poseer estándares de calidad altos, tanto para sus productos como para sus empleados; por lo tanto el TPM es una filosofía que debe ser aplicada a todos los niveles jerárquicos en una organización, acompañada de un proceso de mejoramiento continuo que no tiene final. (Suzuki, Tokutaro 1994).

**ILUSTRACIÓN 2**  
**Tipos de Sistemas de Organización**



aiteco @2005

Las preguntas relacionadas a la fase 1, están relacionadas con la información anterior.

Los componentes de la organización son:

**Individuos y Grupos:** Se refiere a las personas que conforman a la organización, de ellas dependerá el éxito de ésta (psicológico y social). Detecta los roles de las personas.

**Labores y Tecnología:** La labor es el trabajo desempeñado por el individuo y la tecnología; son los conocimientos que se poseen, las técnicas y la maquinaria. "La persona se debe adaptar al puesto, y no viceversa". (Se debe establecer una concordancia entre ellos).

**Diseño de la Organización:** Es la manera en la que se relacionan todos los elementos antes mencionados.

**Gerencia:** Es la que se encarga de la coordinación y de la dirección de los elementos que componen una organización. Su función principal es: "Llevar todos los elementos hacia un mismo fin, o una misma meta", además cumple la función de "Equilibrador Neutral", lo cual significa: coordinar actividades para llegar a obtener resultados esperados.

Existen varios tipos de gerencia, según su nivel de importancia, estas son:

- Gerencia Alto Nivel (Directores)
- Gerencia Nivel Medio (Subdirectivos)
- Gerencia Primera Línea (Supervisores) (Fredendal et al, Winter 1997)

Las preguntas relacionadas a la fase 1, están relacionadas con la información anterior.

## FASE 2

Implementación preliminar: es "la entrada" del programa de TPM. En esta fase, el trabajador comienza a experimentar el TPM con las actividades del entrenamiento dirigidas a eliminar las seis grandes pérdidas, individualmente.

**Estrategia:** El comité de TPM identifica las tareas iniciales que van a ser asignadas a los operadores y coordina el desarrollo de procedimientos cuidadosamente detallados. La escritura de los procedimientos la pueden hacer los técnicos de mantenimiento en forma cuidadosa y con la ayuda de la gerencia. Ésta es una fase importante de la puesta en práctica de las actividades y debe ser supervisada cuidadosamente por parte de la gerencia. La

gerencia se debe asegurar, que los operadores reciban el entrenamiento suficiente para adquirir habilidades, y que los técnicos de mantenimiento cooperen y apoyen los esfuerzos del operador.

El Mantenimiento Productivo Total está relacionado con cambios en los modelos de gestión, por lo que algunos autores han preferido utilizar el término Administración de la Productividad Total (Total Productivity Management), manteniendo los principios originales propuestos y ampliando su cobertura incluso a empresas no industriales. (Suzuki, Tokutaro 1994).

El éxito o fracaso del TPM, depende de la creación de una organización bien estructurada que se fundamenta en el compromiso de la Alta Dirección, la cultura de la compañía y las características personales de sus integrantes. Es posible que una estructura organizacional sea adecuada para una empresa y no funcione en otra compañía con características similares, haciendo más difícil la posibilidad de guiar la implantación del TPM siguiendo al pie de la letra lo prescrito en la teoría.

**Diagnósticos:** Para eliminar los desperdicios, Toyota se convirtió en una de las primeras compañías en implementar TPM. Toyota mide seis categorías de las pérdidas del equipo a través de su sistema de producción. Estas son: 1) fallas de los equipos, 2) disposición y ajuste, 3) capacidad ociosa y paradas de menor importancia, 4) velocidad reducida, 5) defectos en el proceso, y 6) producción reducida. Éstas seis pérdidas se combinan en una medida de la eficacia total del equipo (OEE) que es: (Fredendal et al, Winter).

## COMITÉS

Existen varios grupos que conforman los comités, se distinguen los siguientes:

**Grupo formal:** surge por imposición de la gerencia.

**Grupo informal:** surge por afinidad entre los mismos trabajadores de la organización.

Un comité es un subgrupo extraído de un grupo formal para cumplir ciertos objetivos específicos, que pueden ser de tres tipos:

**Consultivo:** sólo sirven de consulta y tienen voz pero no voto.

**Decisorio:** tienen voz y voto, y puede tomar decisiones para implantarlas.

**Ejecutorio:** Llevan a cabo proyectos y desarrollan la decisión del proyecto.

Las características de los comités son:

### Participación voluntaria.

**Autoaprendizaje:** como miembro del comité puedo ir estudiando de mi propia cuenta para formar parte activa del comité. (Mejoras de la Competitividad Tecnológica)

Las preguntas relacionadas a la fase 2, están relacionadas con la información anterior y el pilar 4 del TPM.

## FASE 3

**Implementación completa del TPM:** Se concentra en mejorar la eficiencia del equipo.

**Estrategia:** Mediante el uso de una variedad de técnicas comunes del mejoramiento de calidad se enfocan los esfuerzos en los equipos que comúnmente fallan.

El éxito visible que elimina las fallas comunes, ayuda a superar la resistencia al cambio y desarrollar el impulso para cambios futuros, hasta el punto de comenzar el mantenimiento autónomo.

Muchas compañías pueden poner TPM en ejecución sin cambios de mayor importancia en sus prácticas de mantenimiento, tan pronto como los operadores de los equipos sean implicados en el programa de mantenimiento autónomo.

**Compromiso:** La participación activa de la alta gerencia se puede necesitar para superar con éxito la resistencia al cambio de los operadores y el personal de mantenimiento. Un ejemplo de una intervención es hacer que el departamento del mantenimiento sea el responsable del entrenamiento y de certificación de los operadores. Esto da al departamento de mantenimiento una cierta seguridad para llegar al éxito en la implantación (Patrick, 1991).

**Diagnóstico:** Con el entrenamiento apropiado, hasta el 80% de las tareas del mantenimiento pueden ser transferibles, del personal de mantenimiento al operador (Maggard and Rhyne, 1992). Sin embargo, el mantenimiento autónomo requiere un aumento substancial en los niveles de habilidad de los operadores. (axitia @2005)

La gerencia debe cuidadosamente considerar las habilidades requeridas y las capacidades actuales de sus operadores. Deben proporcionar el entrenamiento adecuado para los operadores, si no el cambio de las responsabilidades de mantenimiento se dificultará. La certificación del operador y el sistema de recompensas son cruciales para el éxito ó el fracaso del TPM. El proceso de certificación es necesario para asegurarse que el operador tiene las habilidades requeridas para conducir el mantenimiento autónomo de la máquina.

Uno de los métodos más simples de la certificación es hacer que el personal de mantenimiento evalúe las habilidades del operador. Al tiempo que los operadores alcanzan la certificación, sus habilidades mejoradas necesitan ser reconocidas por la gerencia. El resultado más importante de la transferencia de las tareas es que el operador se hace el "dueño" del equipo y asume las responsabilidades de su cuidado.

Habrá un aumento temporal en el trabajo pues el personal de mantenimiento entrena simultáneamente a operadores, desarrolla estándares y continúa haciendo su trabajo usual. Sin embargo tan pronto como TPM tome esta carga de trabajo, esta disminuirá gradualmente. Hasta ese momento, para prevenir el desgaste del personal, el comité del TPM y los mandos

medios encargados deben ayudar al programa de mantenimiento, coordinar el programa de entrenamiento autónomo del mantenimiento, y ayudar en el diagnóstico de pérdidas crónicas.

La alta gerencia y cargos medios deben diagnosticar cuidadosamente el progreso de la implementación para determinar qué tipo de entrenamiento es necesario y asegurarse que las habilidades estén dominadas. Esto requiere que la gerencia repase regularmente el progreso del mantenimiento para identificar sus necesidades. Estas variables pueden ser medidas directamente, puesto que el número de las actividades transferidas y de los procedimientos documentados puede ser cuantificado. Puesto que el progreso visible motiva el esfuerzo continuo de técnicos y de operadores del mantenimiento.

En la estructura de entrenamiento se debe tener un cambio en las prácticas establecidas para dar lugar a nuevas formas de operar y relacionar a las personas dentro del contexto organizacional. (Fredendal et al, Winter).

Clases y características de diagnósticos:

Los diagnósticos se realizan por medio del cumplimiento de las metas que se plantean en los objetivos del negocio, estos diagnósticos o análisis se llevan a cabo por varios métodos tales como:

**Análisis de escenarios:** tiene como objetivo descubrir las problemáticas futuras.

**Análisis de Vulnerabilidad:** establece las prioridades y orden de restablecimiento de los procesos.

**Análisis de Tendencias:** el analista compara una razón presente con las razones pasadas y futuras esperadas.

**Análisis del Puesto:** parte de identificar y separar las partes que lo componen, como:

Su ubicación dentro de la estructura organizacional.



Su descripción genérica o general.

Su descripción específica o funcional.

Los requerimientos o especificaciones del ocupante:

**Paso 1:** diseñar el Cuestionario que se utilizará.

**Paso 2:** seleccionar los Analistas.

**Paso 3:** levantar la información.

**Paso 4:** evaluar información.

**Paso 5:** presentar estudio. (aiteco @2005)

## 2.2 PREGUNTAS

¿Cómo está conformada la estructura del TPM, en la empresa?

¿Qué metodologías de educación y capacitación apoyaron a los integrantes de la estructura del TPM que posee la organización, para el buen desarrollo e implantación de la nueva metodología de trabajo?

¿Qué estructura gerencial se tiene para apoyar la nueva metodología de trabajo?

¿Qué comités, se crearon en la empresa para soportar la nueva metodología de trabajo?

¿Qué integrantes de la organización, conforman los comités de trabajo que se tienen en la estructura del TPM?

¿Qué papel desempeñó la alta gerencia en el proceso de creación de comités y estructuras gerenciales y su respectiva capacitación?

¿Qué tipo de diagnósticos gerenciales se tienen, para llevar un seguimiento y proveer una buena retroalimentación a los comités pertenecientes a la estructura del TPM?

¿Qué métodos tienen la alta gerencia y los líderes de los grupos de trabajo para monitorear el progreso de implantación del TPM y del desempeño del personal?

¿Qué procedimientos tiene la alta gerencia para certificar las habilidades de los operadores y que sistemas de recompensa se tienen?

¿Cómo hacen los altos mandos para darse cuenta qué tipo de entrenamiento hace falta para lograr sus objetivos?

¿Qué metas ha incluido la gerencia en la parte del mantenimiento en la estrategia del negocio?

¿Qué sectores de la organización sobresalen en cuanto a la disminución de fallas y qué los caracteriza?

¿Qué metodologías son empleadas por los líderes de los equipos para evaluar el desempeño de los equipos? Y que metodologías de entrenamiento aplican a los equipos donde se encuentran debilidades?

## 3. CONCLUSIONES

El modelo propuesto para el estudio del proceso de implementación del TPM en empresas bajo un escenario de fusión se adaptó de acuerdo al modelo propuesto por McAdam y McGeough en el año 2000, en el artículo "Implementing Total Productive Maintenance in multi-union manufacturing organizations: overcoming job demarcation" (Total Quality Management, Vol. 11, No. 2. 187 - 197).

La metodología propuesta en dicho artículo, y adaptada a este trabajo investigativo, sugiere un algoritmo sencillo de tres pasos: (1) Cuestionario y entrevistas con organizaciones, Entrevista de un empleado que labora en una empresa que tiene en práctica el TPM, y conclusiones, recomendaciones y contrastes.

Frendal et al (2000), en su artículo "Maintenance: Modeling Its Strategic Impact" (Journal of Managerial



Issues, Vol. XI, Number 4, 440 - 453), sugiere una serie de hipótesis que deben ser cumplidas para cada una de cuatro fases del proceso de implementación del TPM, orientado a cuatro niveles de la organización: alta gerencia, gerencia de nivel medio, técnicos de mantenimiento y operadores, para que este sea exitoso.

Dentro de las particularidades de la adaptación de dicho modelo en el proyecto de investigación que aquí se presenta, se resalta la importancia de dirigir dicho proceso a la alta gerencia organizacional, lugar donde tiene verdadero impacto las decisiones en la empresa.

Acerca del modelo formulado:

El modelo propuesto se basa en un cuestionario de preguntas orientado a la alta gerencia de cada una de las empresas en proceso de fusión. Dichas preguntas hacen referencia a cada una de las fases del proceso de implementación del TPM propuesto por Fredendal et al (2000).

El cuestionario diseñado está compuesto por 14 preguntas las cuales se encuentran inmersas en el soporte teórico de la estructura de las cuatro fases del proceso de implementación del TPM: Preparación, Implementación Preliminar, Implementación Completa del TPM y Estabilización ó Perpetuación.

Se requiere que las 14 preguntas sean respondidas por las personas en cabeza de los correspondientes procesos de implantación del TPM en las empresas que se encuentren bajo el escenario de fusión, intentando reflejar de la mejor manera la situación de las empresas trabajando de forma independiente y así obtener la información necesaria para alcanzar a desarrollar de la mejor manera el proceso de homologación del TPM sujeto al proceso de fusión.

Se encuentra de suma importancia, observar como en el modelo explicativo que se plantea para ilustrar todo el modelo de estudio que acá se propone, aborda de manera simple los flujos de información y retroalimentación que se manejan entre las diferentes empresas y entre

la misma empresa, dando lugar a que la información que se maneja entre empresas va referida a los qué's y la información que se maneja dentro de la empresa va referida a los cómo's. Los qué's están relacionados con las estrategias manejadas a nivel corporativo y los cómo's, están relacionados a la manera de llevar a cabo dichas estrategias dentro de la compañía.

#### 4. BIBLIOGRAFÍA

BRAH S.A, Chong W.K, 2004. Relationship between total productive maintenance and performance. Int. J. Prod. Res. Vol. 42, No. 12, Pg: 2383 – 2401.

Fredendal et al, Winter 1997. Maintenance: Modeling Its Strategic Impact. Journal of Managerial Issues. Vol. IX, No. 4, Pg: 440 – 453.

LICKE Liselott, 2003. Team Development when Implementing TPM. Total Quality Management, Vol. 14, No. 2, Pg205-213.

MCADAM, Rodney, MCGEOUGH Fergal, 2000. Implementing Total Productive Maintenance in Multi-Union Manufacturing Organizations: Overcoming Job Demarcation. Total Quality Management, Vol. 11, No. 2, Pg: 187 – 197.

MCADAM, Rodney & DUFFNER Anne-Marie, 1996. Implementation of total productive maintenance in support of an established total quality programme. Total Quality Management, Vol. 7, No. 6, Pg: 613-630

MEGGARD, B.N, and D.M. Rhyne. 1992. Total productive maintenance: A Timely Integration of production and Maintenance. Production and Inventory Management Journal 4: 6-10.

Nachi-Fujikoshi, Instituto de Mantenimiento de Plantas de Japón. Training for TPM, 1986. ISBN 0915299771.

## **INTERNET**

Consumaseguridad. Diario de la seguridad alimentaría. Última visita en Septiembre de 2005.  
<http://www.consumaseguridad.com/web/es/investigacion/2004>

Desarrollo de Personal y Capacitación para un Desempeño Efectivo. Última visita en Marzo de 2006.  
<http://www.monografias.com/trabajos25/desarrollo-y-capacitacion/desarrollo-y-capacitacion.shtml>

Mejoras de la Competitividad Tecnológica Última visita en Septiembre de 2005.  
<http://pacific.commerce.ubc.ca/nakamura>

Estructuras Administrativas. Última visita en Abril de 2006. <http://www.gestiopolis.com/recursos/documentos/fulldocs/rrhh/capydesarrollo.htm>

Estructuras Administrativas. Última visita en Abril de 2006. <http://www.aiteco.com/analpues.htm>

Página de Internet, Estructuras Administrativas. Última visita en Abril de 2006

# **DESARROLLO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO BASADO EN EL ANÁLISIS FMECA Y MONITOREO MEDIANTE EL SOFTWARE AM PARA UN SISTEMA GEMI CMD BOMBAS**

**JUAN FELIPE RÍOS PUERTA**  
*jriospu2@eafit.edu.co*

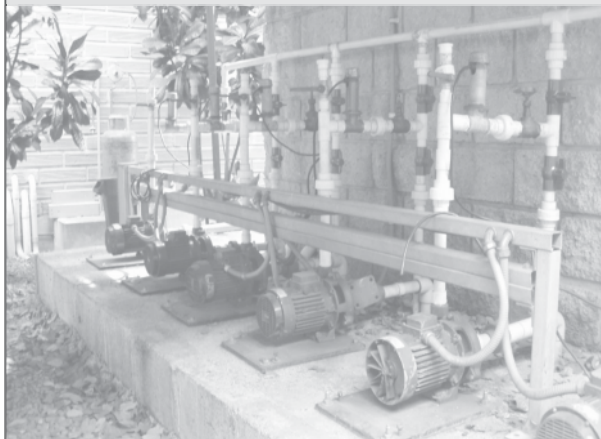
**JULIÁN GARCÉS GÓMEZ**  
*jgarcesg@eafit.edu.co*  
Departamento de Ingeniería Mecánica

**ÁREA DE ÉNFASIS**  
MANTENIMIENTO DE SISTEMAS TÉCNICOS

**ASESOR PRINCIPAL**  
ESP. ING. JHON HARVY HENAO MARTÍNEZ

**COASESOR**  
PHD. ING. LUIS ALBERTO MORA GUTIÉRREZ

**SECTOR BENEFICIADO**  
Grupo de Investigación GEMI  
Universidad EAFIT



## **RESUMEN**

El proposito de este proyecto es realizar un plan de mantenimiento preventivo basado en tareas proactivas en el sistema GCB<sup>1</sup>, de igual forma desarrollar una metodología completa de análisis de fallas FMECA<sup>2</sup> para los sistemas de bombeo buscando como objetivo final su implementación en un software de mantenimiento, en este caso el Software AM<sup>3</sup>.

## **ABSTRACT**

The purpose of this project is to realize a plan of preventive maintenance based on proactive tasks in the system GCB, of equal form to develop a complete methodology of analysis of faults FMECA for the systems of pumping looking as final objective the implementation in a software of maintenance, in this case the Software AM.

## **PALABRAS CLAVE**

Tareas proactivas, FMECA, software de mantenimiento.

## **KEY WORDS**

Proactive tasks, FMECA, software of maintenance.

## **INTRODUCCIÓN**

El análisis FMECA es desarrollado en un sistema de bombeo que consta de seis bombas y motores de iguales características en paralelo. Cada equipo consta además de sus respectivas protecciones, elementos de arranque y paradas, una red hidráulica y un sistema automatizado de monitoreo continuo.

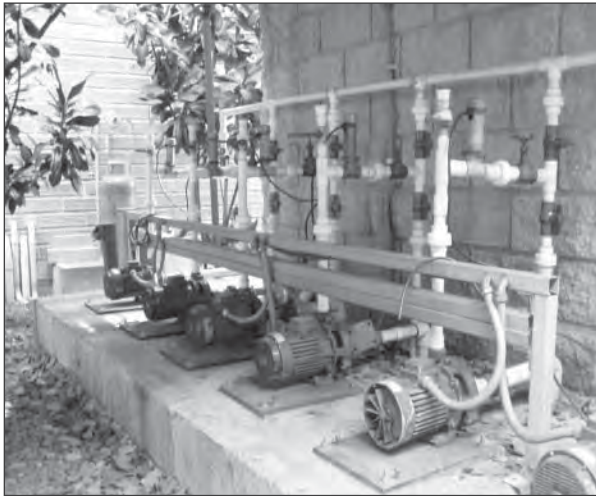
---

<sup>1</sup> GCB - GEMI CMD Bombas.

<sup>2</sup> *FMECA Failure Mode, Effects Causes and Criticality Analysis* – Análisis de los Modos, los Efectos, las Causas y las Criticidades de las Fallas.

<sup>3</sup> Administrador de Mantenimiento.

### ILUSTRACIÓN 1 Sistema de bombeo



La solución se desarrolla mediante la inspección e identificación de las áreas o ensambles en las cuales es más probable que se den fallas del sistema mediante herramientas de mantenimiento preventivo, tareas preactivas y mediciones del RPN<sup>4</sup>.

El estudio evalúa tres aspectos del sistema de bombeo y su operación los cuales se pueden definir como las condiciones anticipadas de operación y la falla más probable, el efecto de falla en el rendimiento, y por último, la severidad de la falla en el mecanismo evaluando la probabilidad de la falla mediante una jerarquización de cada una de las tareas a realizar en los diferentes elementos o equipos, con el fin de priorizar los esfuerzos en los equipos que más lo requieran de acuerdo con su grado de criticidad (RPN). (MORA, 2005, 188).

En la aplicación final del trabajo se realiza un plan de mantenimiento preventivo para el sistema de bombeo mediante la programación de inspecciones periódicas programadas racionalmente sobre el sistema mencionado, con el fin de detectar condiciones o estados inadecuados de esos elementos, que pueden ocasionar circunstancialmente paros en el sistema o deterioro grave de las bombas, y realizar en forma permanente

el cuidado de mantenimiento adecuado del sistema de bombeo para evitar tales condiciones, mediante la ejecución de ajustes o reparaciones, mientras las fallas potenciales están aún en estado inicial de desarrollo (MORA,2005,231).

### ANÁLISIS FMECA

El análisis de los modos, los efectos, las causas y las criticidades de las fallas es una técnica empleada para cuantificar y clasificar las fallas críticas en el diseño del producto o el proceso. Comprende la identificación de todas las características funcionales y secundarias. Así mismo, se estima la probabilidad y la severidad de la falla (DUFFUAA,1996,270).

El FMECA es una técnica de ingeniería usada para definir, identificar y eliminar fallas conocidas o potenciales, problemas, errores, y otras fallas del sistema como procesos, diseños o servicios antes de que alcancen a llegar al consumidor (OMDAHL, 1998, 27).

Las etapas de desarrollo del procedimiento FMECA son:

- Describir las funciones: primaria y secundarias de los equipos.
- Establecer todas las fallas funcionales reales y potenciales conocidas.
- Describir los modos de fallas.
- Evaluar las consecuencias y los efectos de cada modo de falla, con su falla y su función.
- Medir el RPN mediante la evaluación de la severidad, la probabilidad de ocurrencia y la posibilidad de detección.
- Establecer las acciones correctivas o planeadas.
- Realizar las tareas Proactivas.
- Medir nuevamente el RPN y replantear las acciones.

<sup>4</sup> RPN Risk Priority Number – Número de Prioridad de Riesgo.

## MANTENIMIENTO PREVENTIVO

El mantenimiento preventivo es la ejecución de un sistema de inspecciones periódicas programadas racionalmente sobre el activo fijo de la planta y sus 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, equipos o instalaciones, 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 aún en estado inicial de desarrollo (PATTON,1995,17-37).

La metodología de desarrollo del plan de mantenimiento sigue los siguientes pasos.

- Definición de la máquina, mecanismo con sus partes y si es el caso componentes.
- Instructivo de las acciones a tomar.
- Frecuencia de las acciones preventivas.
- Tiempo de ejecución de cada acción.
- Jerarquización de las acciones según el nivel de mantenimiento preventivo.
- Programación de las acciones de mantenimiento preventivo (HENAO, 2005,20).

## PROCESO DE DESARROLLO

Basados en la teoría expuesta anteriormente se obtuvieron 108 modos de falla en los cuales se realizo en cálculo del RPN dando como resultado unas acciones modificativas enfocadas en el elemento de sujeción entre la bomba y el motor. Luego de esto se volvió a calcular el RPN y con base en este se obtuvieron las acciones preventivas; estas acciones se ingresaron en el software AM dando como resultado el plan de mantenimiento preventivo para el sistema de bombeo.

## RESULTADO

El análisis FMECA muestra que los modos de falla más críticos son aquellos que requieren acciones modificativas debido a que tienen defectos de diseño o montaje del sistema. Estos modos de falla se centran en los elementos relacionados con el acople que existe entre el motor y la bomba.

**TABLA 1**  
**Modos de falla eliminados o que disminuye su ocurrencia debido a las acciones modificativas propuestas**

Descripción del modo de falla	Condición
Motor desalineado con la bomba	Eliminado
Eje torcido del acople	Eliminado
Eje torcido del motor	Eliminado
La bomba ha perdido eficiencia	Disminuye
Velocidad del sistema muy baja	Disminuye
Se esta sobrecalentando el motor	Disminuye
Velocidad del sistema muy baja	Disminuye
Sello de la bomba defectuoso	Disminuye
Motor desalineado con la bomba	Eliminado
Eje torcido	Eliminado
Acople desalineado	Eliminado
Falla de potencia	Disminuye
Motor desalineado con la bomba	Eliminado
El eje de acople esta torcido	Eliminado
El sello esta defectuoso	Disminuye
Bomba pegada	Disminuye

## CONCLUSIONES

El Análisis de los Modos, los Efectos, las Causas y las Criticidades de las Fallas (FMECA) es una metodología que permite identificar los modos de falla potenciales para un equipo, máquina y proceso.

El FMECA permite determinar el riesgo mediante el cálculo del RPN asociado a los modos de falla presentados en los equipos, máquinas y procesos industriales; además permite realizar una jerarquización para alinear las fallas en términos de su importancia y para identificar y realizar acciones correctivas, preventivas, modificativas y preventivas con el fin de proponer tareas



y acciones de mantenimiento que permitan aumentar la confiabilidad en el sistema de bombeo.

En el sistema de bombeo, la aplicación de la metodología FMECA permite jerarquizar y atacar las fallas más críticas eliminando y disminuyendo las más ocurrentes mediante la ejecución de tareas modificativas que permiten un mejor cumplimiento de las funciones del equipo objeto de estudio.

El propósito del mantenimiento preventivo desarrollado para el sistema de bombeo es evitar que las fallas y sus consecuencias aumenten debido a una mala planeación de mantenimiento. Para hacer esto se proponen inspecciones y mantenimientos planeados cuyo fin es que los seis sistemas de bombeo puedan operar de manera normal, sin interrupciones, el mayor tiempo posible. Un adecuado mantenimiento preventivo de los sistemas de bombeo evitará también que los costos del proyecto se eleven.

Las principales ventajas que provee un software de mantenimiento para la administración del mantenimiento de equipos, máquinas y procesos industriales son: la consulta remota de información de tareas planadas de mantenimiento, así como la ejecución de órdenes de trabajo de tareas correctivas o modificativas desde cualquier lugar, así como la facilidad de elaborar rutinas que incluyan diagramas explicativos sobre procesos de mantenimiento.

Otra ventaja significativa del Software de mantenimiento es que permite llevar un control amplio de los equipos mediante el seguimiento de las ordenes de trabajo, la realización de un historial detallado que contenga descripción y tipo de fallas, reparaciones, acciones de mantenimiento, tiempos muertos, tiempos de reparación, costos de la reparación y frecuencias de mantenimiento.

## BIBLIOGRAFÍA

- DUFFUAA.S.O. Sistemas de mantenimiento "Plantación y control". Primera edición. Editorial Limusa, S.A. 2000. ISBN: 968-18-5918-9.
- HENAO. Jhon Harvy. Mora Gutierrez, Luis Alberto (Director). Modos de fallas y análisis de efectos (FMEA) aplicado al sistema de bombeo GEMI. Monografía de Postgrado en Mantenimiento Industrial. Universidad EAFIT. Colombia. 2006.
- \_\_\_\_\_. Presentación Power Point "Mantenimiento Preventivo". En: Acciones Preventivas. Asignatura de especialización en mantenimiento industrial de la universidad EAFIT. Julio-Noviembre. 2005.
- MORA, Luis Alberto. Mantenimiento estratégico para empresas industriales o de servicios. Editorial AMG. Colombia. 2005. ISBN: 95833-8218-3.
- OMDAHL, T. P. Reliability availability and maintainability dictionary. Milwaukee: ASQC Quality Press. Ed. 1988. ISBN: 0873890450
- 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

# **SIMULACIÓN POR ORDENADOR DEL FENÓMENO DE FLUENCIA DURANTE EL PROCESO DE COCCIÓN EN PIEZAS FABRICADAS EN CERÁMICA**

**DIEGO LEYVA R**

*dleyvaru@eafit.edu.co*

**Departamento de Ingeniería Mecánica**

**AREA DE ÉNFASIS**

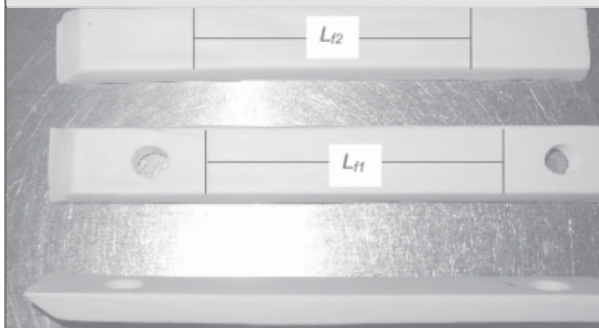
**DISEÑO DE SISTEMAS TÉCNICOS**

**ASESOR PRINCIPAL**

**DR. JORGE LUIS RESTREPO OCHOA**

**EMPRESA**

**UNIVERSIDAD EAFIT**



## **RESUMEN**

La industria de la cerámica se encuentra en una fase de crecimiento debido a los nuevos desarrollos en los materiales cerámicos, estos han sido la mejor opción para aplicaciones a altas temperaturas por sus propiedades. El fenómeno más notorio a altas temperaturas es la fluencia, en el cual el material sufre una deformación permanente que avanza progresivamente y que es difícil de predecir en una pieza debido a la gran cantidad de variables que influyen en ésta, como son la temperatura, el esfuerzo, el tiempo, el material, etc., y se vuelve aún más complicado cuando se tienen piezas con geometrías complejas.

En forma general, la fluencia tiene tres estados: el primario, en donde la deformación avanza a una tasa decreciente en el tiempo, el secundario o estable, donde la tasa de deformación es constante, y el terciario, donde la tasa de deformación crece hasta alcanzar la fractura. Para analizar el fenómeno de fluencia se han desarrollado varios modelos que permiten predecir el comportamiento de los sistemas en condiciones de fluencia según la etapa en la que ésta se encuentra. Los modelos de fluencia más usados son el Exponencial y el de Norton, en los cuales se incluyen constantes dependientes del material. Estas constantes se determinan para el material de prueba. El material de estudio es la porcelana de alúmina, el cual es el material usado en la industria cerámica local.

La determinación de las constantes de fluencia de este material se realiza mediante dos metodologías independientes: experimental y calibración numérica. En la metodología experimental, se realizan pruebas de tensión uniaxiales con probetas del mismo material. El ensayo se realiza para diferentes esfuerzos, y a cada probeta se le mide su deformación en el proceso de cocción. Con los datos obtenidos se realiza un ajuste a los modelos de fluencia para obtener las constantes del material para cada modelo. En la calibración numérica, se realizan simulaciones de la cocción en un software comercial de elementos finitos a una pieza seleccionada, variando las constantes de los modelos de fluencia. Esto



se realiza para obtener datos con los cuales se pueda hacer una regresión y predecir el valor de las constantes que aproximen el comportamiento real de la pieza durante la cocción.

Finalmente, con las diferentes constantes obtenidas, se realizan las simulaciones de la cocción en la pieza seleccionada y se comparan los resultados obtenidos de desplazamientos con los desplazamientos reales.

## **ABSTRACT**

The ceramic industry is growing rapidly due to the development in ceramic materials and for its properties at high temperatures, these materials have been the best choice for its properties. The most notorious phenomenon at high temperatures is creep, where the material suffer a permanent deformation that advance progressively, this one is hard to predict on a part due to the amount of variables that affect it, like: temperature, stress, , time, material, etc., and is even more difficult when there is parts with a complex geometry.

In general, creep have three stages: the primary, where the deformation advance with a decreasing rate in time, the secondary or steady, where the deformation rate is constant, and the ternary, where the deformation rate increases until it reaches the fracture. That's why some models have been developed to predict the creep behavior according to the actual stage. The most used creep models are the Exponential and Norton models, where are include material dependant constants. These constants are obtained for the test material. The test material is alumina porcelain which is used in the local ceramic industry.

The creep's constant determination for this material is done through two independent procedures: experimental and model calibration. In the experimental procedure, uniaxial stress tests are done, where a stress is applied on a test specimen of the same material. The test is conducted for different stress, and the deformation is measured for each test specimen. With the obtained data a creep model is fit to calculate the creep constants for

each model. In the model calibration, burned simulations are done on a finite element software for the selected part, changing the creep models constants. This data is obtained to make a regression and predict the constants values that fit the real behavior of the part during the burning.

Finally, with the obtained constants, is possible to make burning simulations on the selected part and its displacement results are compared with the real displacements.

## **PALABRAS CLAVES**

Fluencia, cocción, sinterización, cerámica, elementos finitos, solución no lineal, convergencia, desplazamiento.

## **KEY WORDS**

Creep, burning, sintering, ceramic, finite elements, nonlinear solution, convergence, displacement.

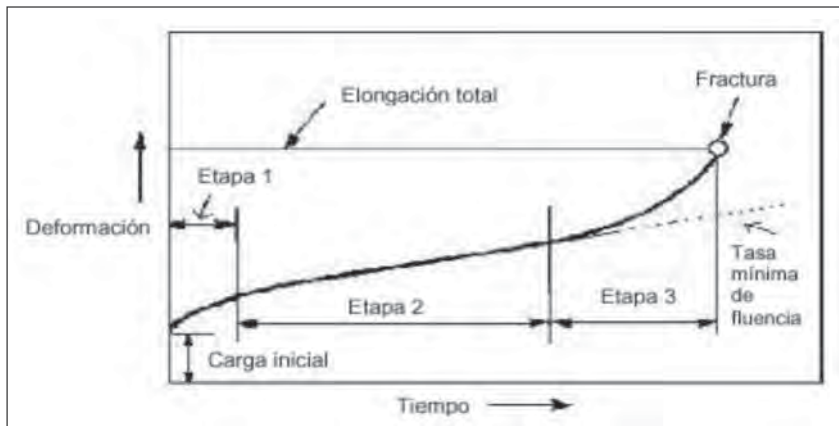
## **DEFINICIÓN DEL FENÓMENO DE FLUENCIA**

La fluencia es una lenta y continua deformación de un material bajo un esfuerzo constante causado por la activación térmica de los movimientos de las dislocaciones y los poros. De manera general puede describirse en términos de tres etapas diferentes: fluencia primaria, fluencia secundaria y fluencia terciaria.

La primera etapa se denomina fluencia primaria en donde ocurre una rápida elongación del espécimen y la tasa de deformación decrece con el tiempo. La segunda etapa llamada secundaria, se caracteriza por un estado estable en donde la deformación aumenta lentamente con el tiempo. En la tercera etapa la tasa de deformación se incrementa rápidamente, terminando en la fractura.

La fluencia ocurre usualmente cuando  $T/T_m > 0.4$ , donde  $T$  y  $T_m$  son las temperaturas absolutas de operación y fusión respectivamente (NAFEMS, 2001).

**FIGURA 1**  
**Curva Esfuerzo vs. Deformación por fluencia**



En general, la relación esfuerzo-deformación en una prueba de fluencia uniaxial bajo carga constante se puede representar así:

**ECUACIÓN 1**

**Relación general esfuerzo-deformación para fluencia**

$$\varepsilon^c = f(\sigma, T, t)$$

donde  $\varepsilon^c$  es la deformación por fluencia,  $\sigma$  el esfuerzo nominal, T la temperatura y t el tiempo. O según NAFEMS, esta ecuación se puede describir así:

**ECUACIÓN 2**

**Relación general esfuerzo-deformación con efectos separados**

$$\varepsilon^c = f_1(\sigma) f_2(T) f_3(t)$$

donde  $f_1(\sigma)$ ,  $f_2(T)$  y  $f_3(t)$  representan las respectivas funciones de esfuerzo, temperatura y tiempo convenientes del material.

**CARACTERIZACIÓN DEL ARTÍCULO SELECCIONADO**

El artículo seleccionado para realizar la simulación de fluencia en elementos finitos corresponde a un plato de uso doméstico fabricado en cerámica blanca. Este

plato será el mismo utilizado por [López y otros], ya que se cuenta con datos precisos acerca de cambios en la geometría, propiedades físicas y condiciones del proceso de cocción. A continuación, se describirán los aspectos más relevantes del plato seleccionado para la simulación de la fluencia durante el proceso de cocción.

**GEOMETRÍA INICIAL**

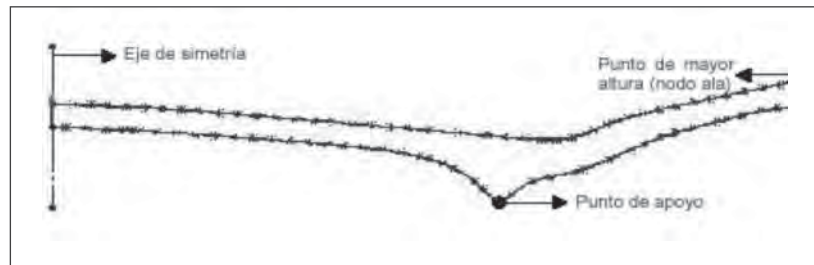
El proceso de formación del plato se realiza mediante prensado isostático, que para este caso particular se realiza con una prensa PHO600 (López y otros, 2005). En dicha prensa, la pasta granulada se alimenta a un molde metálico recubierto en poliuretano del cual se obtiene una pieza cruda con densidad homogénea. El plato inferior en la figura 2 es el que se obtiene durante el prensado. La geometría en detalle se obtuvo digitalizado los puntos del perfil de un plato crudo real al software AutoCAD. El mismo procedimiento se realizó al plato después del proceso de cocción. (López y otros, 2005).

**FIGURA 2**

**Vista superior y sección de plato crudo y cocido**



**FIGURA 3**  
**Perfil de revolución de plato**



Esta pieza se puede representar como un sólido de revolución. El perfil que se revoluciona se muestra en la figura 4. Además, sus condiciones de frontera son también axisimétricas.

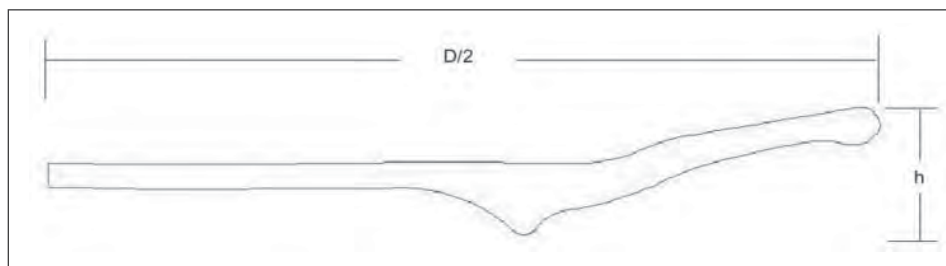
La pieza que se introduce al modelo en elementos finitos corresponde al modelo previamente procesado (ver López y otros, 2005), en el cual se han obtenido los cambios en la geometría debido al cambio de densidad que sufre la pieza a altas temperaturas. Tal proceso de densificación fue simulado por [López y otros] y la

geometría resultante, es la que se introduce al modelo de simulación de fluencia en el actual estudio.

### GEOMETRÍA FINAL

El proceso de cocción es el que produce la geometría final de la pieza. El plato que se obtiene es con el que se comparan los resultados arrojados por la simulación. Este se muestra en la parte superior de la figura 2. En la figura 5 se muestra el perfil axisimétrico de la geometría final.

**FIGURA 4**  
**Geometría final plato vista lateral**



### PROPIEDADES FÍSICAS

El plato sobre el que se realiza la simulación está fabricado a partir de porcelana de alúmina con una granulometría determinada, pero es después de pasar por el prensado isostático que toma las propiedades que se consideran en la solución del modelo. Estas propiedades aparecen en la tabla 1.

**TABLA 1**  
**Propiedades del material del plato**

Propiedad	Valor
Densidad del sinterizado	2400 kg/m <sup>3</sup>
Modulo de Young	8x10 <sup>9</sup> Pa
Coefficiente de Poisson	0,4949

El material del plato se considera isotrópico, y para su análisis se deben considerar los valores del módulo de elasticidad o módulo de Young y el coeficiente de Poisson. También es necesario conocer el valor de la densidad de la pieza, ya que las únicas cargas que soporta son las que se producen por su propio peso. La densidad que se utiliza es la del plato sinterizado ya que se supone que durante la cocción, la sinterización comienza y termina antes que la fluencia. Para este material se comprobó que la fluencia se encuentra en la fase secundaria para las condiciones a las que se somete la pieza (Ver López y otros, 2005).

### CONDICIONES DE FRONTERA

Para la cocción, la pieza se introduce en un horno túnel que opera a un ciclo de 18 horas, de las cuales, 2.5 horas está sometida a la temperatura máxima que es de 1188 °C. La pieza se soporta en un refractario de manera individual.

El plato solo soporta cargas de cuerpo correspondientes a su propio peso, por lo tanto en el modelo se debe incluir la gravedad en las condiciones de frontera.

Las restricciones de desplazamiento en el modelo son dos: restricción del movimiento en la dirección x de los puntos que se encuentran sobre el eje de simetría (figura 4); la segunda representa el apoyo de la pieza sobre un resalto en la parte inferior. La fricción entre la superficie de apoyo del plato y el soporte se desprecia.

### MODELOS TEÓRICOS DE FLUENCIA

El estado estable del fenómeno de fluencia (fluencia secundaria), ha sido estudiado con detalle. Entre los modelos más usados está el de Norton que produce buena concordancia con los datos experimentales para fluencia secundaria con bajos esfuerzos,

#### ECUACIÓN 3

##### Ley de Norton para fluencia

$$\dot{\epsilon} = k\sigma^p$$

donde  $\dot{\epsilon}$  es la tasa de deformación de fluencia secundaria,  $\sigma$  es el esfuerzo aplicado, k y p son constantes del material.

Otro modelo para predecir el fenómeno de fluencia en el estado estable fue el exponencial propuesto por Ludwik.

#### ECUACIÓN 4

##### Ley de Ludwik para fluencia

$$\dot{\epsilon} = ke^{\sigma/\sigma^+}$$

donde k y  $\sigma^+$  son constantes del material. En la ecuación 4, si el esfuerzo desaparece, predice una tasa de deformación constante, mientras que la ecuación 3 predice una tasa de deformación igual a cero. Nadai también propuso un modelo utilizando la función seno hiperbólico.

#### ECUACIÓN 5

##### Ley de Nadai para fluencia

$$\dot{\epsilon} = D \sinh \frac{\sigma}{\sigma^+}$$

donde D y  $\sigma^+$  son constantes del material. La ecuación 6 presenta un comportamiento casi lineal para pequeños esfuerzos y no lineal para grandes esfuerzos. Se ha encontrado que las anteriores ecuaciones son apropiadas para describir el comportamiento del estado secundario de la fluencia de ciertos metales en tensión

bajo esfuerzos constantes a temperaturas donde las tasas de deformación son pequeñas.

## MODELOS COMPUTACIONALES

Los modelos de fluencia escogidos para realizar las simulaciones son el modelo Exponencial y Norton por su amplio uso en la literatura además de que se encuentran implementados en la mayoría de los paquetes comerciales de elementos finitos como son COSMOS y ANSYS.

En ambos paquetes se analiza la fluencia usando métodos de integración de tiempo implícitos. El método implícito es robusto, rápido, preciso, y se recomienda para uso general, especialmente con problemas que involucren grandes deformaciones.

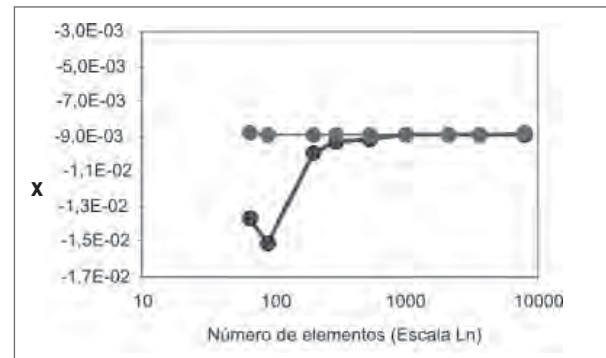
La solución de la fluencia por el método implícito es el recomendado por la literatura por razones de eficacia y precisión.

## ELECCIÓN DEL TIPO Y TAMAÑO DE ELEMENTO

El elemento Rectángulo 2D 4 nodos por sus amplias capacidades, resulta apropiado para problemas de fluencia implícita. Por esta razón se realizan pruebas para observar su convergencia a medida que aumenta el número de elementos en la malla. Otro elemento con el cual se realizan pruebas es Rectángulo 2D 8 nodos, debido a que sus resultados son más precisos que en los elementos lineales porque posee un grado polinomial cuadrático.

Se realiza entonces, un análisis de convergencia para determinar el tamaño apropiado del elemento. Este análisis se realiza bajo los mismos parámetros para los dos elementos, variando únicamente el tamaño promedio de éstos. Tales valores pertenecen a una serie geométrica. Para tamaño se toma el desplazamiento vertical de un punto específico. Los resultados obtenidos con ambos elementos se muestran en la figura 6.

**FIGURA 5**  
**Convergencia de solución con elemento Rectángulo 2D 4 nodos y Rectángulo 2D 8 nodos**



Las simulaciones se realizan con el elemento rectangular de 8 nodos por mayor exactitud en los resultados y se toma una malla con un tamaño promedio de elemento de 1.25mm la cual contiene 563 elementos, valor apropiado según la figura 6.

## MÉTODO DE SOLUCIÓN Y CRITERIOS DE CONVERGENCIA

El método de solución usado en problemas de fluencia en las aplicaciones comerciales de elementos finitos es el de Newton-Raphson con rigidez inicial. Para una explicación detallada del método se recomienda consultar Burden y Faires, 2002, y ANSYS, 2003.

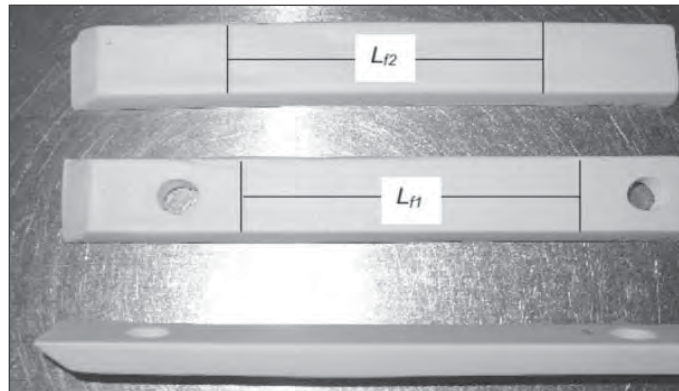
La tolerancia de convergencia que se utiliza en las simulaciones es 0.001 lo que equivale en un error admisible de 0.1%. El valor por defecto usado en la mayoría de los softwares de elementos finitos es 0.01, por lo cual este se modificó en el software Cosmos para mejorar la exactitud de los resultados.

## DETERMINACIÓN DE CONSTANTES MEDIANTE PRUEBAS EXPERIMENTALES

Para la determinación de las constantes del material, se diseñó una prueba experimental que consiste en un ensayo a tracción uniaxial. En este ensayo, probetas fabricadas en la misma cerámica cruda empleada en los platos, se someten a una carga vertical. Luego, la

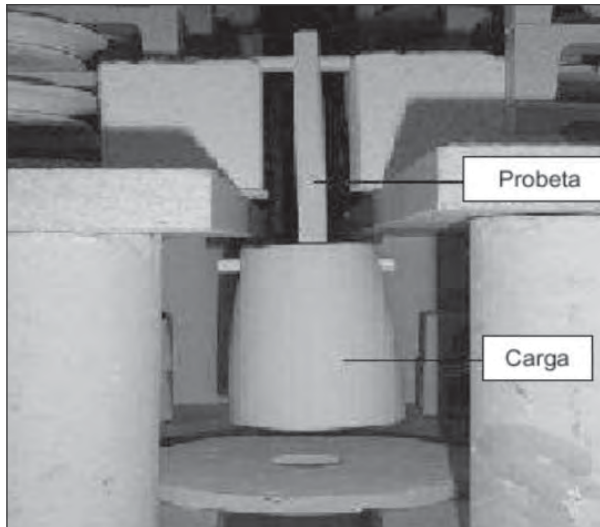
probeta con su carga, se introduce al horno para su cocción. Finalmente, las dimensiones de la probeta cocida se comparan con las dimensiones iniciales para obtener la deformación unitaria, la cual se tabula junto con el esfuerzo al que se sometió la probeta. La longitud inicial de las probetas es de 100mm. La sección transversal de las probetas es de forma trapezoidal. Las probetas cocidas se muestran en la figura 6.

**FIGURA 6**  
**Probetas de cerámica cocida.**



El montaje utilizado durante las pruebas se muestra en la figura 7.

**FIGURA 7**  
**Montaje prueba tracción uniaxial**



Se introduce en el horno, cerca de las probetas de prueba, otra probeta en sentido horizontal sin carga con una longitud inicial de 100mm (probeta superior figura 6) con el fin de determinar los efectos aislados

de la sinterización. Después de la cocción se realiza la medición de las longitudes finales  $L_{f1}$  y  $L_{f2}$  y de las secciones transversales.

Este procedimiento se repite variando las cargas aplicadas a las probetas y para cada carga se realizan dos ensayos. Para obtener la curva de fluencia se realizaron los siguientes cálculos:

$$\varepsilon = \frac{L_{f2} - L_{f1}}{L_{f1}} \quad \sigma = \frac{W}{A} \quad A = \frac{t(a+b)}{2}$$

donde  $W$  es la carga y  $a$  y  $b$  son el ancho y alto de la probeta.

En la figura 8 se grafican los resultados de las pruebas.

### **DETERMINACIÓN DE CONSTANTES DE MODELOS DE FLUENCIA**

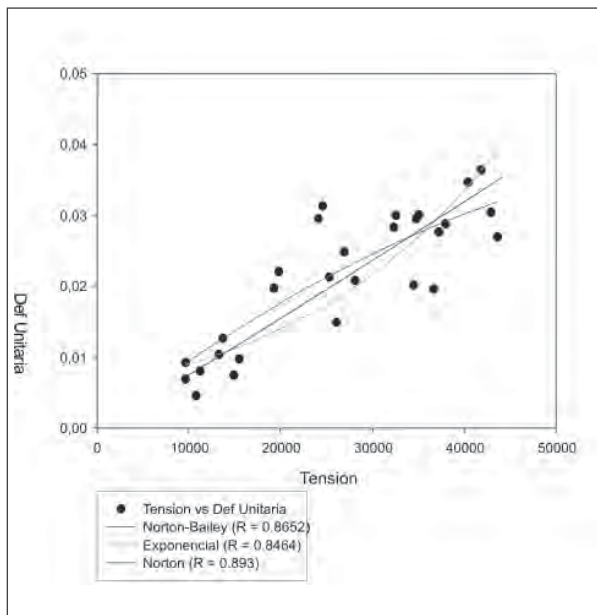
Las constantes de cada modelo se denotan por  $C_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$  donde  $n$  es el número de constantes presentes en éstos. Las constantes obtenidas se denotan por  $K_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ , las cuales dependen de  $C_i$ . El factor de correlación de la regresión se denota por  $R$ .



En las pruebas realizadas, no se cuenta con dispositivos que permitan realizar mediciones de cambio de temperatura en el tiempo. La ausencia de estos datos impide que se incluya la función de Arrhenius, en los modelos fluencia al momento de realizar las regresiones. Ante esta situación, se propone realizar la suposición de que la pieza estará sometida sólo a la máxima temperatura del horno (1188°C) la cual se asume constante durante el recorrido en la zona caliente. También se hace la suposición de que el tiempo en el cual ocurre la fluencia es el que tarda la pieza en recorrer la zona caliente del horno. Esto implica desprestigiar la fluencia que ocurre durante el calentamiento y el enfriamiento. Además, se asume la distribución uniforme de la temperatura en la pieza.

En la figura 8 se muestran las curvas de ajuste de los modelos Exponencial, Norton y Norton-Bailey.

**FIGURA 8**  
**Comparación entre resultados de los diferentes modelos**



Basándose en la correlación obtenida de los diferentes ajustes se observa que el modelo de Norton produce unos mejores resultados. Sin embargo, para las simulaciones se utiliza también el modelo exponencial. Las constantes que se utilizan para ambos modelos son:

**Exponencial:**

$$C1 = 6.4976248E-7 \quad C2 = 22894.66866$$

**Norton:**

$$C1 = 5.536018E-11 \quad C2 = 1,044416$$

**SIMULACIÓN DE FLUENCIA USANDO CONSTANTES EXPERIMENTALES**

Las constantes que se hallaron durante las pruebas se utilizan para realizar simulaciones en elementos finitos del proceso de cocción del plato cerámico. En las simulaciones se utilizó el software COSMOS GEOSTAR al cual se introdujo un modelo con la geometría, condiciones de frontera y propiedades mecánicas previamente definidos. Las simulaciones se realizaron utilizando los modelos de fluencia Exponencial y Norton.

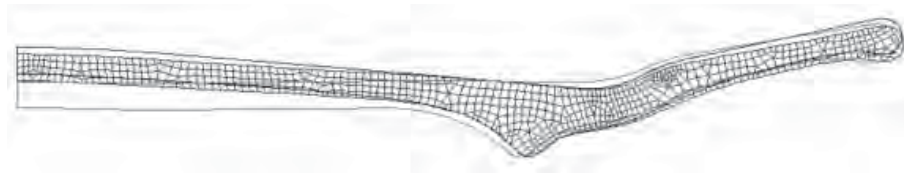
En las figuras en que se muestran los resultados de las simulaciones, la malla en líneas azules corresponde a la configuración deformada del plato obtenida en la simulación, la línea negra corresponde a la forma inicial del plato antes de comenzar la cocción, y la línea roja muestra la forma final real después de la cocción.

Las constantes experimentales para el modelo exponencial son:

$$C1 = 6.4976248E-7 \quad C2 = 22894.66866$$

En la figura 9 se muestra el resultado de la simulación usando las constantes anteriores. Esta es una figura típica de los resultados obtenidos con las constantes experimentales en ambos modelos.

**FIGURA 9**  
**Configuración deformada modelo Exponencial experimental**



Desplazamiento nodo central  $U_y = -1.1480E-03$   
 Error = 79.75%  
 Desplazamiento nodo ala  $U_y = -1.2700E-03$   
 Error = 34.2%

### **DETERMINACIÓN DE CONSTANTES DE MODELOS DE FLUENCIA POR BÚSQUEDA NUMÉRICA**

La calibración del modelo o búsqueda numérica consiste en alimentar el modelo en elementos finitos con diferentes valores de las constantes de fluencia, monitoreando el comportamiento de alguna variable a medida que se varía la(s) constante(s). El valor de esta variable en el problema real debe ser conocido, por ejemplo, desplazamientos, deformaciones o esfuerzos en uno o varios puntos de la pieza.

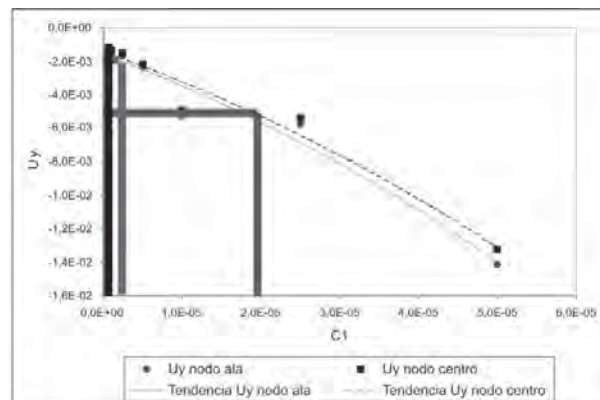
En el plato cerámico con el que se realizan las simulaciones, se conoce con precisión la geometría final, por lo tanto, los desplazamientos son las variables más apropiadas para comparar entre el problema real y la simulación. En este caso, se toma el desplazamiento de dos puntos, los cuales son los nodos del ala del plato (ver figura 4) y del centro. Los desplazamiento de los nodos del ala y del centro debido a la fluencia son respectivamente 1.93mm y 5.67mm en la dirección negativa del eje vertical.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos durante las simulaciones a medida que se varía el valor de las constantes de los modelos de fluencia Exponencial y de Norton.

En la figura 12 se muestran los resultados en forma grafica para el modelo exponencial, con la línea negra

que muestra el valor de la constante  $C_1$  obtenido experimentalmente, y la línea roja y azul muestran las interpolaciones realizadas para obtener un valor mas exacto de la constante  $C_1$  utilizando los datos del nodo del ala y del centro respectivamente.

**FIGURA 10**  
**Resultados variación constante**



$C_1$  modelo Exponencial

Con el fin de obtener el valor preciso de la constante  $C_1$  del modelo exponencial, se ajustan los datos a una curva polinómica de grado 2 de la forma:

$$C_1 = a + bU_y + cU_y^2$$

Con los valores hallados se hace una predicción del valor de la constante  $C_1$  para el desplazamiento del nodo del ala  $U_y = -1.93E-3$ .

Las constantes halladas mediante la calibración del modelo Exponencial para el nodo del ala son:

$$C_1 = 3.0345E - 6 \quad C_2 = 2.2895E - 4$$

Las constantes halladas mediante la calibración del modelo Exponencial para el nodo del centro

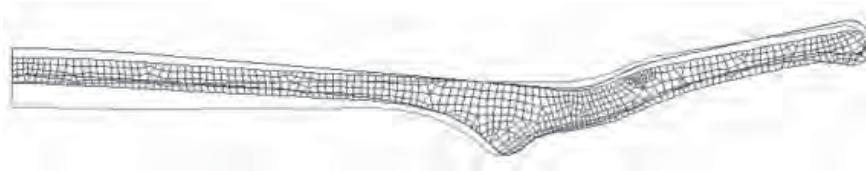
$U_y = -5.63E-3$  son:

$$C_1 = 1.9863E - 6 \quad C_2 = 2.2895E - 4$$

En la figura 11 se muestra el resultado de la simulación por calibración del nodo del ala (líneas azules).

**FIGURA 11**

**Configuración deformada modelo Exponencial por calibración de nodo ala**



Desplazamiento nodo central  $U_y = -1.529E-03$

Error = 73.03%

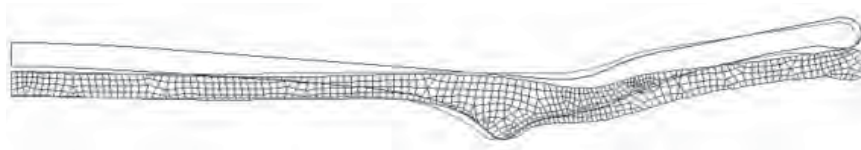
Desplazamiento nodo ala  $U_y = -1.705E-03$

Error = 11.66%

En la figura 12 se muestra el resultado de la simulación por calibración del nodo del centro.

**FIGURA 12**

**Configuración deformada modelo Exponencial por calibración nodo centro**



Los desplazamientos en los nodos del centro y el ala son:

Desplazamiento nodo central  $U_y = -5.382E-03$

Error = 5.08%

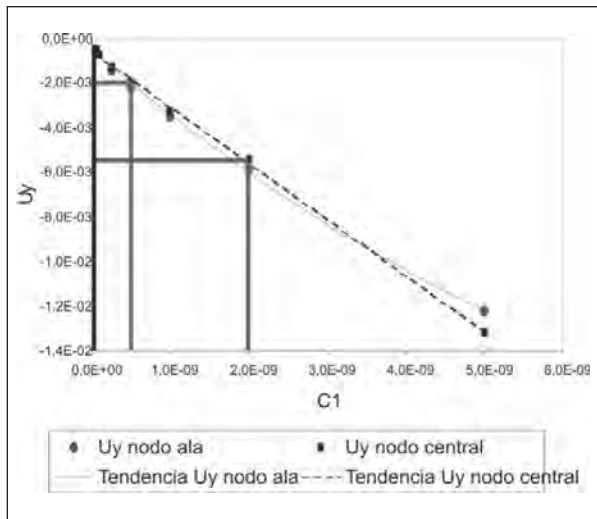
Desplazamiento nodo ala  $U_y = -5.799E-03$

Error = 200.47%

Se puede observar en la figura 12 que las constantes obtenidas con interpolación utilizando el nodo del ala y el nodo del centro del plato son muy diferentes. Como consecuencia, los resultados de las simulaciones difieren mucho cuando se utilizan estas constantes.

En la figura 13 se muestran los resultados en forma grafica para el modelo Norton.

**FIGURA 13**  
**Resultados variación constante C1 modelo Norton**



Se observa en la figura 13 que al igual que en el modelo exponencial, las constantes obtenidas con interpolación utilizando el nodo del ala y el nodo del centro del plato son muy diferentes.

Las constantes halladas mediante la interpolación de los valores de la calibración del modelo Norton para el nodo del ala son:

$$C_1 = 4.562E - 10 \quad C_2 = 1.0444$$

La configuración deformada con estas constantes es similar a la figura 11 y sus desplazamientos se muestran a continuación:

Desplazamiento nodo central  $U_y = -1.818E-03$   
 Error = 67.94%  
 Desplazamiento nodo ala  $U_y = -2.003E-03$   
 Error = 3.78%

Las constantes halladas mediante la interpolación de los valores de la calibración del modelo Norton para el nodo del centro son:

$$C_1 = 2.0147E - 9 \quad C_2 = 1.0444$$

La configuración deformada con estas constantes es similar a la figura 12 y sus desplazamientos se muestran a continuación:

Desplazamiento nodo central  $U_y = -5.413E-03$   
 Error = 4.53%  
 Desplazamiento nodo ala  $U_y = -5.880E-03$   
 Error = 204.66%

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los modelos de fluencia escogidos fueron el Exponencial y el de Norton. La razón de esto, es su uso más amplio y su capacidad de utilizarse para una gran variedad de materiales y condiciones de la pieza, además de que permiten linealizarse para obtener regresiones de buena calidad sin recurrir a las regresiones no lineales.

El tipo de elemento escogido fue el rectangular 2D de 8 nodos, que al poseer una interpolación cuadrática, brinda una mejor precisión en los resultados, además que permite realizar una buena malla en zonas muy curvas.

El criterio de convergencia de residual de fuerza o grado de desequilibrio, es más apropiado para este problema ya que asegura que no haya fuerzas desbalanceadas, lo que conduce a una solución errónea. También permite una convergencia más rápida hacia la solución exacta. La tolerancia usada para el criterio de residual de fuerza fue de 0.001, lo que equivale a un desbalance de 0.1%, que es suficiente para garantizar una buena solución.

Las constantes obtenidas en forma experimental y las que se obtuvieron por calibración del modelo presentan grandes diferencias. Debido a la alta dispersión de los datos experimentales se observa que algunos aspectos no considerados durante las pruebas puedan tener influencia en los resultados, como la distribución de temperatura y la tasa de calentamiento y enfriamiento, las cuales pueden variar según la posición de la probeta en el horno. Además de que en la simulación se supone una temperatura constante, lo cual es una condición muy diferente a la realidad, ya que las piezas sufren un calentamiento y enfriamiento que pueden ser lentos.

Un factor que pudo haber influido en la exactitud de las pruebas es el error generado durante la medición de la longitud final de las probetas dada la precisión del calibrador, ya que las deformaciones son muy pequeñas. Por esto se sugiere realizar de nuevo pruebas con probetas de mayor longitud inicial y con un mayor rango de variación de carga de tal manera que se haga menos significativo el error al momento de la medición.

Al comparar los desplazamientos obtenidos en las simulaciones con los reales se observa que las constantes que mejor aproximan el problema son las obtenidas con el modelo Norton con un error de 3.78% para el desplazamiento en el nodo del ala que coincide con el punto de mayor altura. Incluso para las constantes del modelo Norton calibrado, la configuración deformada dista mucho de la real ya que para el nodo del centro el error en esta simulación fue de 67.9%. Este problema estuvo presente en todas las simulaciones realizadas, ya que los desplazamientos cuando se aproximaban bien en una zona, se alejaban mucho en la zona contraria. Es por estas razones, que se puede considerar que ninguna de las constantes obtenidas predice razonablemente bien el fenómeno de fluencia real que está ocurriendo.

Es recomendable realizar simulaciones con diferentes geometrías iniciales ya que se observó una cierta rigidez en la zona del centro del plato que podría ser corregida con pequeñas variaciones en la geometría. Como se mencionó en el capítulo 2, la geometría inicial fue entregada por el software desarrollado por [López], como resultado de la simulación de la sinterización, y es posible que esta tenga un cierto error que puede ser corregido ejecutando de nuevo este programa con una mejora en la tolerancia de convergencia y un aumento en el número de elementos. Además, se debe realizar ajustes en otros parámetros del programa que permitan mejorar la precisión de los resultados.

Una forma alternativa de buscar las constantes correctas podría ser una calibración del modelo en donde se varíe la constante C2 del modelo Exponencial y de Norton, ya que estas son las que determinan la sensibilidad de la deformación ante los esfuerzos. Esto se sugiere debido a que se observa un mayor desplazamiento en la

zona del ala del plato que en la zona del centro, lo cual debería ser al contrario.

El procedimiento para realizar la variación de la constante C2 consiste en realizar pruebas con el modelo de elementos finitos en donde para cada valor definido de C1 se varíe la constante C2 de manera que se obtenga una matriz desplazamientos de un nodo. Con esta matriz se realiza un análisis de varianza y se realiza un ajuste de los datos a una superficie que permita predecir los valores de las constantes C1 y C2 para obtener un desplazamiento dado en el nodo.

## BIBLIOGRAFÍA

- ADAMS, Vince y ASKENAZI, Abraham. Building Better Products with Finite Element Analysis. Pág 121-124. Primera edición, Onword Press, Santa Fe. USA. 1999. ISBN 156690160X.
- ANSYS. Training Manual, Advanced Structural Nonlinearities. Sección 4. Primera edición. 2003.
- BURDEN, Richard L. y FAIRES, J. Douglas. Analisis Numerico. Pág. 612. Septima edicion. Thomson Learning. Mexico. 2002. ISBN 0534382169.
- DIETER, George E. Mechanical Metallurgy. Pág 337-338. Primera edición, McGraw Hill, New York. USA. 1961.
- ELWYN LARGE, George. Basic Reinforced Concrete Design, Elastic and Creep. Pág 320. Segunda edición, The Ronald Press, New York. USA. 1957.
- FINDLEY, William N., LAI, James S. y ONARAN, Kasif. Creep and Relaxation of Nonlinear Viscoelastic Materials. Pág 10-17. Primera edición, North-Holland Publishing Company, New York. USA. 1976. ISBN 0444107754.
- KINGERY, W. D., BOWEN, H. K. y UHLMANN, D. R. Introduction to Ceramics. Pág 229-230. Segunda edición, John Wiley & Sons, Cambridge. USA. 1976. ISBN 0471478601.

KINGERY, W. D., Introduction to Ceramics. Pág 578-582. Primera edición, John Wiley & Sons, Cambridge. USA. 1960. ISBN 0471478830.

LÓPEZ R., Nelson de J., RESTREPO OCHOA, Jorge L., ARANGO L., Nolasco y CARVAJAL C., Leonardo. Aplicación del Análisis de Elementos Finitos a la Predicción de la Geometría de Platos Cerámicos Procesados por Monococción. Universidad EAFIT, Medellín. Colombia. Junio, 2005.

BECKER, A. A., NAFEMS. Understanding Non-linear Finite Element Analysis Through Illustrative Benchmarks. Pág. 72-81. Primera edición, NAFEMS. Great Britain. 2001. ISBN 1874376352.

## **INTERNET**

LAKES, Roderic. Viscoelasticity Notes. [en línea]. [citado Agosto 15, 2004].

Disponible desde Internet:

<URL: <http://silver.neep.wisc.edu/~lakes/VENotes.html#Top>>

METALLURGICAL CONSULTANTS. Creep and Stress Rupture. [en línea]. Abril 16, 2004. Disponible desde Internet: <URL: <http://www.materialsengineer.com/CA-Creep-Stress-Rupture.htm>>

KIMURA, Kazuhiro. Accumulation of long-term creep deformation data for 300,000 hours. [en línea]. Marzo 11, 2004.

Disponible desde Internet:

<URL: <http://www.nims.go.jp/eng/news/press/press31.html>>

RHOADS, Jason L. Basic Explanation of Creep Processes. [en línea]. [citado Agosto 15, 2004].

Disponible desde Internet:

<URL: <http://www.nuc.berkeley.edu/thyd/ne161/jlrhoads/creep.html>>

ANSYS, Inc. ANSYS 6.1 Help. [en línea]. [citado Abril 10, 2005]. Disponible desde Internet:

<URL: [http://www.oulu.fi/atkk/tkpalv/unix/ansys-6.1/content/Hlp\\_E\\_CH2\\_5.html#ELEMimpIjwf060899](http://www.oulu.fi/atkk/tkpalv/unix/ansys-6.1/content/Hlp_E_CH2_5.html#ELEMimpIjwf060899)>



# **ESTUDIO DE LAS SIMULACIONES DE MONTE CARLO APLICADAS A CONFIABILIDAD EN MANTENIMIENTO**

**JUAN DAVID CALLE VILLEGAS**  
*jcallevi@eafit.edu.co*

**ESTEBAN VÉLEZ GIRALDO**  
*evezegi@eafit.edu.co*  
Departamento de Ingeniería Mecánica

**ÁREA DE ÉNFASIS**  
MANTENIMIENTO PREPARACIÓN  
DE PROYECTOS

**ASESOR PRINCIPAL**  
ING. JUAN SANTIAGO VALLEJO J.

**SECTOR BENEFICIADO**  
UNIVERSIDAD EAFIT



## **RESUMEN**

El proyecto consiste en la utilización de las herramientas de Monte Carlo, que es una metodología consistente en aplicar conceptos estadísticos con la capacidad computacional para automatizar cálculos en el estudio de confiabilidad en mantenimiento y consta de cinco partes, basado en una profunda investigación de los principios de funcionamiento del software.

## **PALABRAS CLAVES**

**Números pseudos-aleatorios:** Es el resultado de una variable cualquiera especificada por una distribución.

**Media aritmética:** Es la suma de todos los datos dividido por el número total de ellos. Es lo que se conoce como “promedio”.

**Desviación estándar:** Es un valor que representa la variabilidad existente en un conjunto de datos.

## **ABSTRACT**

The project consists on the use of the tools of Monte Carlo, that is a methodology consistent in apply statistical concepts with the computer capacity to automate calculations in the study of dependability in maintenance and it consists of five parts, based on a deep investigation of the principles of operation of the software.

## **KEY WORDS**

**Pseudo-random numbers:** It is the result of a variable anyone specified by a distribution.

**Half arithmetic:** It is the sum of all the data divided by the total number of them. It is what is known as “average”.

**Standard deviation:** It is a value that represents the existent variability in a group of data.

## INTRODUCCIÓN

El proyecto consiste en utilización de las herramientas Monte Carlo, que es una metodología que consiste en conceptos estadísticos con la capacidad computacional para automatizar cálculos en el estudio de confiabilidad en mantenimiento y consta de cinco partes, basado en una profunda investigación de los principios de funcionamiento del software.

La primera parte del proyecto busca fundamentar los conceptos básicos de las simulaciones de Monte Carlo y confiabilidad en mantenimiento, involucrando la interacción con Excel, los beneficios, propiedades, aplicaciones y demás características necesarias para el desarrollo del proyecto.

La segunda sección describe la metodología de operación del modelo de Monte Carlo con base en algunos conceptos básicos estadísticos, y mediante un ejemplo simple de mantenimiento, a través de la simulación en Excel, busca aproximarse al comportamiento real de un sistema por medio de múltiples iteraciones aleatorias.

La tercera parte del proyecto aplica en Excel, a un ejemplo real, todos los conceptos previamente estudiados. El capítulo consta de un breve marco teórico del sistema de bombeo del grupo (GEMI)<sup>1</sup> de la Universidad EAFIT, donde se presentan los equipos por estudiar, además se realiza la aplicación de la metodología de Monte Carlo en Excel al sistema, de acuerdo con las distribuciones previamente estudiadas, y se analiza confiabilidad para obtener los resultados que permitan ejecutar un óptimo plan de mantenimiento.

El cuarto objetivo del estudio aborda las ventajas y limitaciones que ofrece el modelo de Monte Carlo dentro de la medición de confiabilidad, además de los diferentes usos y aplicaciones que pueda tener en los procedimientos de mantenimiento.

La última sección desarrolla las conclusiones generales del estudio realizado, los resultados encontrados,

nuevas líneas de trabajo y recomendaciones que pueden ser útiles en investigaciones y proyectos sobre simulaciones.

## 1. FUNDAMENTOS

La metodología de Monte Carlo es un conjunto de datos que dependen de unas variables probabilísticas de entrada siguiendo una distribución específica cuyo propósito es estimar unas variables de salida.

El método de Monte Carlo es el desarrollo de un modelo lógico matemático de un sistema, que con la ayuda de la simulación permite que se obtenga una imitación de un proceso a través del tiempo. De esta manera se genera una historia artificial, y la observación de ésta se desarrolla mediante la manipulación experimental.

La simulación es un proceso cuantitativo utilizado en la toma de decisiones, pues sirve para observar lo relacionado con un sistema real mediante la experimentación con el modelo que lo representa (Díaz,1992,57).

### 1.1 Simulación de Monte Carlo en Excel

La capacidad de los modelos de simulación para tratar con la complejidad, manejar la variabilidad de las medidas de desempeño y reproducir el comportamiento a corto plazo permite que la simulación sea una herramienta eficaz. Además, la potencia de los computadores portátiles hace posible que el administrador use hojas de cálculo para evaluación del riesgo de inversiones financieras, evaluación de proyectos, planes de retiro y otros tipos de decisiones de negocios.

Lo anterior se debe a la flexibilidad y capacidad estadística de la hoja de cálculo, la cual la torna especial para el desarrollo de los modelos, particularmente en el uso del método de Monte Carlo (Azofeifa,1995,99).

### 1.2 Confiabilidad

Una definición de confiabilidad es "la probabilidad de que un equipo desempeñe satisfactoriamente las funciones

<sup>1</sup> Grupo de Estudio en Mantenimiento Industrial.

para las cuales es diseñado, durante un periodo de tiempo especificado y bajo las condiciones de operación ambientales, y de entorno adecuadas” (Mora,2005,62). La confiabilidad se refiere al funcionamiento adecuado de equipos y sistemas, lo cual incluye factores como software, hardware, humanos y ambientales. Éste es un concepto más amplio y muestra la complejidad de lo que se entiende por este término, su evaluación, el mantenimiento y su mejora.

La evaluación y pronóstico de la confiabilidad se puede dar mediante el uso de métodos estadísticos que proporcionan herramientas importantes para la mejora, el diseño y el mantenimiento de la misma. El inconveniente radica en que la confiabilidad de un producto se puede evaluar acertadamente después de que ha estado en servicio por algún tiempo (Escobar y otros@2005).

## 2. METODOLOGÍA

La simulación es básicamente el análisis de un sistema, proceso o actividad por medio de un planteamiento matemático, el cual modela el comportamiento aleatorio de unas entradas previamente identificadas, obteniendo una serie de salidas que imitan el comportamiento real del sistema completo. La metodología de las simulaciones de Monte Carlo consiste en:

- Generación de números aleatorios, o entradas, por medio de una distribución determinada.
- Ejecución del planteamiento matemático que modele el comportamiento del sistema.
- Obtención de resultados, o salidas, de acuerdo a la modelación de las entradas dentro del modelo matemático.

Los números aleatorios se generan por medio de distribuciones estadísticas, en este proyecto se trabajan cinco y se mencionan a continuación.

### 2.1 Distribución de Weibull

La distribución de Weibull se utiliza cuando un componente está en un período de investigación y la

razón de falla de éste puede no ser constante durante dicho tiempo, lo que podría hacer pensar que el período de vida inicial del componente fue usado sólo para la investigación; es entonces donde el tiempo de falla se determina por desgaste y no de manera aleatoria como se necesita.

El modelo exponencial no es aplicable y se hace necesario utilizar una razón de falla más general. El modelo de Weibull sería entonces la distribución con una razón de falla más general aplicable en estas circunstancias, ya que describe los tiempos de falla de componentes cuando sus razones de falla crecen o decrecen con el tiempo (Weibull@2006).

La distribución de Weibull tiene como parámetros a  $\alpha$  y a  $\beta$  donde alfa es la escala y beta el parámetro de forma.

### 2.2 Distribución exponencial

La distribución exponencial devuelve la probabilidad de una variable aleatoria continua que sigue una distribución exponencial. Se usa para la planeación del tiempo entre dos sucesos. Esta distribución se puede usar en diversos casos tales como el tiempo que tardará una máquina de cajero automático en entregar efectivo. Esta función puede usarse, por ejemplo, para determinar la probabilidad de que el proceso tarde como máximo un minuto.

### 2.3 Distribución normal

La distribución normal se utiliza frecuentemente en las aplicaciones estadísticas. Su propio nombre indica su extendida utilización, justificada por la frecuencia o normalidad con la que ciertos fenómenos tienden a parecerse en su comportamiento a esta distribución. Los parámetros que la definen son la media y la desviación estándar (Málaga@2006).

### 2.4 Distribución lognormal

La distribución lognormal se obtiene cuando los logaritmos de una variable se describen mediante una

distribución normal. Es el caso en el que las variaciones en la confiabilidad de una misma clase de componentes técnicos se representan considerando la tasa de fallos aleatoria en lugar de una variable constante.

Para la simulación de Monte Carlo en Excel se muestra el siguiente cuadro con las formulas y parámetros de cada distribución utilizadas en el proyecto:

### ILUSTRACIÓN 1 Distribuciones continuas

Distribución	Parámetros	Fórmula-Excel
Exponencial	Media = $b$	$= -LN(ALEATORIO()) * b$
Weibull	Escala = $b$ Forma = $a$	$= b * (-LN(ALEATORIO()))^{(1/a)}$
Normal	Media = $\mu$ Desv. Estándar = $\sigma$	$= DISTR.NORM.INV(ALEATORIO(), \mu, \sigma)$
Lognormal	Media de $Ln(X) = \mu$ Desv. Est. de $Ln(X) = \sigma$	$= DISTR.LOG.INV(ALEATORIO(), \mu, \sigma)$
Uniforme entre a y b	Extremo inferior = $a$ Extremo superior = $b$	$= a + (b-a) * ALEATORIO()$

Fuente: Faulin@2005

### 3. APLICACIÓN

La aplicación del modelo a los equipos hidráulicos se hace necesaria en el momento en que el procedimiento de mantenimiento actual deja de ser eficiente y hace que se presenten fallos continuamente. Es ahí donde la simulación permite imitar el comportamiento real del objeto de estudio por medio de una serie de iteraciones, con la posibilidad de realizar modificaciones en los diferentes parámetros involucrados en el proceso y, de acuerdo con esto, tomar las decisiones adecuadas en un determinado momento.

#### 3.1 Sistema de bombeo

El sistema de bombeo se encuentra en la parte exterior del cuarto de bombas del Laboratorio de Hidráulica. Consta de seis bombas y motores de iguales características para trabajar cinco simultáneamente y uno en stand-by para entrar en el momento en que se presente fallo de una de las bombas; cada equipo tiene además sus respectivas protecciones, elementos de arranque y parada, la red hidráulica y el sistema automatizado de monitoreo continuo.

### ILUSTRACIÓN 2 Sistema de bombeo



#### 3.2 Aplicación en Excel

El programa Excel se emplea como herramienta fundamental para realizar la mayor parte del análisis estadístico y matemático requerido para la predicción del comportamiento de un sistema reparable a partir de datos reales. Además, por la capacidad de las hojas de cálculo de generar números aleatorios entre el cero y el uno, los cuales son elementos básicos para cualquier tipo de simulación.



### 3.2.1 Aplicación en una distribución de Weibull

La hoja de cálculo de la distribución de Weibull presenta en su primera parte los parámetros  $\hat{\alpha}=0,8^2$  y  $\hat{\alpha}=1906$ , y el tiempo de mantenimiento actual que se maneja en el sistema, en horas o en días, correspondiente a 2160 horas o 90 días. Los parámetros representan las variables de entrada para la generación de los números aleatorios y, al igual que el tiempo de mantenimiento, pueden ser modificados de acuerdo con la información que se tenga del sistema.

Los resultados obtenidos se presentan a continuación:

**ILUSTRACIÓN 3**  
Resultados distribución de Weibull

Resultados	
Total Iteraciones	1000
# Fallos	674
Porcentaje	67,40%
Suma T.O.F. (horas)	1229127,91
Media de Fallo (horas)	1229,13
Media de Fallo (días)	51,21
# Fallos en 10000 horas	5,48
X horas	15000
# de Fallos en X horas	8,23
Mta. Recomendado (horas)	1229
Mta. Recomendado (días)	51

### 3.2.2 Aplicación en una distribución exponencial

El procedimiento de simulación de la distribución exponencial es similar al de la Weibull, así como el de los demás modelos, difiere únicamente en los parámetros y en la ecuación que se sigue para la generación de los números aleatorios. La estructura de cálculo se conserva en cada hoja para obtener los resultados que se buscan.

El parámetro de entrada es la media, designada con la letra b y tiene un valor de 2160 horas.

Los resultados obtenidos se presentan a continuación:

**ILUSTRACIÓN 4**  
Resultados distribución exponencial

Resultados	
Total Iteraciones	1000
# Fallos	639
Porcentaje	63,90%
Suma T.O.F. (horas)	1362111,83
Media de Fallo (horas)	1362,11
Media de Fallo (días)	56,75
# Fallos en 10000 horas	4,69
X horas	15000
# de Fallos en X horas	7,04
Mta. Recomendado (horas)	1362
Mta. Recomendado (días)	57

### 3.2.3 Aplicación en una distribución normal

La distribución normal opera con la media, como el modelo anterior, e incorpora un nuevo parámetro, la desviación estándar.

Los resultados obtenidos se presentan a continuación:

**ILUSTRACIÓN 5**  
Resultados distribución normal

Resultados	
Total Iteraciones	1000
# Fallos	484
Porcentaje	48,40%
Suma T.O.F. (horas)	2108051,24
Media de Fallo (horas)	2108,05
Media de Fallo (días)	87,84
# Fallos en 10000 horas	2,30
X horas	15000
# de Fallos en X horas	3,44
Mta. Recomendada (horas)	2108
Mta. Recomendada (días)	88

<sup>2</sup>  $\beta$  y  $\alpha$  Valores suministrados por el grupo de investigación GEMI.

### 3.2.4 Aplicación en una distribución lognormal

La aplicación de la distribución se obtiene cuando los logaritmos de una variable se describen mediante una distribución normal. Para esta simulación se utilizan los mismos parámetros que en el anterior, calculando para cada valor su respectivo logaritmo natural. Éstos se convierten en los nuevos valores de entrada.

Los resultados obtenidos se presentan a continuación:

**ILUSTRACIÓN.6**  
Resultados distribución lognormal

Resultados	
Total Iteraciones	1000
# Fallos	515
Porcentaje	51,50%
Suma T.O.F. (horas)	1218091,20
Media de Fallo (horas)	1218,09
Media de Fallo (días)	50,75
# Fallos en 10000 horas	4,23
X horas	15000
# de Fallos en X horas	6,34
Mto. Recomendado (horas)	1218
Mto. Recomendado (días)	51

### 3.2.5 Aplicación en una distribución uniforme

La distribución uniforme representa, de algún modo, la incertidumbre más completa sobre una variable aleatoria continua. Tiene especial importancia en el ámbito computacional, puesto que a partir de ella se pueden realizar simulaciones de cualquier otra variable aleatoria.

Los parámetros a utilizar en este caso son el extremo inferior y el extremo superior, los cuales se rigen de acuerdo a la media aritmética y a la desviación estándar con que operan los modelos anteriores. La media es la base para obtener los valores, de manera que al restarle la desviación se obtiene el extremo inferior, que es 2064

horas, y al sumarla se obtiene el extremo superior, que es 2256 horas.

**ILUSTRACIÓN 7**  
Resultados distribución uniforme

Resultados	
Total Iteraciones	1000
# Fallos	493
Porcentaje	49,30%
Suma T.O.F. (horas)	2114223,32
Media de Fallo (horas)	2114,22
Media de Fallo (días)	88,09
# Fallos en 10000 horas	2,33
X horas	15000
# de Fallos en X horas	3,50
Mto. Recomendado (horas)	2114
Mto. Recomendado (días)	88

## 4. CONCLUSIONES

La simulación de Monte Carlo es un conjunto de datos que busca estimar las distribuciones de las variables de salida que dependen de variables probabilísticas de entrada. De este modo se desarrolla un modelo lógico matemático de un sistema, de manera que se obtenga una imitación de un proceso del sistema a través del tiempo.

La metodología de funcionamiento del modelo de Monte Carlo es básicamente la generación de una serie de entradas de manera aleatoria y que por medio de un modelo matemático permita la obtención de unas salidas. Este proceso se realiza mediante alguno de muchos lenguajes de programación que tengan la capacidad de generar números aleatorios; para el caso de este estudio se utiliza Excel como herramienta fundamental en la modelación.

La implementación del modelo en Excel al sistema de bombeo GEMI de la Universidad EAFIT se realiza en forma satisfactoria, teniendo como referencia algunos parámetros y especificaciones necesarias para el



análisis proporcionadas por el grupo encargado de las bombas. De acuerdo con las distribuciones previamente presentadas se ejecutan las diferentes simulaciones, y con la adecuada manipulación es posible realizarles cambios a las hojas de cálculo con el fin de realizar el proceso con otros parámetros u otras circunstancias diferentes dependiendo, de la necesidad del usuario.

La metodología de Monte Carlo es aplicable al sistema de bombeo GEMI de la Universidad EAFIT debido a la información que se tiene de cada uno de los parámetros de las distribuciones estadísticas que facilitan el proceso de a la hora de simularlo en Excel.

El programa desarrollado en Excel permite la confrontación de datos entre las distribuciones estadísticas trabajadas, dejando una idea clara para el desarrollo de cada una de estas. Además, se pueden cambiar las variables de entrada para calcular nuevos resultados que se comporten de manera lógica a la hora de ingresar nuevos parámetros de estudio.

## 5. BIBLIOGRAFÍA

### CLÁSICA

- AZOFEIFA, Carlos E. Aplicación de la simulación de Monte Carlo en el cálculo del riesgo usando Excel. En: Revista Tecnología en Marcha. Cartago, Costa Rica. Vol. 17 N° 1. p. 97 – 108.
- DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE PRODUCCIÓN. Introducción a la simulación, generalidades. Medellín, Colombia: Universidad EAFIT 2006.
- DÍAZ, Ángel. Confiabilidad en Mantenimiento. Caracas, Venezuela. Ediciones IESA, C.A. 1° Edición, 1992. p. 48 – 57. ISBN 980-271-068-2.
- GNEDENKO, Boris y USHAKOV, Igor. Probabilistic Reliability Engineering. New York, NY, USA: John Wiley & Sons. 1995.
- JOHNSON, Robert y KUBY, Patricia. Estadística elemental, lo esencial. Thomson editores, 2° Edición, 1999. p.194. ISBN 968-7529-10-5.
- MORA, Luis Alberto. Mantenimiento estratégico para empresas de servicio y/o procesos industriales. Medellín, Colombia. 1° Edición, 2005.
- NAVARRO, Andrés. El empleo de la simulación en la optimización de políticas de mantenimiento. Cundinamarca, Colombia: ECOPETROL 2006.
- SHANNON, Robert. Introducción al arte de la ciencia de la simulación. Texas University. USA 1998.

### INTERNET

Escobar y otros@2005

ESCOBAR R., Luis A., VILLA D., Enrique R., y YÁÑEZ C., Sergio. [En línea]. Confiabilidad: Historia, Estado del Arte y Desafíos Futuros. Revista Dyna. N° 140, 2003.

Facultad Nacional de Minas, Universidad Nacional, Medellín, Colombia. [Citado el 20 de septiembre de 2005]. Disponible en Internet:

<http://www.minas.unalmed.edu.co/facultad/publicaciones/dyna>

Faúlín@2005

FAULÍN, Javier. [En línea]. Simulación de Monte Carlo con Excel. [Citado el 20 de septiembre de 2005].

Disponible en Internet:

<http://www.lfp.uba.ar/moreno>

Málaga@2006

Universidad de Málaga. [En línea]. Distribución Normal o gaussiana. [Citado el 10 de marzo de 2006].

Disponible en Internet:

<http://www.bioestadistica.uma.es/libro/node79.htm>

Ochoa@2006

OCHOA, Jesús Ignacio. [En línea]. Usos de la simulación. [Citado el 01 de abril de 2006].

Disponible en Internet:

<http://cesimo.ing.ula.ve/SEMINARIOS/Nacho2.html>

Ponce@2005

PONCE, Óscar M. [En línea]. Simulación de Monte Carlo en Autómatas Celulares. [Citado el 20 de septiembre de 2005]. Disponible en Internet: <http://delta.cs.cinvestav.mx/~mcintosh/oldweb/s1998/oscar/resumen.html>

Southlink@2006

Southlink. [En línea]. Teoría de Probabilidad. [Citado el 10 de marzo de 2006]. Disponible en Internet: <http://www.southlink.ar/vap/contenido.htm>

Weibull@2006

Weibull. [En línea]. El modelo de Weibull en la prueba del ciclo de vida. [Citado el 10 de marzo de 2006]. Disponible en Internet: <http://correo.puj.edu.co/probabilidad/el%20modelo%20de%20weibull/EL%20MODELO%20DE%20WEIBULL.htm>

# DISEÑO DE UN ELEVADOR MINI CARGAS

CARLOS OVIDIO MONTOYA  
cmonto17@eafit.edu.co

Área de énfasis en gestión de proyectos

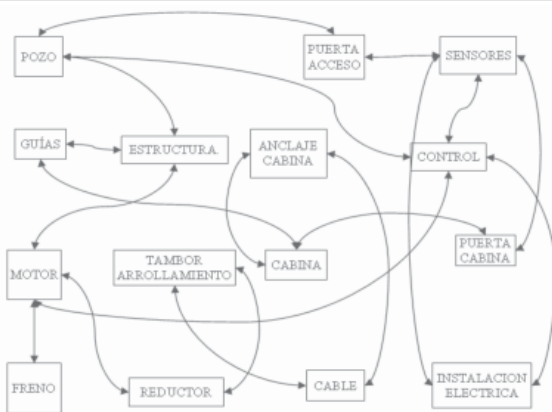
BENJAMÍN ÁLVAREZ VILLA  
balvarez@eafit.edu.co

Área de énfasis en diseño de sistemas técnicos  
Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS  
DISEÑO DE SISTEMAS TÉCNICOS

ASESOR PRINCIPAL  
ING. ALBERTO RODRÍGUEZ

SECTOR BENEFICIADO  
UNIVERSIDAD EAFIT



## RESUMEN

Los elevadores para levantar cargas pequeñas denominados mini cargas son muy utilizados en bibliotecas, restaurantes, hoteles y demás lugares en los que se necesite transportar verticalmente cargas no mayores a los 300 kg.

En la industria colombiana solo se fabrican elevadores de mini cargas bajo pedido, según especificaciones estrictas del cliente, lo cual los hace casi tan costosos como los elevadores normales para pasajeros y no existe un modelo estándar que se pueda ofrecer al mercado y que sea fabricado en serie.

El proceso de diseño, comienza identificando las necesidades del cliente, luego se definen las características del elevador y se determinan las partes básicas de este. Finalmente se diseña, calcula o selecciona los componentes del mini cargas.

Finalizado el proceso de diseño se tienen los componentes diseñados, calculados y seleccionados, además de un modelo computacional en 3D del elevador y los planos de ensamble y detalle de este.

## ABSTRACT

Dumbwaiters are small elevators designed to lift small loads and are very commonly used in places like libraries, restaurants, hotels and every other place that needs to transport vertically, loads up to 300 kg.

Dumbwaiters in Colombia are only manufactured by a client's request, making them almost as expensive as a normal passenger elevator, and there is no standard model of elevator to offer to the public, with a lower cost.

The design process begins by identifying the clients needs, then defining the elevator's characteristics to determine the main parts and ending by calculating, designing or selecting the components of the dumbwaiter.

In the end of the design process, we obtain the final components of the elevator, a 3D computer model and the assembly and detail blue prints of the elevator.

## PALABRAS CLAVES

Diseño de elevadores, ascensor, mini cargas, estructura autoportante, tracción.

## KEY WORD

Elevator design, dumbwaiter, mini load, self portable structure, traction.

## INTRODUCCIÓN

El desarrollo de el conocimiento, la aplicación de tecnologías y modelos físicos existentes, la masificación de aparatos que ayudan a vivir mejor al hombre, es una constante evolutiva cuya finalidad es buscar bienestar.

Este proyecto pretende ofrecer un elevador mini cargas cuyo diseño, partes y configuración sea realizado desde cero, partiendo de las necesidades básicas del cliente, la empresa y los diseñadores, generando requerimientos de forma, configuración, normatividad, seguridad y costos. El desarrollo de este mini carga esta basado en estos requerimientos y busca establecer un modelo estándar comercial y con esto poder reducir el costo con el que se fabrica actualmente los elevadores de este tipo.

## METODOLOGÍA

La metodología utilizada para el diseño de este elevador mini carga, son pasos consecuentes dados por la combinación de metodologías de diseño, características de elevadores existentes, normatividad y requerimientos generales para el desarrollo del elevador.

Primero se establecen las características generales, dimensiones, velocidades, y configuraciones, de elevadores del tipo mini carga que existen en el mercado.

Las partes generales de un elevador se enumeran y se relacionan con las características de un mini carga, así se definen los principales componentes que conforman un elevador de mini carga convencional.

Los requerimientos y características utilizados en el proceso de diseño, calculo y selección de las partes componentes de este artefacto son el resultado de la suma de condiciones dadas por los fabricantes, el mercado y la normatividad.

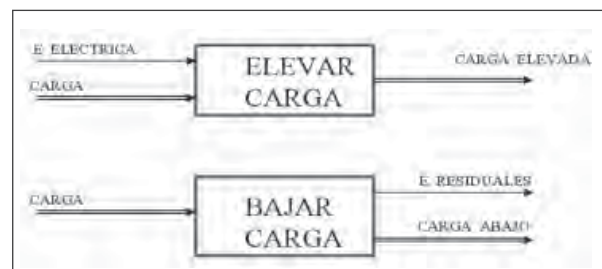
Las características mínimas de diseño para este elevador son:

Elevador mini cargas, que pueda ser utilizado en establecimientos comerciales y casas familiares, con una velocidad máxima de 0.7 m/s, una capacidad de carga de 150 Kg., 5 pisos de recorrido máximo, cabina con dimensiones de 800 mm x 800 mm x 1000 mm, simple acceso, operado por un motor eléctrico monofásico, que trabaje a 110 V o 220 V durante 6 h/día máximo y construido con materiales que se puedan conseguir fácilmente en el comercio local.

Teniendo todos los requerimientos y características definidas, así como los componentes de un elevador se realiza el diseño conceptual del elevador para comenzar el proceso de diseño. La función principal del mini carga se muestra en la figura 1, así como los flujos principales que acompañan la función.

Se establecen relaciones entre las partes para visualizar las diferentes geometrías y distribuciones posibles para el elevador.

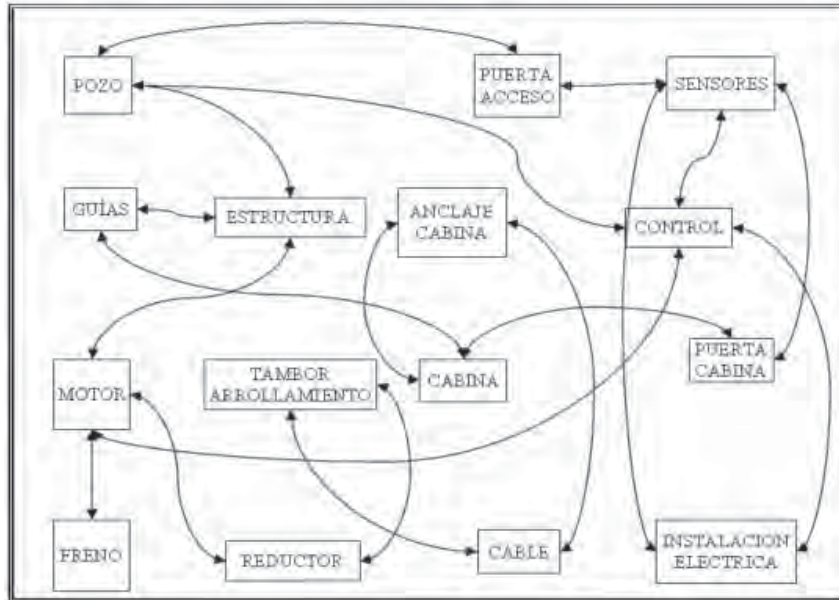
**FIGURA 1**  
**Función principal**



Las relaciones entre las partes permiten establecer conjuntos que por sus características se diseñan,

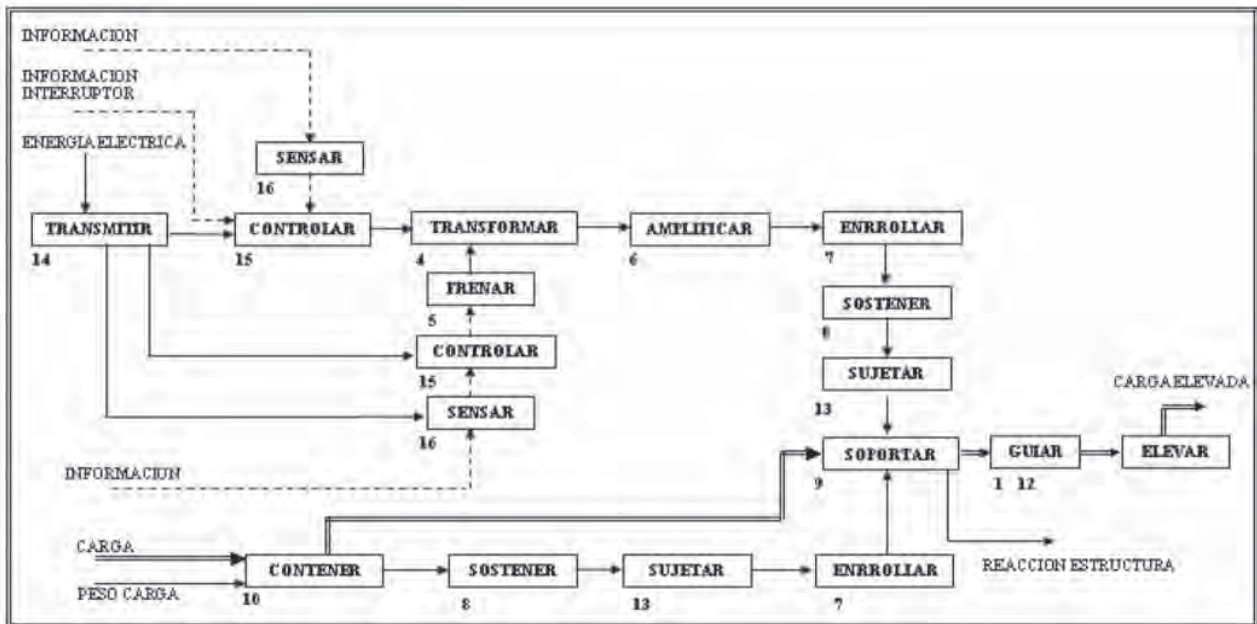
se seleccionan, se calculan o son suministrados por la empresa, como la instalación eléctrica, el control y los sensores.

**FIGURA 2**  
Relación entre las partes del elevador



El último paso antes de definir la geometría final del elevador, es obtener el diagrama de funciones parciales, utilizando portadores de función como las partes principales que conforman el elevador.

**FIGURA 3**  
Estructura de funciones parciales

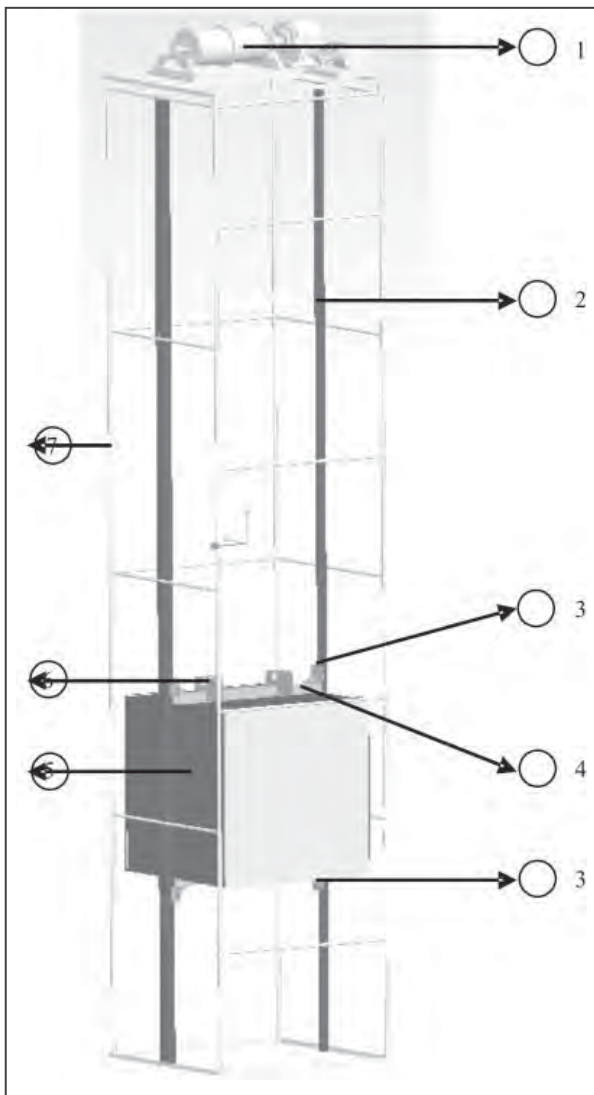


Con la definición de la geometría final del elevador, se realizan los correspondientes cálculos, selecciones y diseños.

## RESULTADOS

El resultado final del proyecto es un elevador mini cargas, ver figura 4.

**FIGURA 4**  
**Ensamble general del elevador mini cargas**



Se calcula la soldadura de unión de las partes de la cabina, la instalación eléctrica, los sensores y el control del ascensor no se desarrollan en este proyecto.

N°	Parte
1	Conjunto moto reductor y tambores de arrollamiento
2	Guías para las zapatas
3	Zapatas
4	Soporte refuerzo superior
5	Cabina
6	Conjunto silent block, canchamos
7	Estructura autoportante modular (foso)

El conjunto de motor, freno, reductor y tambores de arrollamiento se selecciona, también el cable y el anclaje de la cabina y las guías.

La cabina, la puerta se diseñan, junto al conjunto de silent block<sup>1</sup>, la estructura autoportante de la cabina y la estructura que conformara el pozo del elevador.

## CONCLUSIONES

El diseño de una estructura autoportante y modular permite que el montaje del mini carga sea mas flexible para alturas en diferentes niveles y además puede representar ahorro de tiempo en la instalación, ya que disminuye la obra civil requerida.

El diseño de una cabina autoportante permite facilidad de ensamble, minimizando la cantidad de partes requeridas. Este tipo de cabina es ideal para elevadores mini carga.

El ascensor eléctrico es la mejor alternativa para desarrollar elevadores de mini carga usando además un sistema de tracción por arrollamiento de cable ya que el motor, reductor, tambor y freno, se integra en una sola unidad y es vendido comercialmente.

<sup>1</sup> **Silent block:** Elemento amortiguador de caucho utilizado para absorber las vibraciones que transmiten los cables sujetadores hacia la cabina.



## BIBLIOGRAFÍA

ASOCIACION ESPAÑOLA DE NORMALIZACION Y CERTIFICACION. Normas de seguridad para la construcción e instalación de los ascensores. Parte 3, Mini cargas eléctricos e hidráulicos. Madrid, España. AENOR, 2001. 91 p. (UNE-EN 81-3)

DEUTSCHMAN, Aaron D.; Michels, Walter J. y WILSON, Charles E. Diseño de máquinas: teoría y práctica. 9 ed. México: Continental, 1999. 973 p. ISBN 968-26-0600-4

MIRAVETE, Antonio y LARRODE, Emilio. Transporte vertical. Zaragoza, España: Servicio de publicaciones, Centro Politécnico Superior, Universidad de Zaragoza, 196. 409 p. ISBN 84-9213-49-0-9

SHIGLEY, Joseph Edgard y MISCHKE, Charles R. Diseño en ingeniería mecánica: 5 ed. Jalisco, México: McGraw-Hill, 1999. 883 p. ISBN 968-422-778-7

STRAKOSCH, George R. Transporte vertical: ascensores y escaleras móviles. Barcelona, España: Boixareu, 1973. 409 p. ISBN 84-267-0233-3

## CIBERGRAFÍA

Elevator Concepts@

ELEVATOR CONCEPTS. "Dumbwaiter". 2005. [En línea]. [Citado el 11 de enero de 2005]. Disponible en Internet en:

<http://www.elevatorconcepts.com/Dumbwaiters/dumbwaiters.htm>

Encarta@

BIBLIOTECA DE CONSULTA MICROSOFT ENCARTA. "Elevadores". [CD-ROM]. [Redmond, U.S.A]. Microsoft Corporation, 2002. Numero de identificación: 55212-442-2331401-06527. Versión: 11.0.0.0.8016.

Coservicios@

COSERVICIOS. "Historia". 2005. [En línea]. [Citado el 17 de abril de 2005]. Disponible en Internet en: <http://www.coservicios.com/>

Butlers Buddy@

BUTLERS BUDDY INC. "Dumb waiter kits". 2005. [En línea]. [Citado el 13 de enero de 2005]. Disponible en Internet en:

<http://www.butlersbuddy.com>

CHAMPAGNE ELEVATORS. "Dumbwaiter". 2005. [En línea]. [Citado el 12 de enero de 2005]. Disponible en Internet en:

<http://www.champagneelevators.com/dumbwaiter.html>

IMEM. "Monta platos". 2005. [En línea]. [Citado el 11 de enero de 2005]. Disponible en Internet en:

<http://www.imem.com/montaplatos.htm#>

PARALIFT. "Monta platos". 2005 [En línea]. [Citado el 12 de enero de 2005]. Disponible en Internet en:

<http://www.paralift.com.mx/montapla.html>

ASCENSORES SATEL. "Monta platos domésticos". 2005. [En línea]. [Citado el 12 de enero de 2005]. Disponible en Internet en:

<http://www.ascensores-satel.com/montaplatos.htm>

AUTON MOTORIZED SYSTEMS. "Smartwaiter lift specifications". 2005. [En línea]. [Citado el 13 de enero de 2005]. Disponible en Internet en:

<http://www.auton.com/content/smartwaiter2.html>

ELASTOMER TECHNIK NÜRNBERG "Compras en línea". 2006. [En línea].

[Citado el 15 de abril de 2005]. Disponible en Internet en: [http://www.etn-nbg.de/etnshop/index.php?lang=es&update\\_user\\_lang=true](http://www.etn-nbg.de/etnshop/index.php?lang=es&update_user_lang=true)

# **DISEÑO DE UN ROBOT TIPO INDUSTRIAL PARA EL ENSAMBLE DE LOS COMPONENTES ELÉCTRICOS DE UNA LUMINARIA -ANÁLISIS DINÁMICO Y CINEMÁTICO -**

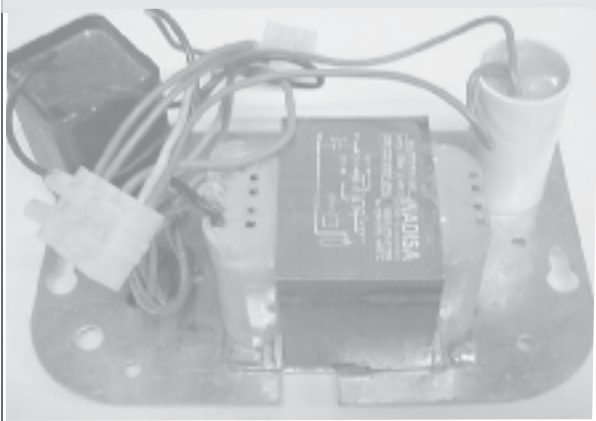
**LENNY JOHANNA IRIARTE LACERA**  
*johanna.iriarte@gmail.com*

**JUAN PABLO SÁNCHEZ MONTOYA**  
*wpblo10@gmail.com*

**AREA DE ÉNFASIS**  
DISEÑO DE SISTEMAS TECNICOS

**ASESOR PRINCIPAL**  
JUAN GABRIEL RUIZ

**SECTOR BENEFICIADO**  
UNIVERSIDAD EAFIT



## **RESUMEN**

En el presente artículo se muestra el proceso de diseño de soluciones de ingeniería a problemas industriales a través de la implementación de robots.

## **ABSTRACT**

Presently article is shown the process of design of engineering solutions to industrial problems through the implementation of robots.

## **PALABRAS CLAVES**

Luminaria, Ensamble de Componentes Eléctricos, Robot Industrial, Robótica, Diseño, Automatización, Mecatrónica

## **KEY WORDS**

Star, Assemble of Electric Components, Industrial Robot, Robotics, Design, Automation, Mechatronic.

## **OBJETIVO GENERAL**

Diseñar un robot industrial, que permita realizar el ensamble de componentes eléctricos de una luminaria VENUS de 70W de Sodio.

## **INTRODUCCIÓN**

La robótica en la industria se ha establecido con tal fuerza y significado que ha reconfigurado los esquemas tradicionales de los conceptos de automatización y productividad industrial.

Cada vez más robots industriales son empleados con el fin del aumento de la productividad de las empresas sobre todo en aquellas en que el alto costo de la mano de obra juega un papel importante.

La empresa colombiana tradicionalmente ha venido realizando el proceso de ensamble de los componentes eléctricos de las luminarias de una forma manual lo que

representa un problema a la hora de manejar grandes volúmenes de producción.

Los principales factores que se ven afectados debido al ensamble manual encontrados son:

- Mano de obra costosa para la empresa.
- Aumento del tiempo de ensamble conforme pasan las horas del día.
- Poco o ningún control del tiempo de ensamble de cada componente.
- Los efectos del cansancio se ven reflejados en la producción.
- Generación de cuellos de botella sin justa causa.
- Influencia de los estados de ánimo en la producción.
- Desperdicio de tiempo productivo en horas de descanso reglamentarias.

Con el empleo de nuevas tecnologías es posible dar fin a esta cadena falencias de la industria y aumentar la productividad de la misma conforme se elimina la fuente del problema.

### **CARACTERÍSTICAS DEL ROBOT DISEÑADO**





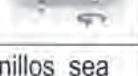







El robot diseñado tiene como función principal el ensamble de componentes eléctricos de una luminaria tales como balasto, arrancador y condensador.

Estos componentes tienen formas muy particulares de ensamble, tanto el arrancador como el condensador se ensamblan con solo una tuerca, el condensador requiere como mínimo dos pernos con tuerca.

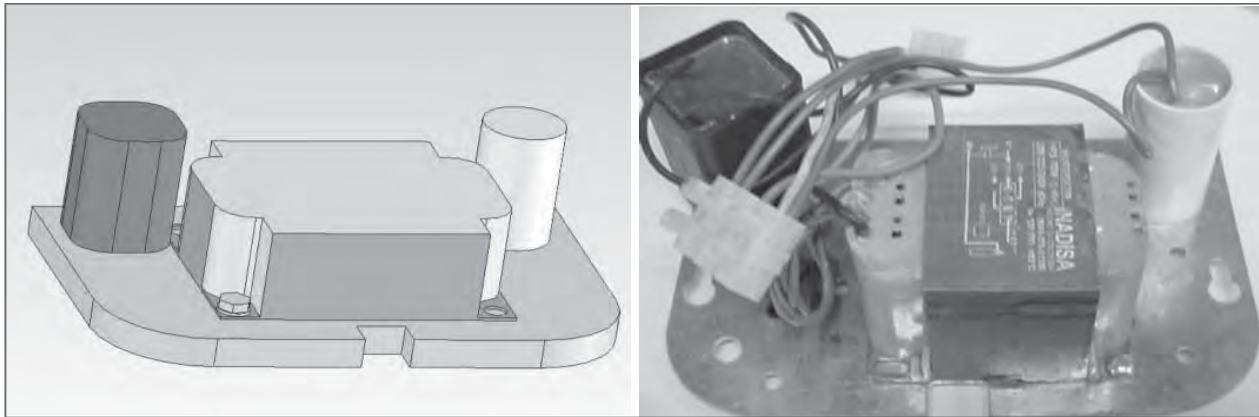
Para llevar a cabo dicho ensamble requiere de una serie de actividades que involucran la manipulación de dichos componentes.

A continuación en la tabla 1, se muestra de una forma ilustrada todo lo que es el proceso de realización de las actividades necesarias para llegar al ensamble final (Ver figura 1).

**TABLA 1**  
**Descripción de las Actividades a realizar**

<b>Actividad</b>	<b>Figura</b>
Ubicar la platina	
Sujetar el Balasto	
Ubicar el componente sobre la platina en el lugar correcto	
Poner un tornillo en el agujero donde corresponde	
Poner la tuerca por debajo de la platina	
Girar la tuerca o el tornillo para lograr un buen apriete	
Poner otro tornillo en el agujero donde corresponde	
Poner la tuerca por debajo de la platina	
Girar la tuerca o el tornillo para lograr un buen apriete	
Se debe repetir cuantas veces y tornillos sea necesario para fijar un elemento	
Sujetar el componente Arrancador (posee tornillo integrado)	
Ubicar el componente sobre la platina en el lugar correcto	
Poner la tuerca por debajo de la platina	
Girar el Arrancador hasta lograr el apriete deseado	
Sujetar el Condensador (posee tornillo integrado)	
Ubicar el componente sobre la platina en el lugar correcto	
Poner la tuerca por debajo de la platina	
Girar el Condensador hasta lograr el apriete deseado	

**FIGURA 1**  
**Ensamble Total de los componentes eléctricos de una luminaria**

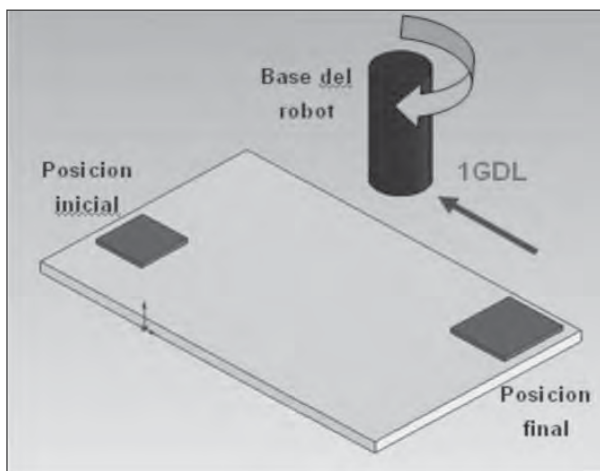


**DESCRIPCIÓN DE LOS GRADOS DE LIBERTAD**

La función del brazo en la ubicación de componentes (tabla 1) es buscar la dirección de los mismos en la posición inicial en sentido longitudinal que es donde están agrupados y trasladarlos hasta la posición final que es donde se va realizar el ensamble de los mismos.

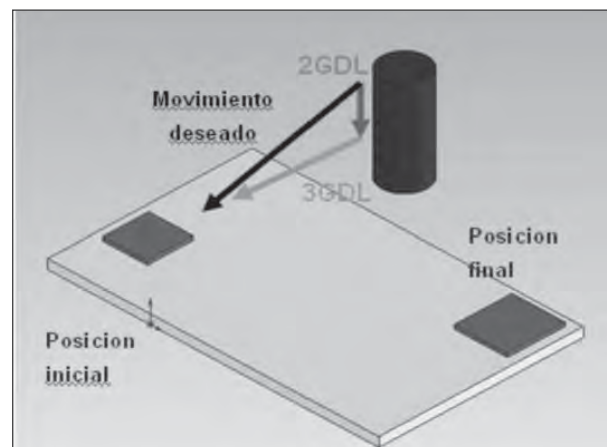
Inicialmente se debe buscar la dirección del componente a ensamblar, para ello el brazo debe contar con un grado de libertad, que puede darse mediante traslación o rotación de la base del robot (Ver Figura 2).

**FIGURA 2**  
**Primer grado de libertad requerido**



El segundo paso es buscar la posición en la cual se encuentra la platina en dirección transversal, para ello se requiere extender el brazo (grados de libertad 2 y 3 mostrados en la figura 3) hasta una posición cercana a la pieza deseada.

**FIGURA 3**  
**Grados de libertad 2 y 3**



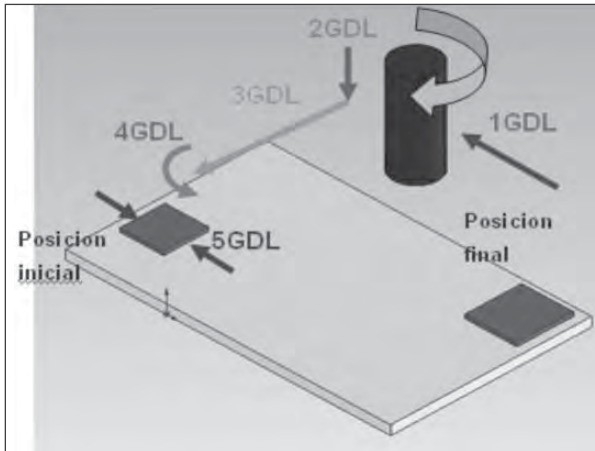
Con el fin de garantizar precisión en la ubicación de los componentes se requiere adicionar un grado de libertad rotacional (4GDL, Ver figura 4) que permita que éste se desplace de manera ascendente o descendente en dirección perpendicular a la platina.

Para poder sujetar la pieza se debe contar con una rotación hacia abajo (para ubicarse en la posición



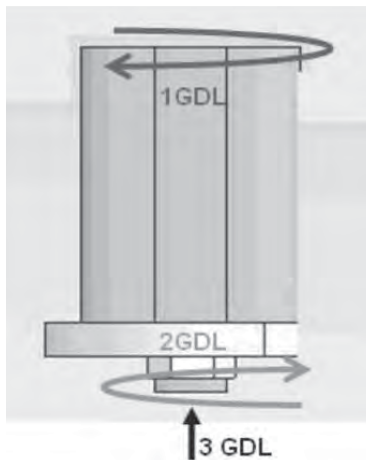
exacta). Finalmente debe tener otro grado de libertad (5GDL, Ver figura 4) para sujetar la platina, con ello se detecta que se requieren mínimo 5 grado de libertad para ejecutar esta operación.

**FIGURA 4**  
Grado de libertad 1, 2, 3, 4 y 5



Para poder ensamblar el arrancador o el condensador se requieren por lo menos 3 GDL, uno de ellos se emplea para sujetar el componente, el segundo se emplea para girar la tuerca y el tercero se usa para subir la tuerca hasta la posición deseada, esto sin contar que el mecanismo de dosificación de tuercas, el cual emplearía un mayor número de grados de libertad.

**FIGURA 5**  
Grados de libertad para el ensamble del condensador



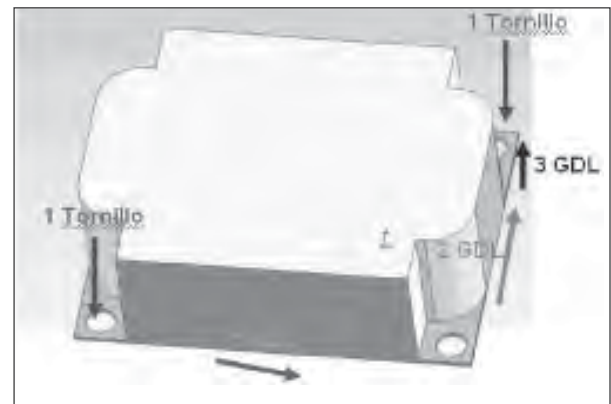
Para la sujeción del balasto se requiere emplear 2 tornillos (Ver figura 6) con su respectiva tuerca, dichos tornillos se ubican de forma diagonal sobre la base del balasto de la misma manera que se sujeta el arrancador y el condensador.

Adicionalmente es necesario ubicar tanto el tornillo como la tuerca para poder realizar el ensamble. Para el caso del tornillo se pueden emplear los mismos grados de libertad descritos previamente en el proceso de ubicación de componentes (5GDL).

Para la tuerca es necesario contar 2 grados de libertad adicionales, sin incluir nuevamente el mecanismo de dosificación de éstas, estos 2 GDL se requieren para poder ubicar las tuercas en las diagonales del balasto.

Esta situación se muestra en la figura 6 donde es posible visualizar los tres grados de libertad requeridos para el ensamble de los tornillos requeridos por el balasto.

**FIGURA 6**  
Grados de libertad para el Ensamble del Balasto



En general, se requieren 11 grados de libertad (tabla 2) para el cumplimiento de las labores de ensamble requeridas. A través de un proceso de depuración y optimización fue posible diseñar un robot que cumpla con los requerimientos con tan sólo 6 grados de libertad. Las características se observan en la tabla 3).

**TABLA 2**  
Resumen de requerimientos de grados de libertad para cumplir las actividades necesarias

Proceso	Sub-Proceso	# Grados de Libertad Requeridos
Posicionar componentes	-	5
Sujetar componentes	Sujeción arrancador y condensador	3
	Sujeción balasto	5 (Los empleados en el proceso de ubicación de componentes. 3 (Los empleados en el proceso de sujeción de arrancador y condensador) 3
<b>TOTAL</b>		<b>11</b>

**TABLA 3**  
Características del Robot Diseñado

Características	Diseñado	
Área de trabajo	60x60x90	
Material	Aluminio y Acero	
Color	Gris con azul	
Grados de Libertad	6	
Actuadores	Motores DC	
Sensores	Encoders	
	Fin de carrera	
	Proximidad	
Peso	20 Kg.	
Instalación	Piso-mesa	
Control	Automático	
	Manual	

## EMPLEO DE ELEMENTOS FINITOS EN EL ANÁLISIS DE COMPONENTES

A través del empleo del método de elementos finitos, es posible predecir el comportamiento de los principales componentes de la maquina en cuanto a esfuerzos y desplazamiento. Los resultados del análisis se muestran en la tabla 4.

**TABLA 4**  
FEA para los principales elementos del robot

Base	Esfuerzo	
	Desplazamiento Estático	
Barra	Esfuerzo	
	Desplazamiento Estático	
Eje	Esfuerzo	
	Desplazamiento Estático	



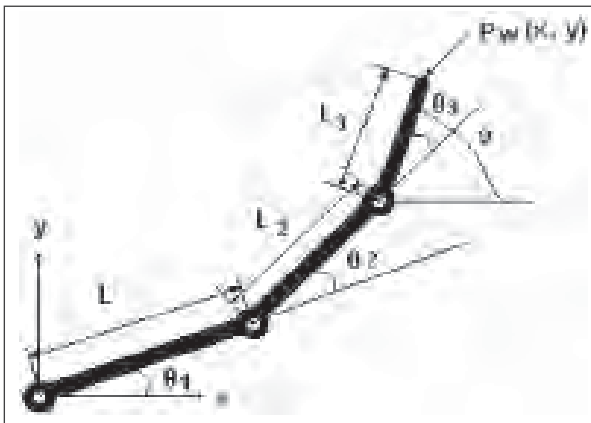
## ANÁLISIS DEL DISEÑO

### CINEMÁTICA DEL ROBOT

Una alternativa útil para localizar la posición del extremo del brazo es haciendo uso de los ángulos  $\theta_1$ ,  $\theta_2$ ,  $\theta_3$  (Ver figura 7) y definir el punto extremo en función de los mismos así:

$$P_j = (\theta_1, \theta_2, \theta_3)$$

**FIGURA 24**  
Representación 2D



Otra alternativa es hacer uso del "espacio universal" para localizar la posición del punto extremo del brazo. Para lograr dicho fin es necesario aplicar las coordenadas cartesianas asignando valores de (x,y) si se requiere un análisis 2D y (x,y,z) si se trata de 3D tal y como se enseña en la tabla 5.

**TABLA 5**  
Punto extremo del brazo (Pw)

En dos dimensiones (2D)	En tres dimensiones (3D)
$P_w = (x, y)$	$P_w = (x, y, z)$

### TRANSFORMACIÓN DIRECTA

Con el fin de definir la posición del extremo del robot en el espacio universal, es necesario definir los vectores "r" se definen vectores para los diferentes enlaces así:

$$\vec{r}_1 = [l_1 \cos\theta_1, l_1 \text{sen}\theta_1]$$

$$\vec{r}_2 = [l_2 \cos(\theta_1 + \theta_2), l_2 \text{sen}(\theta_1 + \theta_2)]$$

$$\vec{r}_3 = [l_3 \cos(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3), l_3 \text{sen}(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3)]$$

Donde l corresponde a las longitudes de los respectivos brazos y  $\theta$  es el ángulo correspondiente a los enlaces (ver figura 7).

La suma vectorial proporciona las coordenadas (x,y) del punto Pw (Punto del extremo del brazo)

$$X = l_1 \cos\theta_1 + l_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) + l_3 \cos(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3)$$

$$Y = l_1 \text{sen}\theta_1 + l_2 \text{sen}(\theta_1 + \theta_2) + l_3 \text{sen}(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3)$$

$$\phi = (\theta_1 + \theta_2 + \theta_3)$$

Donde  $\theta$  es el ángulo de orientación de la muñeca.

### TRANSFORMACIÓN HOMOGÉNEA

El vector del punto  $V = ai + bj + ck$  puede representarse como

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ w \end{bmatrix}$$

Donde  $a = \frac{x}{w}$ ,  $b = \frac{y}{w}$ ,  $c = \frac{z}{w}$  y w es el factor de escala.

Las rotaciones de un vector alrededor de cada uno de los ejes en un ángulo  $\theta$  se pueden realizar por las transformaciones de rotación así:

Alrededor del eje x, la transformación de rotación es:

$$\text{rot}(y, \theta) = \begin{bmatrix} \cos\theta & 0 & \text{sen}\theta & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\text{sen}\theta & 0 & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Alrededor del eje y, la transformación de rotación es:

$$rot(y, \theta) = \begin{bmatrix} \cos\theta & 0 & \sin\theta & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin\theta & 0 & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Alrededor del eje z, la transformación de rotación es:

$$rot(z, \theta) = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Es posible desarrollar la transformación de rotación alrededor de cualquier vector k donde k no es uno de los ejes principales x, y ó z del sistema coordenado así:

$$Rot(k, \theta)$$

Para el caso de la traslación, se tiene  $u=Hv$  donde H es una matriz de 4x4, v es un vector definido, u es un vector

$$H = trans(a, b, c) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a \\ 0 & 1 & 0 & b \\ 0 & 0 & 1 & c \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

### CINEMÁTICA UTILIZANDO TRANSFORMACIONES HOMOGÉNEAS

Se puede considerar que T esta compuesto por cuatro vectores columna. Estos cuatro vectores pueden utilizarse para definir la posición y la orientación del extremo del manipulador.

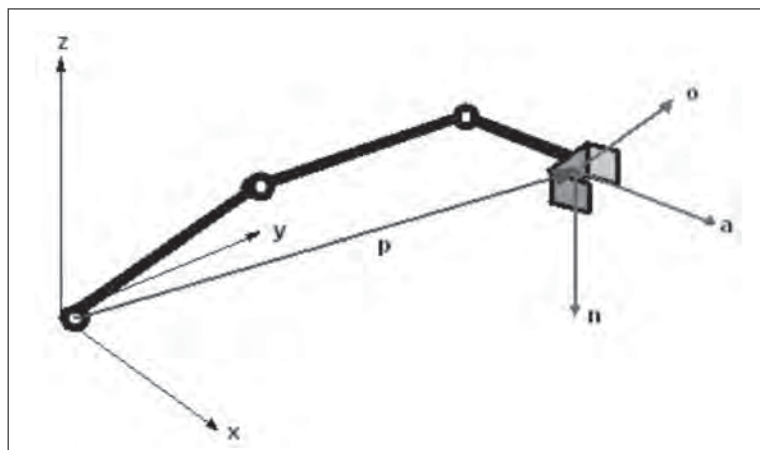
La matriz T y su inversa T-1 quedan definidas como:

$$T = \begin{bmatrix} nx & ox & ax & px \\ ny & oy & ay & py \\ nz & oz & az & pz \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$T^{-1} = \begin{bmatrix} nx & ny & nz & -p \cdot n \\ ox & oy & oz & -p \cdot o \\ ax & ay & az & -p \cdot a \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Los vectores a, o y n se muestran en la figura 2.

**FIGURA 8**  
Vectores a, o y n para el robot



Donde:

- a: Vector de aproximación.
- o: Vector de orientación, especifica la orientación de la mano desde un dedo al otro.
- n: Vector normal a o y a

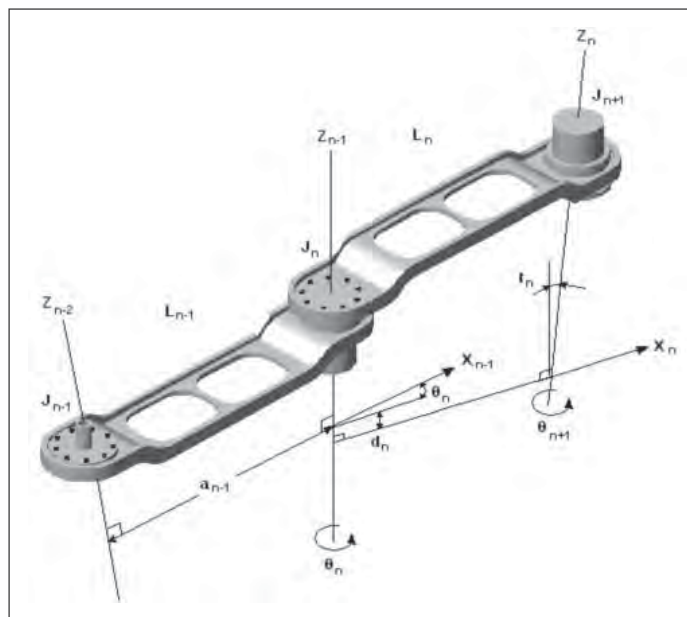
Los vectores n, o y a constituyen los ejes x, y, y z de los ejes de referencia mostrados en la figura 8.

La posición y orientación del extremo se define como el producto de n transformaciones homogéneas, una por cada una de las n articulaciones del manipulador.

Las posiciones de las articulaciones del brazo se pueden considerar como el producto de las transformaciones que describen las rotaciones y traslaciones de las combinaciones articulación-enlace.

El eje  $Z_{n-1}$  define la posición del eje de rotación para la articulación  $J_n$ ,  $Z_n$  para la articulación  $J_{n+1}$  y así sucesivamente. El eje  $X_{n-1}$  se selecciona para ser una extensión de la línea perpendicular común de longitud  $a_{n-1}$  entre las articulaciones consecutivas  $Z_{n-2}$  y  $Z_{n-1}$ . El eje  $y_{n-1}$  se selecciona para proporcionar un sistema de coordenadas a la derecha con los otros ejes. El eje  $X_n$  es una extensión de la línea perpendicular común a la longitud  $a_n$

**FIGURA 9**  
**Variables en un enlace**



De la figura 9, los siguientes parámetros corresponden a:

- $a_n$ : Distancia a lo largo de la línea que es mutuamente perpendicular a los ejes de las dos articulaciones adyacentes.
- $t_n$ : Torsión entre los ejes de las articulaciones en un plano perpendicular a  $a_n$ .
- $d_n$ : Distancia entre los numerales  $a_n$ ,  $a_{n-1}$  de los dos enlaces (desplazamiento de la articulación).
- $\theta_n$ : Ángulo entre los enlaces medidos como el ángulo entre las normales  $a_n$ ,  $a_{n-1}$  en el plano perpendicular al eje de la articulación.

La posición y orientación de la articulación n se define completamente respecto a la articulación n-1 por los cuatro parámetros  $a_n$ ,  $t_n$ ,  $d_n$ ,  $\theta_n$ .

El origen del sistema de referencia coordenada y cada enlace para establecer las relaciones entre sucesivos enlaces utilizando las transformaciones para cada una de las cuatro variables.

El sistema de referencia se incorpora en el extremo de un enlace, en la articulación sucesiva. Esto se realiza utilizando:

- Una rotación del ángulo  $\theta_n$  alrededor del eje  $z_{n-1}$ .
- Una traslación de distancia  $d_n$  a lo largo de  $z_{n-1}$ .
- Una traslación a lo largo de  $x_n$  en una longitud  $a_n$ .
- Una rotación alrededor de  $x_n$  en un ángulo de muñeca  $t_n$ .

Utilizando las transformaciones de rotación y traslación definidas anteriormente se puede desarrollar la transformación que relaciona el sistema de referencia de coordenadas del enlace n con el enlace n-1.

Para la articulación rotacional la transformación está dada por:

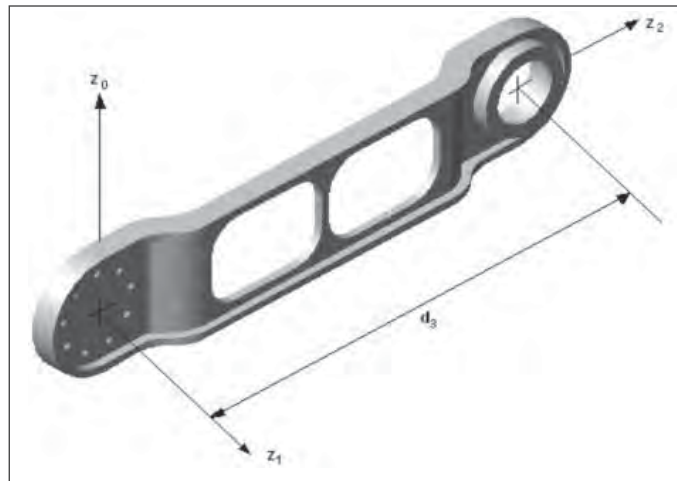
$$A_n = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\text{sen}\theta \cos(t) & \text{sen}\theta \text{sen}(t) & a \cdot \cos\theta \\ \text{sen}\theta & \cos\theta \cos(t) & -\cos\theta \text{sen}(t) & a \cdot \text{sen}\theta \\ 0 & \text{sen}(t) & \cos(t) & d \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

La descripción del extremo de un enlace respecto al sistema de referencia del robot se puede realizar como un sistema de referencia de coordenadas de enlace  $T_n$ .

$$T_n = A_1, A_1, \dots, A_n$$

### PARA LA PRIMERA ARTICULACIÓN

FIGURA 10  
Brazo manipulador



$$A_1 = \begin{bmatrix} \cos\theta_1 & 0 & -\text{sen}\theta_1 & 0 \\ \text{sen}\theta_1 & 0 & \cos\theta_1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_2 = \begin{bmatrix} \cos\theta_2 & 0 & \text{sen}\theta_2 & 0 \\ \text{sen}\theta_2 & 0 & -\cos\theta_2 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

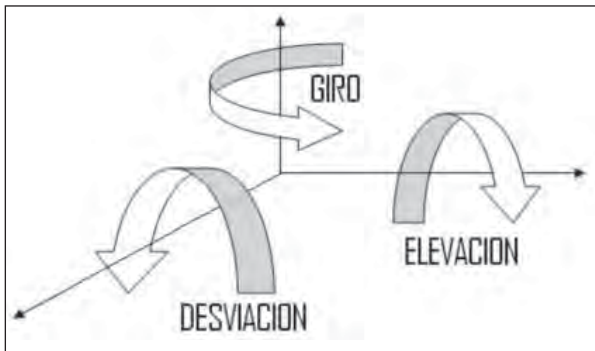
$$A_3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Para cualquier enlace n respecto a cualquier otro sistema anterior (Ver figura 10).

$${}^m T_n = T_{m+1} \dots A_{n-1} A_n$$

**ORIENTACIÓN DE LA MUÑECA**

**FIGURA 10**  
Giro, elevación y desviación para la muñeca del robot



Dado a, o y n se puede establecer el giro, elevación y desviación para la muñeca estableciendo las siguientes ecuaciones:

$$giro = \arctan\left(\frac{n_y}{n_x}\right)$$

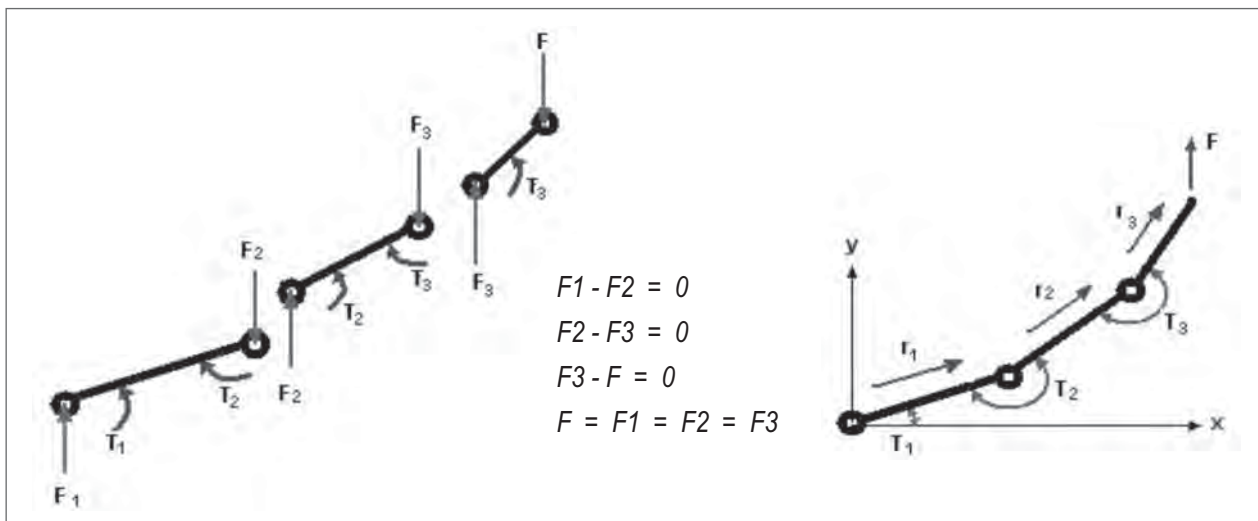
$$elevación = \arctan\left(\frac{-n_z}{n_x \cos(giro) + n_y \sin(giro)}\right)$$

$$desviación = \arctan\left(\frac{a_x \sin(giro) - a_y \cos(giro)}{o_y \cos(giro) - o_x \sin(giro)}\right)$$

**ANÁLISIS ESTÁTICO**

Los pares de torsión son los productos vectoriales de las fuerzas y de los vectores de enlace r (Ver figura 12).

**FIGURA 11**  
Pares de torsión y fuerzas en el brazo



Si  $F = (F_x, F_y)$

$$T_1 = [L_1 \cos\theta_1 + L_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) + L_3 \cos(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3)] [L_1 \sin\theta_1 + L_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) + L_3 \sin(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3)] \times (F_x, F_y)$$

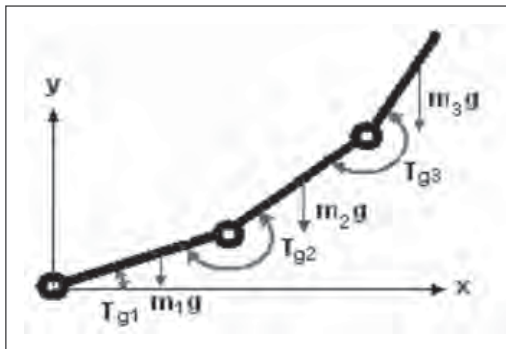
Para poder calcular la fuerza generada por el extremo del brazo dados los pares de torsión de la articulación, se debe resolver las ecuaciones para  $F_x, F_y$ .

## ANÁLISIS DINÁMICO

### COMPENSACIÓN DE LA GRAVEDAD

Dado que la fuerza de la gravedad fue ignorada en los análisis anteriores, puede incluirse añadiendo la fuerza ejercida por la gravedad sobre cada enlace a las ecuaciones de equilibrio de fuerzas.

**FIGURA 12**  
Compensación de la gravedad



$$F_3 = m_3g$$

$$F_2 = F_3 + m_2g$$

$$F_1 = F_3 + F_2 + m_1g$$

Los productos vectoriales de los vectores de enlace y las fuerzas proporcionan los pares de torsión debidos a la gravedad en cada una de las articulaciones, por lo tanto:

$$T_{g3} = \frac{m_3 r_3 \times g}{2} = \frac{g [m_3 L_3 \cos(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3)]}{2}$$

$$T_{g2} = g \left[ \left( \frac{m_2}{2} + m_2 \right) L_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) + \frac{m_3 L_3 \cos(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3)}{2} \right]$$

$$T_{g1} = g \left[ \left( \frac{m_1}{2} + m_1 \right) L_1 \cos \theta_1 + \left( \frac{m_2}{2} + m_2 \right) L_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) + \frac{m_3 L_3 \cos(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3)}{2} \right]$$

Para el ensamble del balasto se requiere que la velocidad sea superior o igual al cambio de la posición del extremo del brazo (Pw) respecto al origen dependiendo del tiempo requerido.

La velocidad lineal requerida según el caso se representa mediante:

$$V = \frac{\Delta L}{t}$$

Donde:

V: Velocidad Lineal

t: Tiempo (61.5 s para el balasto, 66.2 s para el arrancador y 124.5 s para el condensador)

$\Delta L$ : Cambio en la posición (Longitud del brazo en el momento más extremo, es decir, estirado completamente.  $\Delta L = L_1 + L_2 + L_3$ ).

Siendo  $\omega$  velocidad angular y L la longitud de cada sección del brazo y equivale al radio, se tiene que:

$$\omega = \frac{V}{L}$$

La potencia del motor está dada por

$$P = \omega \cdot T$$

Donde:



P: Potencia del motor (Actuador)

$\omega$ : Velocidad Angular

T: Torque requerido ( $T_{g1}$ ,  $T_{g2}$ ,  $T_{g3}$ )

Entonces:

$$P_{motor3} = \frac{V}{L_3} \cdot g \left[ \frac{m_3 L_3 \cos(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3)}{2} \right] = V \cdot g \cdot \left[ \frac{m_3 \cos(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3)}{2} \right]$$

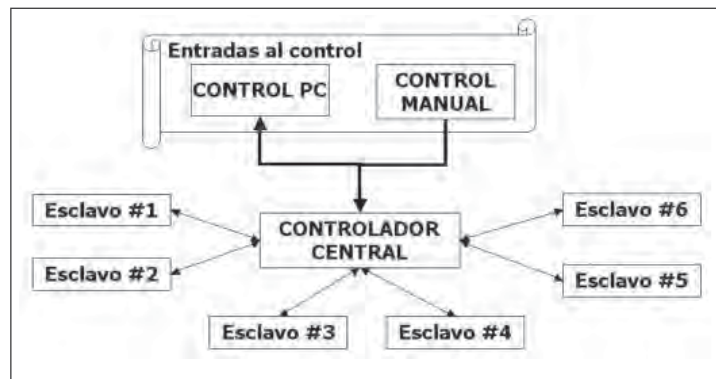
$$P_{motor2} = \frac{V}{L_2} g \left[ \left( \frac{m_2}{2} + m_2 \right) L_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) + \frac{m_3 L_3 \cos(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3)}{2} \right]$$

$$P_{motor1} = \frac{V}{L_1} \cdot g \left[ \left( \frac{m_1}{2} + m_1 \right) L_1 \cos \theta_1 + \left( \frac{m_2}{2} + m_2 \right) L_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) + \frac{m_3 L_3 \cos(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3)}{2} \right]$$

## SISTEMA DE CONTROL

Debido al número de ejes a controlar y a los requerimientos de precisión y confiabilidad necesarios, se diseñó un sistema flexible capaz de controlar cada uno de los DOF del robot, dicho sistema se basa en el sistema de control maestro-esclavo, en el cual existe un controlador para una función específica (esclavo), en este caso controlar el movimiento de 1 eje o articulación y otro controlador central (maestro) que se encargaría de administrar asignar las órdenes a los demás esclavos, es así que el control contaría con 1 controlador maestro y 6 controladores esclavos, tal y como se ilustra en la figura 14.

**FIGURA 13**  
Arquitectura del control



### DISEÑO DE LA TARJETA DE CONTROL CENTRAL

Tal y como se observa en la figura 14 el sistema tiene 2 tipos de entradas externas, las cuáles son: El control manual y el control mediante el PC.

Cuando se menciona control manual, éste hace alusión al sistema de control mediante componentes mecánicos (físicos) entre los que encontraríamos periféricos

normales como lo son: Teclado matricial, joystick comerciales o controladores autóctonos, el cuál es la propuesta con la que se cuenta.

Por otro lado el control mediante PC se realiza enlazando el control central del sistema con el PC y realizando comunicación bidireccional con este vía puerto serie RS-232.

Es así que el sistema recibiría como entradas las mostradas en la tabla 6.

**TABLA 6**  
**Entradas de la tarjeta**

ENTRADAS	CANTIDAD
Avance Eje n	1 por eje ( 6 en total)
Retroceso Eje n	1 por eje ( 6 en total)
Grabar punto	1
Activar trayectoria	1
Limpiar datos de memoria	1
<b>TOTAL</b>	<b>15</b>

Antes de definir las salidas hay que definir el sistema de comunicación que va a realizar el controlador central con los demás esclavos, en este caso por facilidad y comodidad en el uso de pocas líneas de comunicación se decide emplear un sistema de comunicación sincrónica I2C, el cuál es un módulo que permite conectar varios dispositivos al mismo tiempo, este sistema emplea sólo 2 líneas, de las cuáles 1 es para enviar pulsos de sincronización y otra se emplea para transmitir y recibir datos.

**TABLA 7**  
**Salidas de la tarjeta**

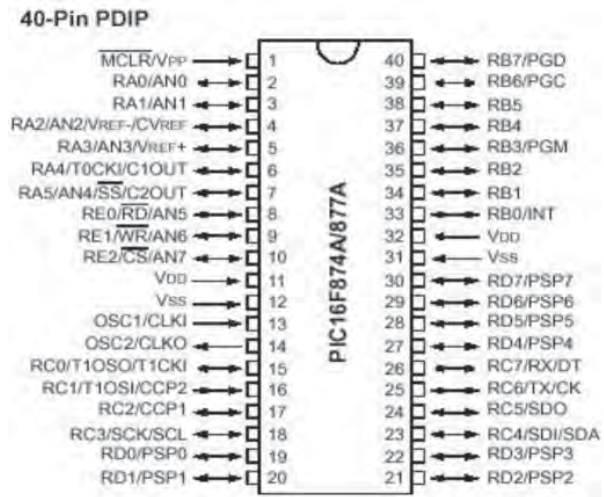
SALIDAS	CANTIDAD
Modulo I2C	2
Comunicación serial	2
Leds indicadores	2
<b>TOTAL</b>	<b>6</b>

Según este análisis el sistema control central debe contener como mínimo 21 puertos disponibles, es por ello que se piensa en un microcontrolador debido a su versatilidad y bajo costo, para este caso especial

se emplea el microcontrolador PIC16F877, abajo se muestran las características técnicas de este integrado fabricado por la empresa Microchip. Cuenta con las siguientes características:

- Número de pines: 40
- Pines disponibles: 33
- Número de entradas análogas: 8
- Comunicación serial RS-232
- Comunicación serial sincrónica: I2C
- Voltaje de operación: 5v DC

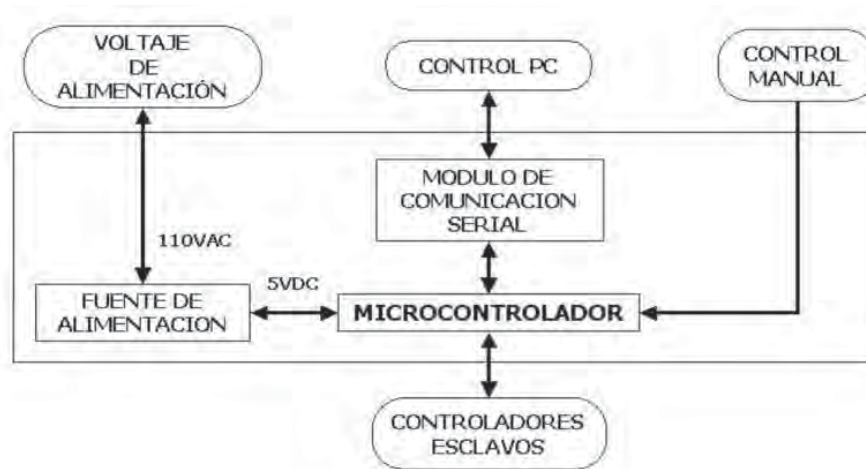
**FIGURA 14**  
**Diagrama de conexión del microcontrolador**



Debido a que el microcontrolador opera a 5VDC, este debe tener un sistema de alimentación capaz de convertir el voltaje de tipo comercial-industrial 110 VAC a 5VDC, para ello requiere de una fuente de alimentación.

Por otro lado el módulo debe comunicarse con el PC vía serie RS-232, y para ello debe contar con módulo adicional, con lo que la arquitectura del sistema controlador central (Maestro) quedaría tal y como se muestra en la figura 16.

**FIGURA 15**  
Arquitectura sistema control maestro



### FUENTE DE ALIMENTACIÓN

Este módulo tiene como función transformar el voltaje de entrada (110 VAC) en el voltaje requerido para la operación del microcontrolador (5 VDC).

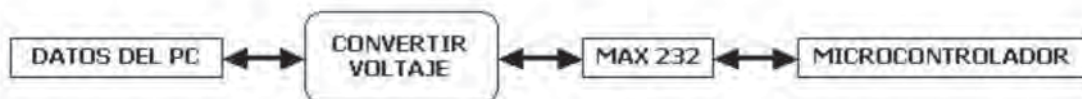
**FIGURA 16**  
Esquemático tarjeta fuente



### MÓDULO DE COMUNICACIÓN SERIAL CON EL PC

Este módulo tiene como principal característica convertir las señales de voltaje emitidas por el computador a señales TTL entendibles por el microcontrolador y viceversa, para tal propósito se emplea un circuito integrado de referencia MAX232 quien realiza dicha función.

**FIGURA 17**  
Módulo de comunicación serial con el PC



Una vez definidas las condiciones de operación del control, se diseña la tarjeta de control central (maestro), la cuál es la siguiente:

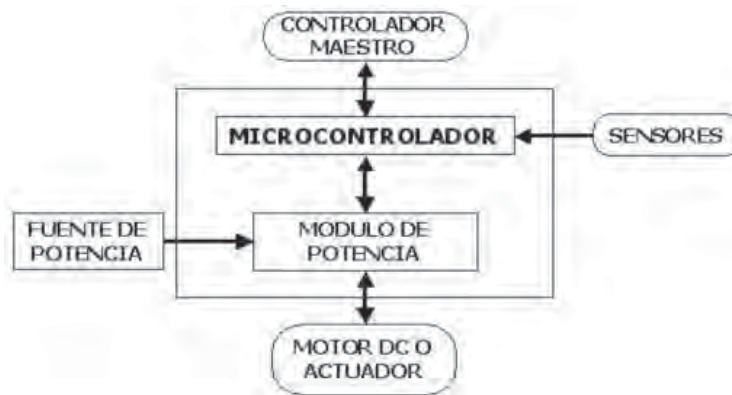
**FIGURA 18**  
**Esquemático tarjeta control central Módulo I2C**



**CONTROLADORES ESCLAVOS**

Tal y como se mencionó previamente el sistema de controlador esclavo debe ser un módulo bastante flexible, el cual debe ser capaz de comunicarse con el controlador central, a su vez debe recibir entradas de sensores y generar las salidas para controlar la dirección de giro y velocidad del motor. En la figura 20 se muestra la arquitectura de funcionamiento del controlador esclavo.

**FIGURA 19**  
**Arquitectura controlador esclavo**



Este módulo al igual que el sistema de control central debe tener un cerebro que lo controle, es por ello que al igual que en el control central se emplea un microcontrolador debido a sus bondades, para escoger el microcontrolador se deben tener en cuenta las entradas y salidas de este con el fin de optimizar la función y el precio del mismo.

**TABLA 8**  
**Entradas**

ENTRADAS	CANTIDAD
Comunicación con el maestro	2
Suiches limitadores de carrera	2
Señales del encoder (sensor de posición)	1
<b>TOTAL</b>	<b>5</b>

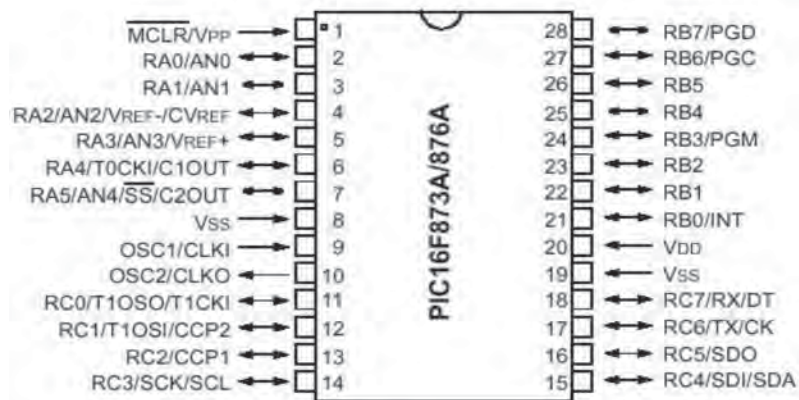
**TABLA 9**  
**Salidas**

ENTRADAS	CANTIDAD
Orden de giro al motor o actuador	2
Regulación de velocidad	1
<b>TOTAL</b>	<b>3</b>

Según las tablas 8 y 9 mostradas anteriormente; el microcontrolador debe tener disponibles mínimo 8 entradas/salidas digitales, es por ello que se escoge el microcontrolador PIC 16F873, el cuál cuenta con las siguientes características:

Número de pines: 28  
 Pines disponibles(Entradas/Salidas digitales): 22  
 Número de entradas análogas: 2  
 Comunicación serial sincrónica: I2C  
 Salida PWM  
 Voltaje de operación: 5v DC.

**FIGURA 20**  
**Microcontrolador PIC16F873**

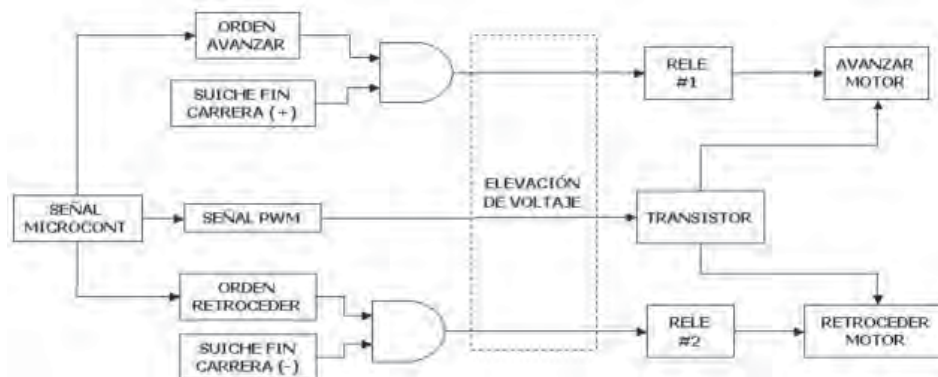


La única función del controlador esclavo es la de regular el movimiento del motor o actuador empleado, esto a implica dirigir las direcciones de movimiento, la velocidad de actuación y el seguimiento retroactivo de la posición del componente a controlar.

Al igual que la tarjeta de control central esta opera con voltajes de corriente directa muy bajos (5V), por lo que se hace necesario emplear una modulo de fuente de voltaje igual, a su vez como la tarjeta posee un módulo de potencia, este debe poseer otra fuente de voltaje para este propósito, pero ajustándose a las necesidades de salida de voltaje.

En la figura 22 se observa el funcionamiento del sistema

**FIGURA 21**  
**Funcionamiento del sistema**





## CONCLUSIONES

El robot diseñado cuenta con seis grados de libertad que le permiten alcanzar todas las posiciones en 3D requeridas para realizar la función de ensamble de componentes eléctricos de una luminaria.

Con un peso de sólo 20 Kg., esta maquina esta en condiciones de reemplazar perfectamente a 4 personas trabajando en dos jornadas lo que le ahorraría a una empresa productora alrededor de 36 millones de pesos por año.

Gracias al análisis dinámico, cinemático y estático es posible predecir las fuerzas que influncian el sistema para poder realizar un análisis utilizando elementos finitos confiable y poder garantizar de esta forma, calidad del robot.

## RECOMENDACIONES

A la hora de realizar un diseño de robot industrial u otro tipo de diseño es importante tener claro que el primer diseño no es el definitivo y por lo tanto, es útil emplear software parametrizables para el modelamiento de forma que puedan realizarse variaciones significativas en el diseño y probar diferentes comportamientos ante cambios en la forma.

Algo similar puede ocurrir con el análisis cinemático, dinámico y estático.

## NUEVAS VÍAS DE DESARROLLO

Existen variaciones importantes según los diversos robots existentes actualmente. Pese a las diferencias, existen estándares en cuanto a la cinemática, dinámica y estática de los robots cartesianos, cilíndricos, polares entre otros.

Es posible estudiar las relaciones existentes entre estos robots y desarrollar un método que permita depurar fácilmente el análisis según las características requeridas del diseño.

## BIBLIOGRAFÍA

- (ASIMOV, 1986) ASIMOV, Isaac, Los robots, Madrid, España, Ediciones Orbis S. A., 1986.
- (BARRIENTOS, 1997) BARRIENTOS, A., PEÑIN, L. F., BALAGUER C., ARACIL, R. Fundamentos de Robótica, Madrid, España, Mc - Graw Hill, 1997.
- (FERRATE, 1988) FERRATE, G., AMAT, J., AYSA, J., Y OTROS, Robótica Industrial, Barcelona, España, Marcombo S.A., 1988.
- (HOYOS, 1992) HOYOS LOPERA, Alberto, "El robot industrial en la manufactura automática", Medellín, Revista: Ingeniería Mecánica No 4, 57p.
- (KLAFTER, 1989) KLAFTER, Richard D., CHMIELEWSKI, Thomas A., NEGIN, Michael. Robotic engineering: an integral approach, New Jersey, Prentice-Hall, Inc., 1989, ISBN 84-267-0655-8, 744p.
- (OLLERO, 2001) OLLERO, Aníbal, Robótica: manipuladores y robots móviles, Industrial. Barcelona, Marcombo, S.A., 2001.
- (SANDIN, 2003) SANDIN, Paul E., Robot, Mechanisms and Mechanical Devices, McGraw-Hill, 2003, ISBN 84-88713-22-3, 337p.
- (TORRES, 2002) F.Torres, J.Pomares, P.Gil, S.T. Puente, R.Aracil. Robots y sistemas sensoriales. Prentice Hall, 2002.
- (BARAJAS@, 2005) BARAJAS P, Oscar Mauricio. "Breve Historia de la Ingeniería Mecánica", 2004 [En línea], Citado 1 de Abril de 2005. Disponible en Internet en: <http://www.oscarbarajas.com/mecanica.html>
- (MOTORTECHNOLOGY@, 2005) MOTORTECHNOLOGY INC. [En línea], Citado el 22 de Marzo de 2005. Disponible en Internet: [http://www.motortech.com/rcml\\_photo.jpg](http://www.motortech.com/rcml_photo.jpg)



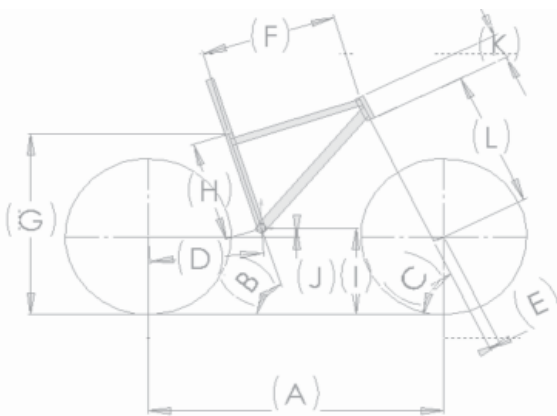
# DESIGN AND CONSTRUCTION OF REAR SUSPENSION MECHANISM FOR A DOWN HILL COMPETITION MOUNTAIN BIKE

JAIME ANDRÉS MEJÍA C.  
*jmejiac3@eafit.edu.co*  
Department of mechanical engineering

AREA  
DESIGN

SUPERVISOR  
ING. ALBERTO RODRÍGUEZ GARCÍA  
*arodrig@eafit.edu.co*

COMPANY  
UNIVERSIDAD EAFIT



## ABSTRACT

The bicycle is a transportation system that is characterized to be: economic, doesn't pollute, doesn't make noise and helps with the human interaction. In the world there are 800 million bicycles, quantity that duplicates the number of cars.

Most people when goes riding a bike use it to ride in the multiples asphalt roads. With the invention of the mountain bike the concept has changed, with new frames, better equipment and new materials; the rider can leave the roads and hit the single tracks; But Colombia has the inconvenient that these bicycles and accessories have to be imported to the country at a high price.

The design and construction of mountain bikes in Colombia is in a low level. In the country there is not a single company that produces this type of bicycles for competition, most companies that build mountain bikes in the country, produce bicycles that are not suitable for competition, also the technology and the knowledge on this topic is limited and poor.

In the course design of machines 1, at the EAFIT University, there was a work done over the design of a rear suspension mountain bike. The first prototype was built and improved during others semesters and was proved on several competitions.

The experience acquired during those courses and the field of action with the prototype mentioned above and built at the EAFIT University by the author, leaves the door open for the extension of the design process of a new down hill competition mountain bike.

## KEY WORDS

Down Hill, mechanical advantage, strain gauges, stress.

## **RESUMEN**

La bicicleta es un medio de transporte del cual se destacan estas características: es económica, no contamina el aire, no produce ruido y facilita la interacción y el contacto humano. En el mundo hay 800 millones de bicicletas cantidad que duplica el número de vehículos. La mayoría de las personas cuando montan en bicicleta van de paseo por las múltiples carreteras. Con la invención de la bicicleta de montaña su concepto cambia porque se incorporan nuevos y mejores equipos, los cuales permiten salirse de las carreteras convencionales a los caminos de herradura; pero se da el inconveniente de que estos accesorios deben ser importados al país, lo cual implica altos costos.

La construcción de la bicicleta de montaña en Colombia se encuentra en un nivel bajo. En el país no se fabrican bicicletas de montaña para competencia y la mayoría de empresas fabrican una gama de bicicletas de bajo perfil, además el medio no había demandado otro tipo de artefacto y adicionalmente, la tecnología es reducida y con limitado conocimiento sobre el tema.

En el curso de diseño de maquinas 1, en la Universidad EAFIT, se trabaja sobre el diseño de bicicletas de montaña y allí se fabrica el primer prototipo, el cual es mejorado durante los siguientes semestres y puesto a prueba en las diferentes competencias.

La experiencia adquirida durante estas materias y en el campo de acción con el prototipo fabricado en la mencionada universidad, dejan la puerta abierta para la continuación del proceso de diseño de una bicicleta de montaña para descenso a nivel competitivo.

## **PALABRAS CLAVES**

Descenso de montaña, ventaja mecánica, galgas extensométrica, deformación.

## **INTRODUCTION**

The first step to design a new prototype is to study the actual bike models and the rear suspensions system of the bicycles in the market. Investigate and understanding the essential requirements of the actual rear suspension mechanism of mountain bikes. This is one of the crucial components in the design procedure.

The second step is to choose one of the mechanisms and study its kinematics, by a mathematical method find the geometry and dimensions that are required to accomplish the objectives of the mechanism. The third step is to generate the appropriated 3D modeling with the computer programs assistance (Solid Works).

With the 3D model and the kinematics solved it is possible to apply the finite elements structural analysis to the frame and mechanism. With the help of computer program (ANSYS) it is possible to confirm that the chosen mechanism, materials and dimensions are the appropriated for the design.

Finalizing with the manufacturing process and posterior testing of the bicycle in the field of action and laboratory.

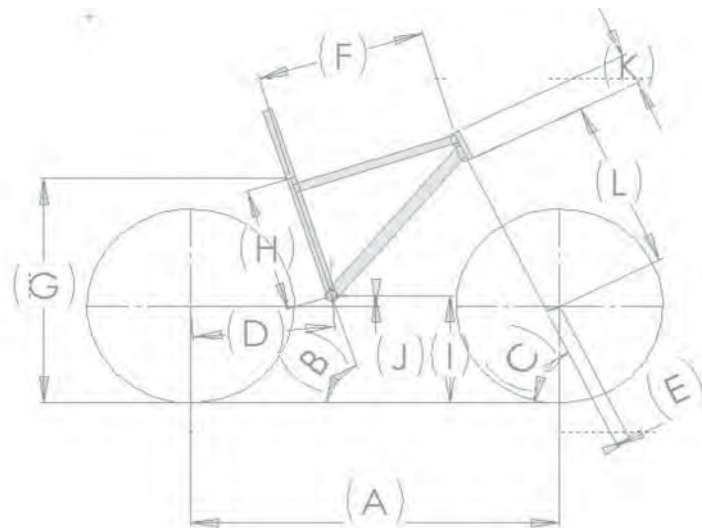
## **SELECTING THE FRAME AND MECHANISM**

To be able to install a double suspension system on a down hill mountain bike, is necessary to create a mechanism that allows the rear wheel to move separately of the frame. This reason makes necessary to study the bicycle in two separate parts, main frame, and rear mechanism system.

## FRAME

**FIGURE 1**  
Selected frame and geometry

Frame geometry (mm) <sup>α</sup>	
A <sup>α</sup>	1163 <sup>α</sup>
B <sup>α</sup>	74° <sup>α</sup>
C <sup>α</sup>	86° <sup>α</sup>
D <sup>α</sup>	449 <sup>α</sup>
E <sup>α</sup>	45 <sup>α</sup>
F <sup>α</sup>	540.59 <sup>α</sup>
G <sup>α</sup>	764.44 <sup>α</sup>
H <sup>α</sup>	420 <sup>α</sup>
I <sup>α</sup>	365 <sup>α</sup>
J <sup>α</sup>	35 <sup>α</sup>
K <sup>α</sup>	105 <sup>α</sup>
L <sup>α</sup>	571 <sup>α</sup>



The frame is the main components on the bike, but also is the section of the bike that holds the rider. This one is supported by the frame in three points: seat, handle bars and the pedals. These three points are steady and are organize on a frame configuration with a specific geometry.

The selected geometry and structure for the main frame is shown in figure 1, this geometry is looking for the best performance for a down hill bike.

### REAR MECHANISM SYSTEM

The rear suspension is the basic component of a down hill competition mountain bike and this one has to be well harmonized with the frame. The method is to match this component with the frame and fit it to a mechanism with one degree of freedom. In that way, when a rock is bumped the rear mechanism will compress the rear suspension on a trajectory and the rear wheel will move up with one degree of freedom.

The idea is to create a mechanism with a mechanical advantage of 1 to 3, for example: When the suspension it compress an x distance the real wheel will move up 3 times x. This relation is the one use in the down hill mountain bikes at the world market, but this relation can increase, decrease or be constant during the trajectory of the rear wheel.

To get a mechanism with one degree of freedom can be use mechanism with 4 rods, 6 rods and 8 rods.

The selected mechanism system is the 6 rod Watt. To dimension this mechanism the next steps need to be followed.

### REAR SUSPENSION MECHANISM DIMENSIONS

The first step is to dimension the suspension trajectory and mechanism. It is necessary to select a commercial rear suspension for downhill.

The selected suspension is the Manitou Swinger Coil SPV 6-way with a travel of 76 mm and a wheel base of 241 mm and a spring of 8928.98 Kg/m<sup>2</sup>

The best system for the suspension is based on an isosceles triangle. Allowing the rod to transmit more power during the entire trajectory than the other systems presented. Also the suspension it doesn't deflect from the original position as in the other cases as seem in figure 2.

**FIGURE 2**  
Rear shock configuration



For the extreme positions of the mechanism and the positions when the mechanism starts moving the geometry can be solved using the trigonometric functions as sin, cos and pythagoras. With this data is possible to find the three initial points for the rest of the mechanism.

## SECOND SECTION FOR THE REAR SUSPENSION MECHANISM DIMENSIONS

The second section of the rear mechanism can be dimensioned based on the Freudenstein equation (equation 1) This equation is based on a four rod mechanism, with three precision points, for the initial rod and three pension points for the final rod, with the six precisions points is possible to find the length of the rods. (Nieto, 1975).

$$K1 \cos \varphi_1 - K2 \cos \gamma_1 + K3 = \cos(\varphi_1 - \gamma_1)$$

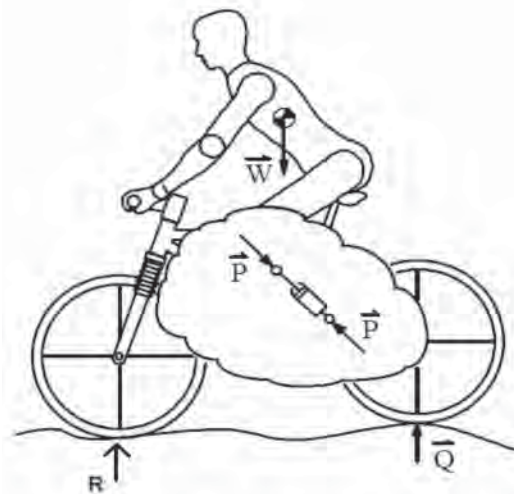
$$K1 \cos \varphi_2 - K2 \cos \gamma_2 + K3 = \cos(\varphi_2 - \gamma_2)$$

$$K1 \cos \varphi_3 - K2 \cos \gamma_3 + K3 = \cos(\varphi_3 - \gamma_3)$$

(Nieto, 1975)

To be able to find the other precision points of the mechanism is necessary to understand the forces that are applied on it. The mechanism is receiving a force from the track every time that the rear wheel is under an impact, this force is going to be named as Q and this force is transmitted by the mechanism to the rear suspension to be absorbed by the spring. This force is called P. See figure 3

**FIGURE 3**  
Forces acting on the mechanism



For this project it is appropriate to have a mechanism with a constant mechanical advantage of 1 to 3. to get this result the equation 2 is used to secure that the energy absorbed by the spring is the same energy that comes from the track

$$Pds = -Qdy$$

Where ds is the derivate of the distance of the spring compression and dy is the derivate of the distance travel by the rear wheel.

$$\frac{P}{Q} ds = -dy$$

P/Q is the mechanical advantage, which is as a constant equal to 3 (K). The value for ds can be found by integrating the area under the line of the equation of the displacement of the spring against the force, this area is equal to the energy absorbed by the spring. The value of dy can be found by integrating the area under the line of

Q against the distance travel the rear wheel, this is equal to the energy that comes from the track.

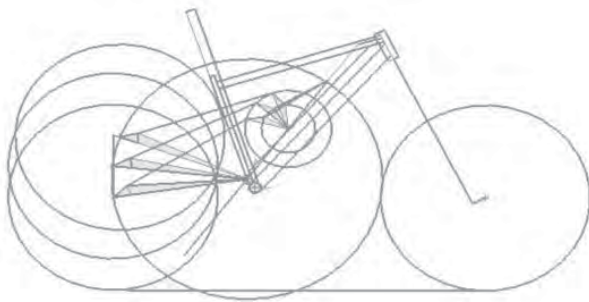
$$K \int ds = - \int dy$$

$$K(s_2 - s_1) = -(y_2 - y_1)$$

$$Ks_2 = -y_2$$

The other precision point distances can be found, applying Freudenstein, the mechanism will be adjusted to a constant mechanical advantage of 1 to 3, obtaining the mechanism presented in figure 4.

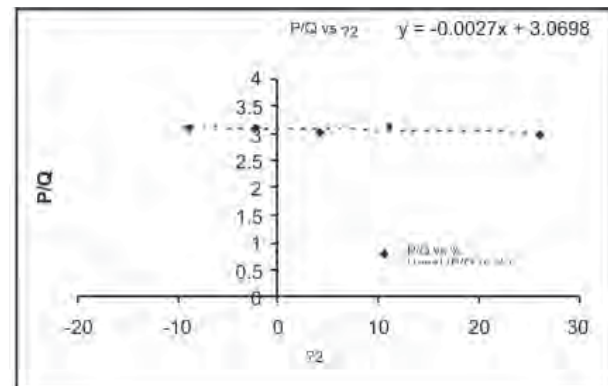
**FIGURE 4**  
Freudenstein results



To confirm the calculations made are correct a method is presented in the Chinese master thesis (Design of rear suspension system of mountain bikes). In this project a trigonometric method is use to calculate the relation P/Q, by using the coordinates system and geometry of the different pairs of the mechanism at different precision points. This method is use to calculate the mechanical advantage for the dimensioned frame and mechanism obtaining the results show in figure 5.

With this result is proved that the mechanism chosen it really has a mechanical advantage of 1 to 3.

**FIGURE 5**  
P/Q vs  $\Theta_2$



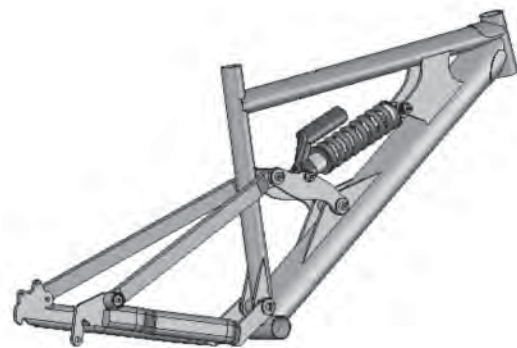
## MATERIAL SELECTION

The selected material is the ASI SAE 1010. This material is strong and by using thinner pipes, the weight can be reduced. This material is easy to manufacture and weld, also is cheap and it can be found on a variety of shapes.

## 3D MODELING

The program use for the 3D modeling is the Solid Works 2004. With the help of the solid work is possible to fit the components in the frame and see if there is any interference between them. Also is possible to do a simulation that allows seeing the behavior of the mechanism. This simulation is necessary to define the 3D geometry for the structural analysis. Figure 6.

**FIGURE 6**  
Frame and mechanism final 3D modeling



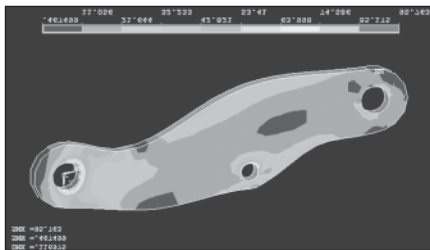


## STRUCTURAL ANALYSIS RESULTS

The first section of the finite elements analysis is done by an optimization program designed at the EAFIT University, with this software is possible to study the best geometry for the forces affecting a component at three precision points.

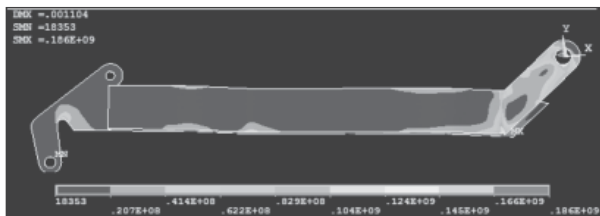
After a series of iterations the software gives the best possible solution. The final solutions are proven with the computer software Ansys. This procedure is done for the rod 6 and the plate of the frame where the suspension is pivoting see figure 7.

**FIGURE 7**  
**Rod 6 stress results**



The second section of the stress analysis is based on a shell structure. Due to the symmetric structure of the bike, is possible to divide the components in the middle, that way the mesh will have less elements and nodes making the problem simpler and easier to solve with less computer timing. See figure 8.

**FIGURE 8**  
**Rear link stress results**



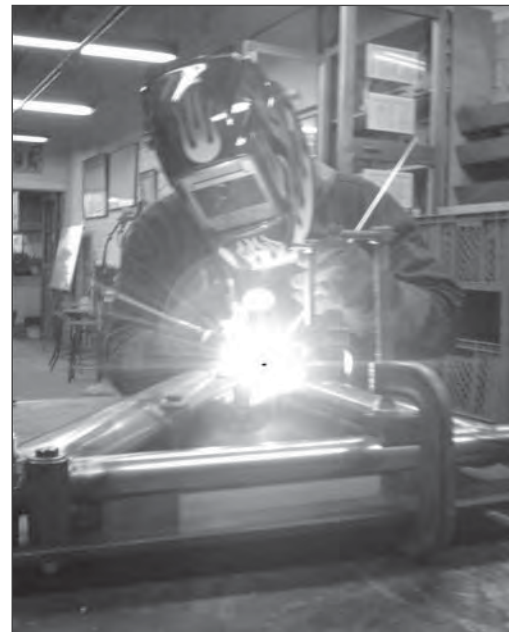
## MUFACTURING PROCESSAN

The manufacturing process is done at the laboratories of the EAFIT University, some of the procedures done

are: Tube cutting, tube machining, plates machining and welding. The painting is the only procedure that is done out of the university at the Colombian bicycle manufacture Rambo.

To secure that the frame is going to keep it geometry and linearity during the welding process a matrix is manufactured. The tubes of the frame are placed and hold with c clamps in the matrix during the welding, to secure that they will stay in place during the process and wont change position due to the heat. See figure 9.

**FIGURE 9**  
**Manufacturing process**



## LAB TESTING

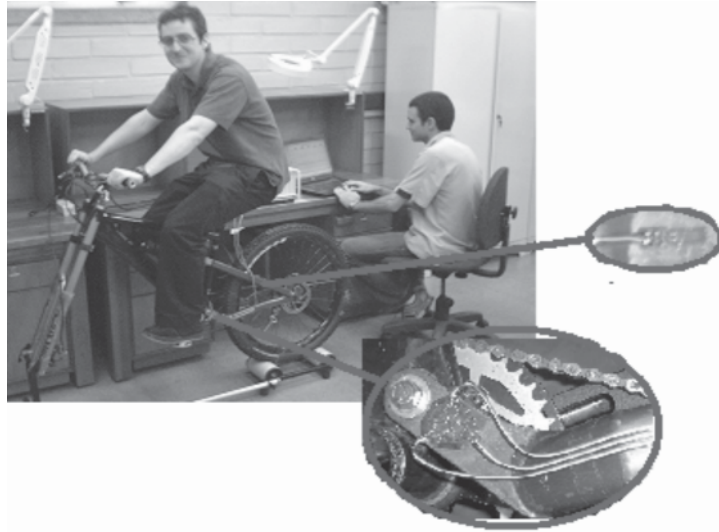
Based on the results obtained in the stress analysis two positions have been found to place the strain gauges, one for an axial gauge, and another for a rosette

The axial gauge is going to be set up in the rod 5, this is the only place where can be set up an axial gauge because is the only component of the mechanism that is under an axial load (compression), the other components are under loads that varieties with the position of the



mechanism due to their movements the stress change direction. The axial gauge is set up in the rear link close to place where maximum stress was found. See figure 10.

**FIGURE 10**  
**Strain gauges and prototype set up**



The experiment is divide in 5 sections each one of 10 seconds with a load of 74 kg, This results in 500 data points for each sections, resulting in 2500 data points for the 5 sections, from this data the principal stress average is found. The results can be seen in table.

**TABLE 1**  
**Lab results**

<b>Average</b>	<b>17,30066894</b>
<b>t student (2500)</b>	<b>2,576</b>
<b>Desviación Standard</b>	<b>0,249600671</b>
<b><math>\Psi</math></b>	<b>0,012859427</b>
<b><math>\theta</math></b>	<b>1E-13</b>
<b><math>\Delta X</math></b>	<b>0,012859427</b>

To compare the results obtained in the laboratory with the ones obtained in the finite elements simulation an extra simulation is run, with a load of 74 Kg for the rear

link. The result is the principal stress average for the nodes where the rosette strain gauge was installed.

This finite element simulation result in a principal stress average for the selected nodes of 19.5 Mpa. Comparing this results with the ones obtained in the laboratory indicates that it is an error of 8.5 % on the simulation.

## **FINAL PRODUCT AND FIELD OF ACTION**

The mechanism works as expected; presenting a prototype that is harmonic and strong. The mechanism worked as expected in the rocky sections allowing the rider to pass over them at high speed, also the mechanism prove to be strong allowing the rider to keep more control over the bike.

Other important factors of the bike are: The pedal kick back is imperceptible; the rider is able to pedal with out losing power, allowing it to transmit more power to the wheel and track.

The selected accessories proved to be strong and the adequate for down hill competition; the suspension works in harmony with the frame and mechanism resulting in a bike with excellent control at high speeds, rocky sections, corners and jumps. The new prototype in the field of action can

**FIGURE 11**  
**New prototype in the field of action**



## **CONCLUSIONS**

By studying the bike geometry, is demonstrated that there are infinity ways to configure and dimension a frame for a down hill competition mountain bike.

Is proven that there are only three mechanism systems with one degree of freedom that can be use to design a rear suspension mechanism system for a down hill mountain bike: 4 rod, 6 rod and 8 rod mechanism. But there are infinity ways to configure, organize, form and dimension these mechanisms, resulting in infinity solutions for a new design.

After studying most of the downhill mountain bikes at the world market, it can be conclude that most of them are 4 rod and 6 rod mechanism systems (watt). It can be demonstrated that they only change in form and dimensions.

Studying the mechanical advantage of the down hill mountain bikes at the world market. Is concluded that most of them doesn't present a constant mechanical advantage, leaving the question of how they were designed.

Applying the energy balance theory is demonstrated that is possible to designed a rear suspension mechanism system for a down hill competition mountain bike with a constant mechanical advantage of 1 to 3.

The energy balance theory proved to be the most important tool at the time of designing the new mechanism system for the down hill competition mountain bike.

The 3D modeling proved to be a good tool to simulate the functionality of the designed and dimensioned mechanism system. Also with the 3D model is confirmed that is not interference between the components of the mechanism with the frame and between the different accessories that integrate the bike.

With the finite element software, is demonstrated that the selected material and geometry, are the correct for the new prototype. From the results it can be concluded that the frame and mechanism parts are strong to resist the forces apply by the track and the rider.

The new prototype with all the accessories proved to be strong and the adequate for down hill competition; the suspension works in harmony with the frame and

mechanism resulting in a bike with excellent control at high speeds, rocky sections, corners and jumps with the help of strain gauges and laboratory testing is possible to compare the results of the laboratory with the ones obtained in the simulation used for the design of a rear suspension mechanism system for a down hill competition mountain bike

it is interesting to see how different theories and subjects studied during the career are apply in this project, some of the courses are: technical drawing, static's, materials science, mechanics of material, thermodynamics, experimental mechanics, finite elements, and others

## **BIBLIOGRAPHY**

- RODRÍGUEZ GARCÍA, Alberto, Diseño Conceptual. Fondo Editorial Universidad Eafit. 198 p., Medellín. 2003. Ubicación Del Material En La Biblioteca de la Universidad Eafit: Clasificación: L 620.0042 R696A, Ubicación: Libro 3p. Ala Occi. - 2 – Medellín
- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACION. Documentación. Presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación. Bogotá-Colombia: ICONTEC, 2002. 37p. (NTC 1486).
- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACION. Documentación. Clasificación y características esenciales de las bicicletas. Bogotá-Colombia: ICONTEC, 2002. 37p. (NTC 3661).
- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACION. Material de transporte. Bicicletas designación de componentes. Bogotá-Colombia: ICONTEC, 2002. 37p. (NTC 2333).
- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACION. Bicicletas. Ensamble marco tenedor. Bogotá-Colombia: ICONTEC, 2002. 37p. (NTC 3637).
- Norma Venezolana. Bicicletas, requisitos de seguridad para bicicletas, ISO (4210:1996)
- MANZINI, Ezio. La materia de la invención: ediciones ceac., 1982
- Design of rear suspension system of mountain bikes. Design on the system of rear suspension system of mountain bikes
- ## **INTERNET**
- Amigosdelciclismo@  
Amigos del ciclismo. Historia de la bicicleta. Tallas geometrías y posiciones. [On lline]. [September 2005]From Internet:< <http://www.amigosdelciclismo.com/mecanica/tallasygeometrias/>>
- Periodico@ Periódico. Consejos de la bicicleta. [On lline]. May 25, 2000. From Internet: <<http://periodico/consejos/bicicleta/hoy.html>>
- Specialized @  
Specialized bicycles. Mountain bike models 2005. [On lline]. [From september 2005] From Internet: <<http://www.specialized.com.> >
- Mundo caracol@  
Bicicletos el mundo a golpe de pedal, Historia del Ciclo montañismo [On lline] [ April , 2005] From Internet <http://groups.msn.com/0hed4cr51duoeivfbt98d6a7a4/lahistoriadelabicicleta.msnw>
- Solociclismo@  
Solociclismo. Historia de la bicicleta [On lline] [April, 2005] From Interne <[http://www.solociclismo.com/html/articulos/articulos\\_16.html](http://www.solociclismo.com/html/articulos/articulos_16.html)>
- Scienceofcycling@  
Science of cycling, materials use in mountain bikes [On line] [ April , 2005] From Internet.

<<http://www.exploratorium.edu/cycling/movies/wheelcrusher.mov>>

MTY@

Introducción al uso del equipo de medición [On line]  
[september del 2005]  
From Internet.

<

Nationalinstruments@

National Instruments. Measuring strain with strain gauges

[On line] [September 2005]

From Internet.

<<http://www.ni.com/products>>

# **DISEÑO DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN DE MANTENIMIENTO PARA UNA EMPRESA DE FUNDICIÓN**

**ANDRÉS POVEDA ZAPATA**  
*apoveda@epm.net.co*

**NICOLÁS BEDOYA ZAPATA**  
*nbedoyaz@eafit.edu.co*

Departamento de Ingeniería Mecánica

**ÁREA DE ÉNFASIS**  
MANTENIMIENTO

**ASESOR PRINCIPAL**  
ING. JUAN SANTIAGO VALLEJO JARAMILLO

**SECTOR BENEFICIADO**  
EMPRESAS DE FUNDICIÓN



## **RESUMEN**

La empresa Mecánicos Unidos S.A. es una empresa que se dedica a la fabricación, manufactura, ensamble, comercialización y distribución de toda clase de productos elaborados mediante procesos de fundición, maquinado, extrusión o aleación forja. Desde 1943 se ha dedicado a la fundición en serie de piezas en hierro gris y blanco para industrias de ensamble en los sectores automotriz, ferretero, de electrodomésticos, entre otros.

Para la realización del proyecto, se identificaron una serie de necesidades de la empresa en cuando al mantenimiento y al manejo de la información del mismo. Debido a esta razón se decidió implementar un sistema de información de mantenimiento en la empresa Mecánicos Unidos S.A.

El sistema de información que se programó a lo largo de éste proyecto, cuenta con la posibilidad de un manejo organizado de la información del departamento de mantenimiento y tiene opciones de generación de órdenes de trabajo y de seguimiento de dichas órdenes. Algunos de los módulos con los que cuenta el programa son los siguientes: personas, equipos, herramientas, repuestos, reportes de falla, planes de mantenimiento, órdenes de trabajo, entre otros.

El sistema de información de mantenimiento fue programado con la herramienta de desarrollo Visual Web Developer 2005. Es una aplicación Web que puede ser accesada por cualquier computador de la empresa que esté conectado al servidor y que cuente con un explorador de Internet.

## **PALABRAS CLAVE**

Sistema de información de mantenimiento, fundición, mantenimiento preventivo, mantenimiento correctivo, ordenes de trabajo, información histórica, bases de datos.

## **KEY WORDS**

Maintenance information system, foundry, preventive maintenance, corrective maintenance, work orders, historical data, database.

## **INTRODUCCIÓN**

El estado del arte fundamenta el significado teórico de un sistema de información, con el fin de obtener claridad en lo que se busca, luego se realiza una investigación en la empresa para conocer su aplicabilidad y las condiciones requeridas.

La empresa requiere un sistema de mantenimiento moderno que no sea un conjunto de personas que solucionan el problema cuando ocurre el paro de los equipos. En este caso se requiere un departamento que apoya los procesos de mantenimiento para que los equipos no tengan paros inesperados y así se cumpla con los objetivos de la producción.

Las necesidades específicas de la empresa requieren una programación de un sistema de información que se acomode a las actividades que se llevan a cabo. La plataforma de programación para este sistema de información de mantenimiento es Visual Web Developer 2005 Express Edition. Con este programa la programación se basa en el uso de páginas Web y bases de datos.

## **LA EMPRESA**

Desde 1943 se ha dedicado a la fundición en serie de piezas en hierro gris y blanco para industrias de ensamble en los sectores automotriz, ferretero, de electrodomésticos, entre otros. Para el desarrollo de sus productos, la empresa cuenta con procesos de fabricación de placa modelo, cajas de moldeo y matachos. Para esto la empresa cuenta con un laboratorio adecuado para la fabricación de dichos elementos.

La empresa en sus inicios trabajaba de una manera muy empírica, se contaba con poco personal, con un proceso productivo muy rudimentario y unas actividades de mantenimiento puramente correctivas. Con el paso del tiempo la compañía creció física y productivamente y sus procesos fueron cada día mejores, sus ventas crecieron rápidamente y la cantidad de personal aumentaba al igual que sus ingresos. La empresa conservó un ritmo

de trabajo muy adecuado y logró crecer hasta lo que es Mecánicos Unidos S.A. hoy en día.

Desde el año 2004, se tomó la decisión en la empresa de llevar a cabo un proyecto de reconversión tecnológica, con el fin de aumentar la productividad y poder abrirse más al mercado. Otro de los motivos de dicho proyecto es pasar de ser una empresa con procesos muy manuales a ser una empresa más automatizada y con menos ineficiencias. En la actualidad, el proyecto está en plena marcha y algunos de los equipos que formarán parte de la nueva planta de fundición, ya están siendo usados en la producción actual.

## **EQUIPOS**

Una descripción clara y completa de los equipos permite obtener información importante que ayuda a mantener los equipos en un alto nivel de productividad. El análisis de dicha información permite obtener datos claros sobre manejo, mantenimiento, condiciones de operación, entre otros, los cuales, si son bien aplicados, pueden ayudar a prolongar su vida útil considerablemente.

La empresa Mecánicos Unidos S.A. cuenta con una serie de equipos, que combinados, generan una gran cantidad de productos que son comercializados tanto a nivel nacional como internacional. Por esto se deben tener bien definidas las especificaciones de cada uno de sus equipos para que la empresa tenga un conocimiento claro sobre el comportamiento de sus máquinas y así pueda operarlas en un porcentaje alto de su capacidad manteniendo una competitividad alta en los mercados donde esté presente.

Una descripción general de los equipos permite tener un conocimiento claro acerca de los elementos que son objeto de estudio en este trabajo, además permite recolectar información importante para realizar los manuales de mantenimiento de cada uno de ellos.

La lista de los equipos utilizados en el proyecto es la siguiente:



**TABLA 1**  
**Lista de equipos del proyecto**

Item	Equipo
1	Máquina moldeadora automática SINTO
2	Colector de polvos zona hornos
3	Hornos de inducción de 3 toneladas
4	Unidades de potencia VIP de los hornos de inducción
5	Torre de enfriamiento
6	Puentegrúa y polipasto zona hornos
7	Cargadores vibratorios
8	Unidad hidráulica de basculamiento de los hornos
9	Bombas del sistema de agua de refrigeración
10	Sistema de agua desionizada. Bombas e intercambiador de calor

Cada uno de los equipos listados cuenta con un plan de mantenimiento completo, en el cual se informa al personal que tipo de equipo van a reparar y brinda también información importante referente al mantenimiento a realizar. La información es recogida utilizando los manuales de los fabricantes de los equipos, a través de los cuales se obtienen datos reales recomendados por aquellos que diseñaron los equipos. Otra fuente de información importante es Internet, ya que a través de este medio se pueden encontrar datos importantes que un manual puede pasar por alto y que puede llegar a ser representativo en ciertos momentos o circunstancias. Por último es importante mencionar que la experiencia de ciertas personas puede ser bastante útil en algunos momentos, ya que a través de ellos se puede llegar a detectar algunos datos relevantes que pueden llegar a ser vitales durante la operación del equipo.

## **SISTEMA DE INFORMACIÓN DE MANTENIMIENTO**

El programa es aplicado para la empresa Mecánicos Unidos S.A. y enfoca su funcionamiento sobre el

departamento de mantenimiento, encargado de gestionar las labores relacionadas con los equipos de la empresa. Dicho programa es simple para ser manejado por personal de mantenimiento y completo para servir de ayuda en las actividades de mantenimiento. Su acceso se hace desde cualquier equipo de la empresa por medio de una página Web debido a que su instalación se realiza directamente en el servidor de la compañía. Para asegurar su manejo por parte del personal de mantenimiento, se hace una inducción en donde se aborden todas las opciones presentadas por el programa.

La programación del sistema de información no es relevante para la profundidad del proyecto en sí, pero en relación con la parte de mantenimiento es importante mencionar que el programa centra su aplicación en los siguientes módulos:

- Equipos
- Proveedores
- Planes de mantenimiento
- Herramientas
- Servicios externos
- Reportes de falla
- Repuestos
- Personas
- Órdenes de trabajo correctivas
- Órdenes de trabajo preventivas

Cada módulo tiene información específica que requiere para su normal funcionamiento. La estructura del programa presenta la interconexión entre cada una de las componentes que forman todo el sistema.

El programa maneja bases de datos para el archivo de registros de historiales de mantenimiento, además guarda la información de las actividades realizadas, las órdenes generadas, los reportes creados, etc. Adicionalmente tiene la posibilidad de generar órdenes de trabajo de mantenimiento correctivo y preventivo basándose en reportes de falla y planes de mantenimiento respectivamente.

## CONCLUSIONES

La primera versión del sistema de información de mantenimiento de Mecánicos Unidos, es una sencilla herramienta que permite controlar las actividades de mantenimiento correctivo y preventivo de la empresa, además de otra serie de módulos de información también relacionada con el mantenimiento que hasta la fecha no tenían ningún tipo de control por parte de las directivas de la empresa.

El sistema de información de mantenimiento, en su primera versión no cuenta con módulos de manejo de costos ni de indicadores, por lo tanto se clasifica como una herramienta de ayuda del control de las actividades pero no de gerencia del departamento de mantenimiento. En el futuro se tiene pensado ampliar el alcance del sistema de información para que cumpla con las características anteriormente enunciadas.

Los equipos que se están instalando actualmente en la empresa, principalmente los del proyecto de reconversión tecnológica, son equipos que por su complejidad y su disposición técnica y tecnológica, necesitan mas intervención del departamento de mantenimiento que aquellos con los que tradicionalmente trabajaba la compañía, por lo tanto se concluye que es necesaria la implementación de sistemas como el programa de información de mantenimiento desarrollado en éste proyecto.

Las bases de datos y el manejo de la información que proporciona el programa, sirven en gran manera para cualquier consulta en el futuro y son pioneros en Mecánicos Unidos en el direccionamiento la empresa para el uso de cualquier tipo de software que se vaya a implementar en el futuro en el tema de la información.

Haciendo una comparación de la actualidad del mantenimiento que se realiza en la empresa Mecánicos Unidos con la que se podrá llevar en un periodo mediano de tiempo, se puede afirmar que con el uso del programa el manejo y la asignación de las actividades será de manera más sencilla, organizada y completa. El

programa, sin ser una versión profesional para manejo del mantenimiento en una empresa, proporciona una gran ayuda en el largo camino de la implementación del mantenimiento organizado y dirigido. Si se da un vistazo al pasado de la empresa, se nota claramente que al no haber registros de los mantenimientos realizados, se tiene un gran vacío en cuanto a información de los equipos que se tiene, pero si se mira hacia el futuro, con el programa gran parte de dicho vacío estará cubierta.

El programa de información de mantenimiento, en conjunto con la progresiva documentación de los manuales de mantenimiento de las máquinas ha sido un avance continuo que se ha venido desarrollando desde noviembre de 2005 en la empresa Mecánicos Unidos. Se concluye que ha sido un buen comienzo para la conformación del departamento de mantenimiento de la empresa, porque apenas hoy, después de más de cuarenta años de funcionamiento de la empresa se están implementando las rutinas de chequeos y de mantenimiento preventivo. El programa, es una herramienta del departamento de mantenimiento para llevar a la práctica los manuales de mantenimiento de cada uno de los equipos de la empresa.

## BIBLIOGRAFÍA

### CLÁSICA

GENERAL KINEMATICS. Corporation service manual. Barrington, Estados Unidos, 1996.

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.

INDUCTOTHERM. VIP power-track and power melt system. Manual operating procedures and maintenance. Estados Unidos, 1997. Escrito a.

INDUCTOTHERM. Shell furnace systems manual. Operating maintenance instruction. Estados Unidos, 1997.

LUCÍA LUCÍA, J.M.: Criterios para la información de la gestión del mantenimiento. Revista de mantenimiento N°1, España, Año 1990. ISS: 0716-8616.

MARAÑÓN, José. Artículo de El Colombiano. Medellín, Colombia Martes 20 de febrero de 1979.

MORA GUTIERREZ, Luis Alberto. Mantenimiento estratégico para empresas de servicios y/o procesos industriales. Edición AMG, Envigado, Colombia, 2005. ISBN: 958-33-8218-3.

NAVARRO ELOLA, Luis. Pastor Tejedor, Ana Clara. Mugaburu Lacabrea, Jaime Miguel. Gestión integral de mantenimiento. Marcombo Boixerau Editores. Barcelona, España, 1997. ISBN:84-267-1121-9.

PINILLA, Pablo. Memorias de clase: Sistemas de Información de la especialización de Mantenimiento Industrial. Facultad de Ingeniería mecánica. Universidad EAFIT. Medellín, Colombia. 2004.

REY SACRISTÁN, Francisco. Hacia la excelencia en mantenimiento. Editorial Tecnologías de Gerencia y Producción SA TGP Hoshin SL. Madrid, España, 1996. ISBN: 84-87022-21-9.

REY SACRISTAN, Francisco. Manual del mantenimiento integral en la empresa. Editorial Fundación Confemetal, Madrid, España, 2001. ISBN: 84-95428-18-0.

SINTOKOGIO. Operation manual for flaskless holding machine. Model FBM1R-59. Japón 1990.

THE NEW YORK BLOWER COMPANY. Class IV backwardley inclined centrifugal fans. Boletín 161, Noviembre de 1992.

TOWER\_TECH. Torres de enfriamiento para usuarios exigentes. Manual de instalación operación y mantenimiento. Marzo 21 de 2005.

## INTERNET

EVAPCO INC. Evapco AT cooling towers. Boletín 330F. [Consultado en febrero de 2006]. Disponible en: [www.evapco.com](http://www.evapco.com). Escrito a.

EVAPCO INC. Maintenance instruction cooling towers, closed circuit cooler and evaporated condenser. Boletín 112AB. Estados Unidos 2004. Disponible en [www.evapco.com](http://www.evapco.com).

GENERAL KINEMATICS. Paramount II. Vibratory feeder. [Consultado en febrero de 2006]. Disponible en [www.genralkinematics.com](http://www.genralkinematics.com).

JIMÉNEZ@. Jiménez Fernández, D. Mantenimiento planificado y programado. [Consultado en febrero de 2006] Disponible en: [www.mantenimientoplanificado.com](http://www.mantenimientoplanificado.com).

PÉREZ@. Pérez Jaramillo, Carlos Mario. Tendencias en el desarrollo de CMMS. Soporte y Cía. Ltda. [Consultado en febrero de 2006] Disponible en: [www.soporteycia.com.co](http://www.soporteycia.com.co). Escrito a.

PÉREZ@. Pérez Jaramillo, Carlos Mario. Organización del mantenimiento en el siglo XXI. Soporte y Cía. Ltda. [Consultado en febrero de 2006] Disponible en: [www.soporteycia.com.co](http://www.soporteycia.com.co). Escrito b.

SOLOMANTENIMIENTO@. El mantenimiento correctivo. [Consultado en febrero de 2006]. Disponible en [www.solomantenimiento.com](http://www.solomantenimiento.com). Escrito a.

SOLOMANTENIMIENTO@. El mantenimiento preventivo. [Consultado en febrero de 2006]. Disponible en [www.solomantenimiento.com](http://www.solomantenimiento.com). Escrito a.

SOLUCIONES TÉCNICAS INDUSTRIALES@. Mantención correctiva, departamento técnico. [Consultado en febrero de 2006]. Disponible en: [www.tecnicaoleohidraulica.com](http://www.tecnicaoleohidraulica.com). Escrito a.

SOLUCIONES TÉCNICAS INDUSTRIALES@.  
Mantenimiento preventivo, departamento técnico.  
[Consultado en febrero de 2006]. Disponible en: [www.tecnicaoleohidraulica.com](http://www.tecnicaoleohidraulica.com). Escrito b.

SOLUCIONES TÉCNICAS INDUSTRIALES@.  
Mantenimiento, departamento técnico. [Consultado en febrero de 2006]. Disponible en: [www.tecnicaoleohidraulica.com](http://www.tecnicaoleohidraulica.com). Escrito c.

SLY INC. Maintenance checklist for a better baghouse.  
Estados Unidos [Consultado en febrero de 2006].  
Disponible en: <http://www.slyinc.com/images/pdfs/DustCollectionMaintenance.pdf>

THE NEW YORK BLOWER COMPANY. Instalation maintenance operating instruction. Illinois, Estados Unidos, 2004. [Consultado en febrero de 2006]. Disponible en: <http://www.westmillindustries.com/files/im120.pdf>.

U.S. AIR FILTRATION INC. Maintenance manual. Dust collection system. 2001. Disponible en [www.usairfiltration.com](http://www.usairfiltration.com).

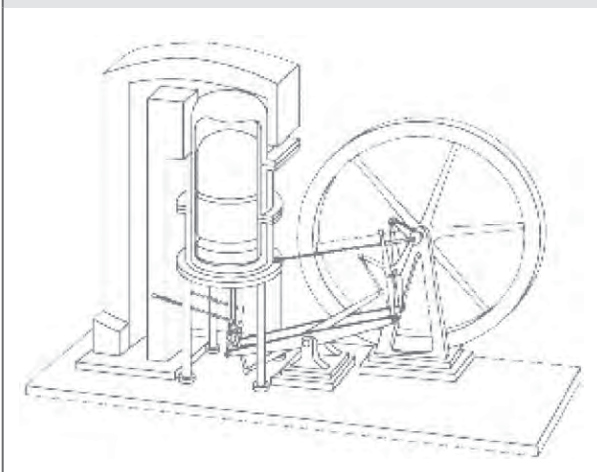
# DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN PROTOTIPO DE MOTOR STIRLING

JUAN ESTEBAN ARANGO  
*jarango9@eafit.edu.co*

ÁREA DE ÉNFASIS  
DISEÑO MECANICO

ASESOR PRINCIPAL  
ING. LUIS SANTIAGO PARÍS

EMPRESA  
UNIVERSIDAD EAFIT



## RESUMEN

Este proyecto muestra el proceso de diseño y construcción de un motor Stirling de 100w.

## ABSTRACT

This project shows the design and construction process of a 100w Stirling engine.

## PALABRAS CLAVES

Motor, potencia, volumen desplazado, carrera, diámetro, presión, RPM, torque, temperatura, calor.

## KEY WORDS

Engine, power, displaced volume, bore, stroke, pressure, RPM, temperature, heat.

## INTRODUCCION

Cuando las fuentes convencionales de energía dejan de ser viables debido a la escasez de materia prima, costos, carencia de infraestructura, entre otros, se buscan fuentes alternativas, las cuales permiten una buena relación costo-beneficio y sostenibilidad con el medio ambiente.

Combustibles fósiles como el petróleo, el carbón y el gas liberan dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero que la ciencia vincula con el calentamiento global.

En el caso de los motores de combustión interna, se han logrado avances significativos, tanto en la obtención de combustibles derivados de fuentes renovables, como en la disminución de emisiones de gases nocivos. Tal es el caso del alcohol carburante que se obtiene de algunas plantas y su combustión no es tan nociva como la de la gasolina o el ACPM.

En la actualidad hay gran interés a nivel mundial por el desarrollo de nuevas tecnologías que permitan la

generación de potencia de forma limpia y económica lo cual nos hace pensar en máquinas que por largo tiempo han sido ignoradas; Los motores tipo Stirling.

Ventajas tales como la facilidad de operación, utilización de diversos materiales como combustibles, sencillez de mecanismos (aunque estos pueden ser tan complejos como quiera el diseñador) y bajo costo de mantenimiento hacen que estos motores se perfilen como una alternativa práctica para lugares apartados donde no llega el fluido eléctrico o no hay posibilidades de otras formas de generación de potencia.

El objetivo principal de este trabajo fue diseñar y construir un prototipo de motor Stirling que generara una potencia nominal de 100W que representara una solución eficiente en la búsqueda de fuentes alternativas de transformación de energía.

## **SITUACIÓN ACTUAL**

En la actualidad el motor Stirling es objeto de muchas investigaciones debido al potencial que tiene para alcanzar altas eficiencias y a su operación silenciosa y limpia. Los niveles de desempeño de los motores Stirling actuales son bastante buenos gracias al desarrollo de nuevos materiales que soportan altas temperaturas y reducen el desgaste, intercambiadores de calor diseñados por computador y la utilización de hidrógeno o helio a altas presiones como fluido de trabajo. En la industria automotriz se han realizado esfuerzos encaminados a utilizar esta tecnología para hacer carros eficientes y amigables con el medio ambiente. Científicos de la empresa Phillips en Holanda también han desarrollado motores para camión.

Medis EL, es una empresa israelí que está trabajando en un prototipo de motor Stirling cuyo objetivo es usar el calor de los gases de la combustión de un automóvil para propulsar un sistema de aire acondicionado. Esto incrementaría el rendimiento de combustible ya que los aires acondicionados convencionales trabajan con potencia extraída directamente del motor en cambio este nuevo sistema trabajará con calor de desecho que de otra manera se perdería.

Kockums es un astillero Suizo que ha fabricado por lo menos 10 submarinos para la armada de ese país cuyo medio de locomoción es el motor Stirling.

La principal innovación en estos submarinos es un sistema de propulsión no dependiente de aire o (AIP). Este funciona con motores Stirling que queman oxígeno puro y diesel en una cámara de combustión presurizada. La presión de los gases de combustión es más alta que la del agua, por lo cual los gases pueden ser evacuados incluso cuando la nave está sumergida. Esta es una gran ventaja sobre los submarinos que tienen plantas eléctricas con motores diesel, ya que estos deben subir a la superficie mientras las baterías se cargan.

Wishper Tec. Es una compañía que se especializa diseñar motores Stirling para la generación de electricidad. Esta empresa fabrica generadores eléctricos para yates donde la operación silenciosa es indispensable para el confort de los tripulantes.

Stirling Technology inc. es una compañía que fabrica unos motores de 5Hp para lugares donde no hay redes ni infraestructura de fluido eléctrico. Las ventajas de este motor incluyen la capacidad de funcionar con cualquier combustible, ausencia de bujías, carburadores y otros artefactos que comprometen la confiabilidad, operación silenciosa, poca polución, no necesita lubricación ni cambio de aceite y tiene una larga vida.

## **CICLO STIRLING IDEAL**

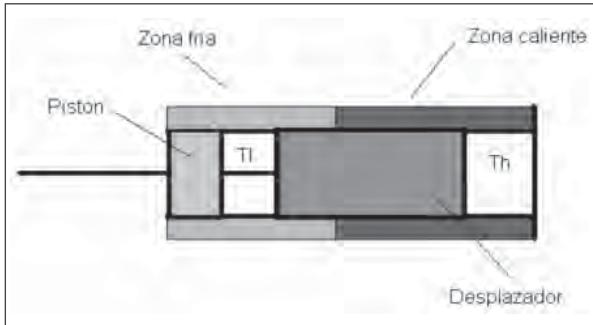
El principio básico del ciclo Stirling consiste en un gas encerrado dentro de un cilindro hermético que tiene un extremo caliente y uno frío. Dentro del cilindro se encuentran un pistón de potencia y un pistón desplazador. El pistón de potencia tiene como funciones evitar que el gas salga y transmitir el trabajo al exterior del cilindro. La función del desplazador es hacer que el aire se mueva de la zona fría a la caliente y viceversa.

Si el gas es desplazado hacia la parte caliente del cilindro, se expande aumentando la presión interna lo cual permite obtener trabajo. Luego el gas es desplazado a la parte fría donde baja su temperatura y disminuye la presión.

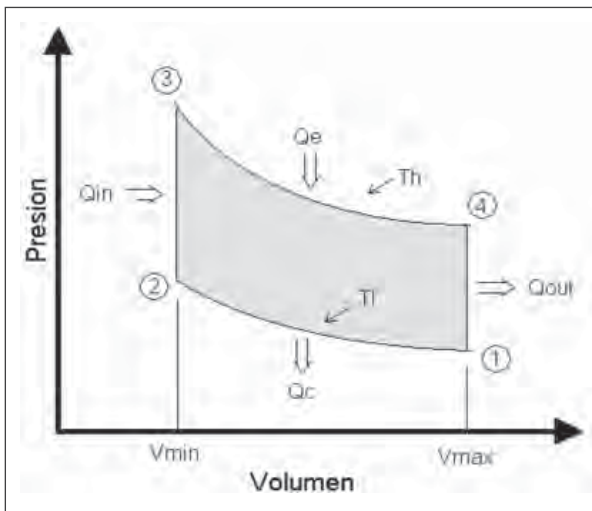


El ciclo se compone de cuatro fases que se pueden observar claramente en un diagrama P-V.

**FIGURA 1**  
**Zonas de un motor Stirling**



**FIGURA 2**  
**Ciclo Stirling ideal en un diagrama P-V**



**Fase 1:** El desplazador se encuentra en la zona caliente y el pistón de potencia se encuentra en el extremo del cilindro por lo que el volumen del gas es máximo. Este se encuentra en la zona fría y la presión es mínima.

**Fase 2:** En esta fase el pistón se encuentra totalmente adelante, lo que hace que la presión aumente y el gas permanezca en la zona fría.

**Fase 3:** El pistón permanece en su lugar mientras el desplazador se mueve hacia la zona fría haciendo que

el gas ocupe la zona caliente. Por lo tanto el volumen sigue siendo mínimo mientras que el gas está a alta temperatura y máxima presión

**Fase 4:** El aire caliente a alta presión mueve el pistón hasta el final del recorrido. En esta fase tenemos máximo volumen y el gas ocupa la zona caliente del cilindro. Luego se mueve el desplazador hacia la zona caliente para volver a iniciar el ciclo.

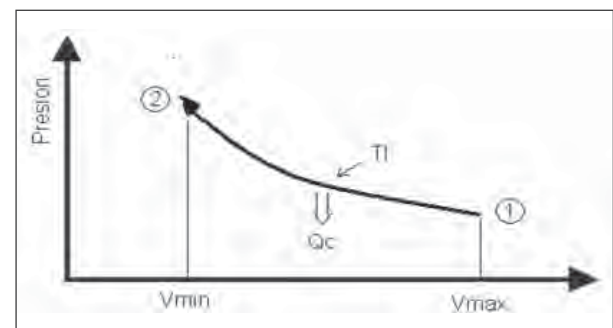
Para que este ciclo continúe indefinidamente se le debe proporcionar calor constantemente a la zona caliente y retirárselo a la zona fría

### PROCESOS DEL CICLO

Para pasar de una fase a otra de ciclo Stirling debe ocurrir un proceso termodinámico. En total se requieren cuatro procesos para que se complete un ciclo. Estos serán enumerados a continuación:

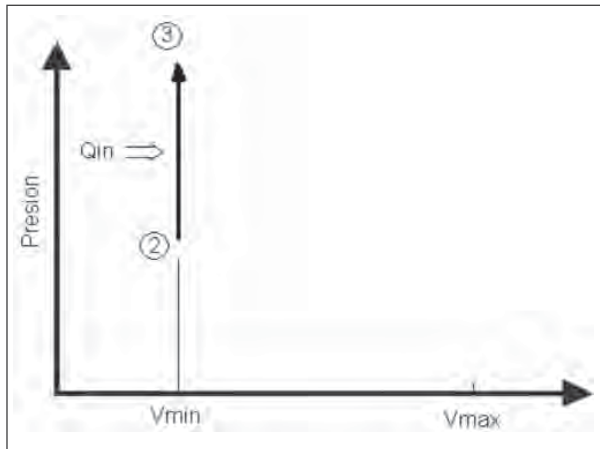
Si se analiza el proceso 1-2 de la grafica se observa que se da una expansión isotérmica lo que significa que hay que aplicarle al motor un trabajo externo para pasar de la fase 1 a la 2. En este proceso se libera una cantidad de calor  $Q_c$ .

**FIGURA 3**  
**Proceso 1-2 del ciclo Stirling**



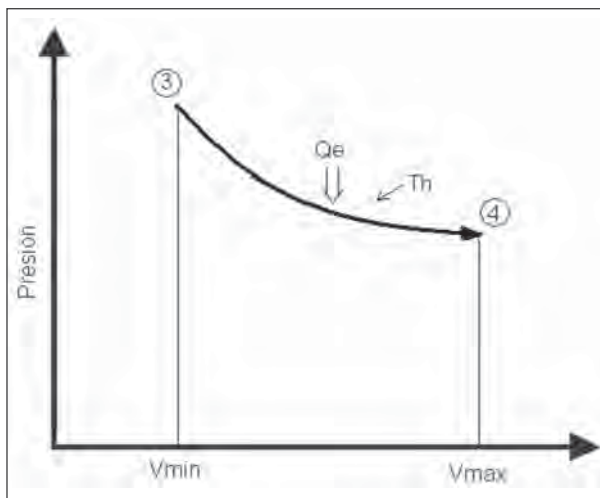
En el proceso 2-3 se le entrega al motor una cantidad de calor ( $Q_{in}$ ) para elevar la temperatura del gas de (TL) a (TH), todo esto a volumen constante (Proceso isocórico).

**FIGURA 4**  
Proceso 2-3 del ciclo Stirling



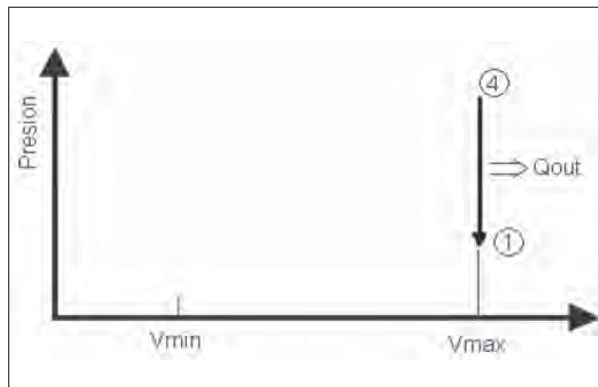
Luego, en el proceso 3-4, el aire que estaba a máxima presión hace que el pistón se desplace hasta lograr el volumen máximo, todo esto a temperatura  $T_H$  (proceso isotérmico). En esta etapa del ciclo es cuando el motor recibe una cantidad de energía de ( $Q_c$ ). La diferencia entre  $Q_c$  y  $Q_E$  es el trabajo total entregado por ciclo.

**FIGURA 5**  
Proceso 3-4 del ciclo Stirling



Por último el desplazador hace que el aire se mueva de la zona caliente a la zona fría por lo cual la temperatura de este disminuye al perder una cantidad de calor ( $Q_{out}$ ) y por consiguiente la presión baja.

**FIGURA 6**  
Proceso 4-1 del ciclo Stirling



### PROCESO DE DISEÑO

Para calcular los volúmenes del motor se partió del objetivo propuesto de obtener 100 vatios de potencia. Luego de definir las condiciones de operación como presión de carga, temperatura en las zonas fría y caliente, fluido de trabajo y RPM, se determinaron las variables termodinámicas del ciclo.

Existen cuatro configuraciones básicas para motor Stirling (Alfa, Beta y Gamma), cada una de las cuales tiene unas ecuaciones distintas para calcular el trabajo esperado. Después de realizar un análisis en cuanto a las ventajas y desventajas de cada una de estas configuraciones se escogió la más atractiva en cuanto a desempeño y sencillez de mecanismos.

Teniendo claro el tipo de motor y las condiciones de operación, se utilizaron los conceptos y las ecuaciones de la teoría de Schmidt y la ecuación de Beale para obtener la geometría del motor (Volumen de compresión y de expansión).

Luego se comenzó con el diseño mecánico del motor haciendo énfasis en la utilización de piezas y materiales tanto comerciales como económicos dentro del mercado local. Los pistones, bielas, anillos, sellos, etc. No se fabricarían mientras fuera posible adquirirlos ya manufacturados, siempre y cuando brindaran una solución adecuada a cada problema.

Una vez construido el prototipo, se analizó el desempeño detectando posibles problemas y fallas. Luego se inició el proceso de rediseño siguiendo todos los pasos anteriores.

## PARÁMETROS DE DISEÑO

Teniendo en cuenta que el motor sería diseñado para entregar una potencia de 100 vatios se debieron determinar las condiciones de operación tales como las temperaturas en las zonas fría y caliente, presión interna y RPM. La geometría sería el resultado del análisis termodinámico.

El motor se diseñó teniendo como presión de carga la presión atmosférica para la ciudad de Medellín que es más o menos de 86Kpa.

La velocidad del motor depende en gran parte de la capacidad que se tenga para calentarlo pero también está limitada por la velocidad de la transferencia de calor que se da entre la fuente de calor y el interior de la zona caliente y de la zona fría al exterior. Teniendo en cuenta que este proyecto se enfocó a la parte termodinámica era difícil precalcular que cantidad de RPM se podrían obtener. Por lo tanto se optó por diseñar con base a unas revoluciones por minuto bajas. Según la información disponible 1000RPM es una velocidad aceptable para un motor al cual no se le hizo énfasis en los intercambiadores de calor.

Después de un análisis se definieron las siguientes condiciones de operación:

- La potencia en el eje debería ser de 100W.
- La temperatura en la zona sería de 6000C.
- La temperatura en la zona fría sería de 500C
- Se asumió que el motor podría llegar a 1000RPM.

El aire de trabajo sería introducido al motor cuando el volumen en el interior de este fuera máximo. Este aire se estaría a temperatura ambiente (250C) y a presión atmosférica de 86Kpa.

El motor sería tipo gama.

Para las condiciones anteriores se determinó que el volumen desplazado por el pistón de potencia debía ser de 147cc. para alcanzar la potencia deseada.

## PRESURIZACIÓN

Para un ciclo ideal, si se analiza la ecuación que se muestra a continuación se observa que el trabajo por ciclo es directamente proporcional a la masa de fluido presente en el ciclo.

$$W_{\text{ciclo}} = mR (T_H - T_L) \ln \left( \frac{V_{\text{max}}}{V_{\text{min}}} \right)$$

La ley de los gases ideales muestra que la masa de un gas es directamente proporcional a la presión. Con lo anterior se deduce que a más presión, más masa de fluido y por lo tanto más trabajo obtenido por ciclo.

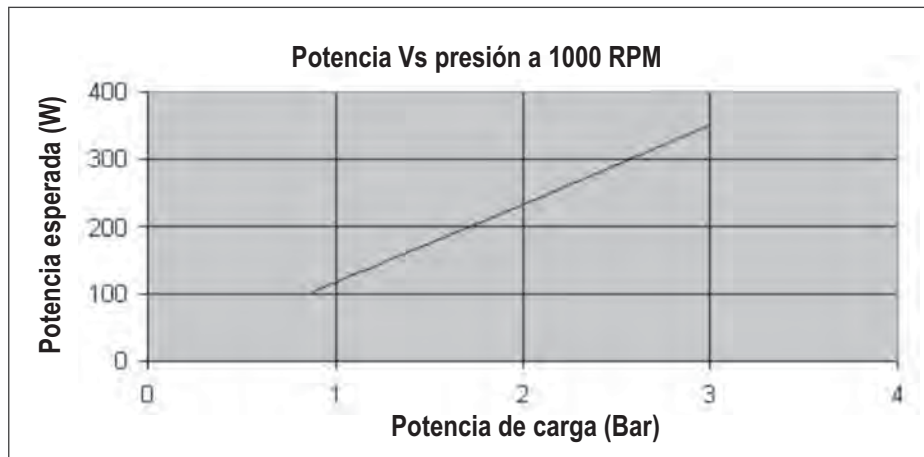
Por lo anterior y teniendo en cuenta que es importante reponer el fluido que se pierde en la operación del motor, se decidió poner una válvula de carga de aire. De esta manera se estaría en capacidad de presurizar el motor a la presión requerida.

La figura 7 muestra la predicción de potencia del motor a diferentes niveles de presurización manteniendo las temperaturas  $T_e$  y  $T_c$  constantes. Por el análisis anterior se espera que el factor por el cual se aumenta la presión sea el mismo factor que aumente la potencia.

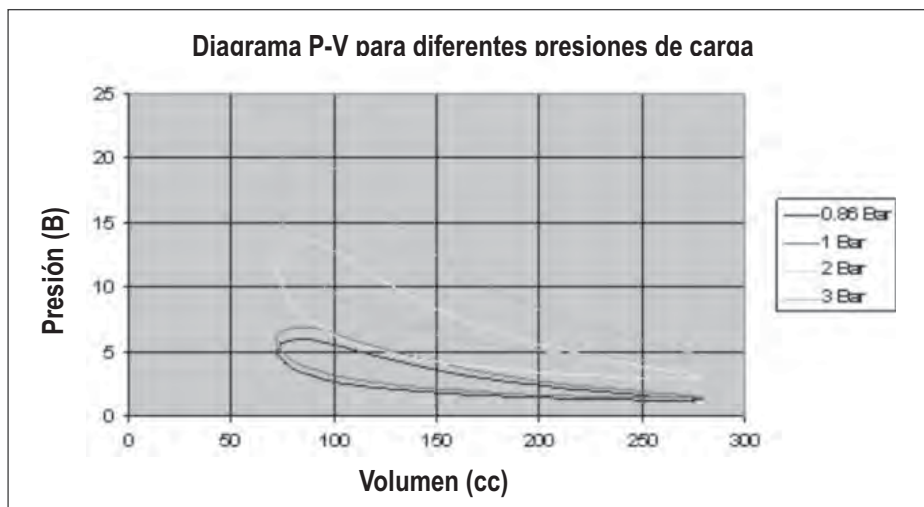
La figura 8 muestra los ciclos reales según la teoría Schmidt para diferentes presiones de carga.

Se debe tener en cuenta que el área de la gráfica es equivalente al trabajo entregado por ciclo.

**FIGURA 7**  
**Potencia esperada a diferentes presiones de carga**



**FIGURA 8**  
**Diagrama del ciclo diferentes presiones de carga**



## MEDICIONES

Para evaluar el desempeño del motor bajo diferentes condiciones de operación hubo que medir las variables presentes en el ciclo.

Para la medición de temperatura tanto en la zona caliente como en la fría se instalaron termo pozos en los cuales se insertaron las termocuplas.

En el caso de la medición de presión de carga se utilizó un manómetro instalado en el cilindro de compresión.

Las RPM se midieron con la ayuda de un contador de ciclos que se conectó directamente al cigüeñal y un cronómetro.

## SISTEMA DE MEDICIÓN DE TORQUE

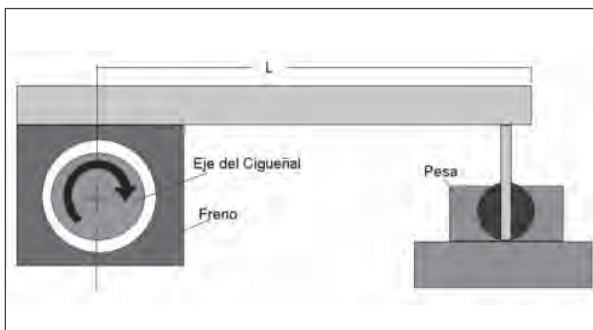
La medición más compleja fue la del torque ya que por tratarse de potencias muy bajas, no se disponía de torquímetros adecuados. Por lo tanto hubo que diseñar un medidor de potencia de freno. Este es un dispositivo que se conecta al cigüeñal de manera tal que apriete el perímetro de su eje, pero que no lo detenga. Este

dispositivo se apoya sobre una balanza a una distancia  $L$  del centro de giro.

El torque se puede calcular como el producto de la distancia  $L$  por la fuerza medida en la pesa.

Una vez calculado el torque y la velocidad angular, se obtiene la potencia.

**FIGURA 9**  
**Sistema de medición de torque**



## DESEMPEÑO DEL MOTOR

La primera vez que se prendió el motor, se calentó con gas propano. Luego de 10 minutos de calentamiento en la zona caliente se había llegado a una temperatura máxima de 250 grados. Cargado con una presión igual a la atmosférica, el motor arrancaba. Sin embargo cuando se presurizaba, inmediatamente se frenaba.

Como la temperatura lograda en la zona caliente era muy inferior a la deseada, se optó por calentar el motor con acetileno. Con este gas se logró una temperatura en la zona caliente de 550°C luego de 10 minutos de calentamiento. El motor se logró presurizar hasta 2 Bar logrando una velocidad de 510 RPM. El torque no se pudo medir porque antes de hacer el montaje del freno, el sello del cilindro desplazador se fundió y el fluido de trabajo se empezó a fugar.

Aunque este sello se encontraba en la zona fría, es posible que una cantidad de calor viajara por conducción desde la zona caliente hasta el cilindro desplazador y de

ahí pasará al eje del desplazador que estaba en contacto directo con el sello.

Para poder hacer la medición de potencia se hizo indispensable diseñar un sello que soportara más temperatura. También había que buscar la forma de que menos calor viajara a través del eje del desplazador.

Una de las correcciones que se hicieron fue hacer un maquinado en el extremo del eje del desplazador que se acoplaba al pistón de desplazamiento con el fin de disminuir la transferencia de calor y así bajar la temperatura para que el sello no se deteriorara tan fácilmente.

Para mejorar la resistencia del sello elástico se tomó la decisión de hacer una película de 5mm de silicona roja para alta temperatura y con esta elaborar un nuevo sello con la misma geometría del anterior.

Una vez realizado el maquinado del eje desplazador y fabricado el nuevo sello de silicona, se procedió a encender el motor nuevamente.

Se hizo el calentamiento de la zona de compresión con acetileno tal y como se había hecho anteriormente. Además se tuvo la precaución de agregar hielo al agua de refrigeración para mantener la temperatura de la zona de compresión lo más baja posible.

Los cambios que se hicieron tuvieron un efecto positivo ya que el motor duro encendido 40 minutos y se le pudieron hacer las mediciones de potencia.

Luego de que comenzó el calentamiento, se alcanzó en la zona de expansión una temperatura máxima de 570°C mientras que la zona de compresión se mantuvo en 17°C. La medición de potencia arrojó los siguientes datos:

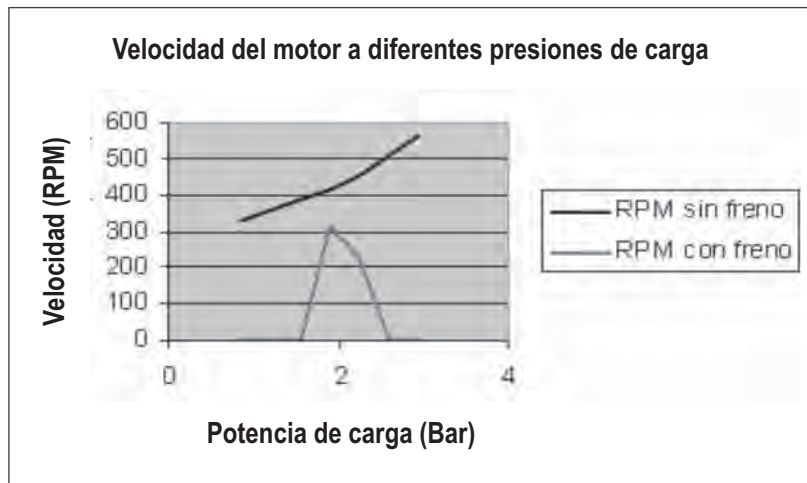
Los datos de la tabla anterior se obtuvieron de la siguiente manera: primero se espero a que las temperaturas tanto en la zona de compresión como en la de expansión se estabilizaran, después se midieron las RPM del motor trabajando libremente a distintas condiciones de carga y luego se hizo la misma medición pero con el dispositivo de freno utilizado para medir la potencia.

**TABLA 1**  
**Resultados de la medición de potencia**

Presión de carga manométrica (Psi)	Presión de carga absoluta (Bar)	RPM sin freno	RPM con freno	Torque (Nxm)	Potencia (W)
0	0,86	328	0	0	0
10	1,55	385	0	0	0
15	1,895	412	312	0,5	17
20	2,24	452	228	0,4	9
25	2,585	512	0	0	0

La siguiente gráfica muestra las RPM obtenidas bajo diferentes condiciones de presurización:

**FIGURA 10**  
**Velocidad del motor**

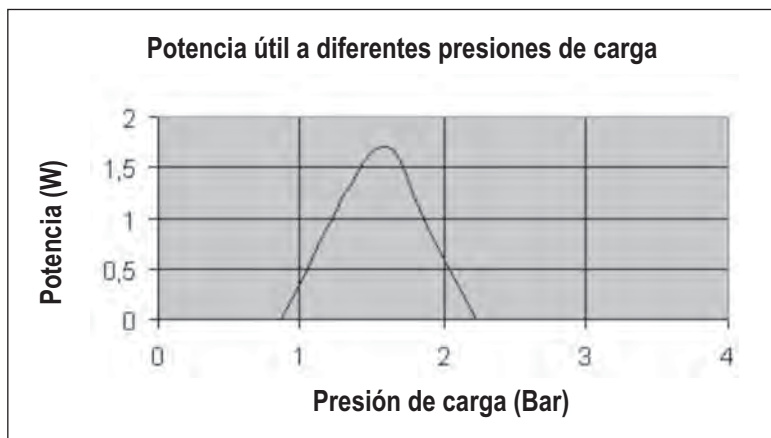


La figura 10 muestra la potencia entregada por el motor bajo diferentes condiciones de precarga.

Al analizar los resultados obtenidos se concluye que para una condición de carga a presión atmosférica el motor entrega muy poco trabajo por ciclo, tan poco que no se le pudo medir torque porque no es capaz de girar con el dispositivo de freno. Con una carga de 1.9Bar el motor obtiene su mejor desempeño logrando una potencia de 17 W. Luego, con una precarga de 2.2bar el motor disminuye un poco su rendimiento, lo que quiere decir que la volante no está siendo capaz de almacenar toda la energía de compresión y que el fluido de trabajo no está alcanzando la temperatura esperada en la zona de compresión. Si se tuviera una volante con más inercia, probablemente se podría obtener más potencia con cargas de presión más altas.



**FIGURA 11**  
**Potencia entregada**



Finalmente en el caso de una precarga de 2.9Bar el motor se detiene apenas se le coloca el dispositivo de freno.

Al observar los datos de potencia obtenidos se hace evidente que el desempeño real del motor es muy inferior al esperado en cuanto a potencia. El hecho de que mientras más se presurizaba el motor, menor era su potencia indica que la volante no tenía la capacidad de almacenar suficiente energía de compresión. Así mismo, las bajas RPM obtenidas indicaron falencias en la transferencia de calor.

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Una conclusión valiosa de este trabajo fue que el ciclo Stirling es factible de recrear con los medios y el conocimiento adquiridos durante la carrera y que los mecanismos que lo componen pueden llegar a ser sencillos. También hay que resaltar que el prototipo se desarrolló con una buena cantidad de piezas comerciales.

A través del desarrollo del proyecto, se observó que una de las variables más importantes para obtener trabajo de un Motor Stirling era la presión. Como se demostró anteriormente, la cantidad de masa presente en el ciclo

y por ende la capacidad de elevar la presión interna del motor son claves para un mejor desempeño. Sin embargo para lograr mantener presiones y evitar fugas de gas se hace necesario tener sistemas de sello muy efectivos, lo cual se convirtió en el principal problema desde el comienzo. La dificultad radicaba en que al interior del motor se alcanzaban presiones superiores a la presión atmosférica y altas temperaturas que deterioraban los materiales. De este análisis se concluye que uno de los principales retos en el diseño de un motor Stirling es lograr evitar fugas de gas a altas temperaturas mientras partes del motor están en continuo movimiento. También resulta evidente que se deben analizar alternativas como trabajar el ciclo a temperaturas más bajas.

Una de las motivaciones para desarrollar nuevas tecnologías es contribuir al mejoramiento de la calidad de vida y el confort de los usuarios haciendo énfasis en el uso racional de la energía. En este aspecto el motor desarrollado en este proyecto demostró tener cualidades positivas en cuanto a la emisión de sonido. Se comprobó que el motor Stirling genera muy poco ruido cuando está prendido. Prácticamente el único sonido que se escuchaba cuando se encontraba operando era el del soplete que se encargaba del calentamiento.

En este proyecto se logró fabricar un prototipo de motor Stirling que genera 17W de potencia, tiene un peso de 27Kg de los cuales 11 corresponden al la volante, es

silencioso, alcanza una velocidad máxima de 570 RPM y funciona con un calentamiento a base de acetileno. Esto significa que tiene una potencia específica de 0.63 W/kg la cual es muy baja ya que los motores de combustión interna de la actualidad logran potencias específicas de hasta 1000W/Kg y superiores. Mientras no se logre aumentar la potencia específica del motor, este no será atractivo como método alternativo de transformación de energía.

Como resultado final se puede decir que el motor Stirling si funciona, los mecanismos involucrados pueden estar compuestos por piezas comerciales, es de operación silenciosa y fácil de fabricar. Sin embargo el motor diseñado en este trabajo tiene una potencia específica muy baja y es ineficiente. Comercialmente no será atractivo si no alcanza potencias similares a las de los motores que se consiguen en la actualidad con combustibles mas económicos que el acetileno por lo que se hace necesario continuar el desarrollo de este teniendo en cuenta otras áreas de la ingeniería que permitan incrementar tanto la eficiencia como la potencia específica.

## BIBLIOGRAFÍA

- FINKELSTEIN, Theodor. Air engines: 1 ed. Londres, Inglaterra: Professional Engineering Publishing, 2001. 347p. ISBN 1-86058-338-5.
- KONGTRAGOOL, Bancha y WONGWISES, Somchai. A review of solar powered Stirling engines and low temperature differential Stirling engines. En: Renewable and Sustainable Energy Reviews. Vol. 7, No. 2 (abr 2003): p. 131-154.
- \_\_\_\_\_. Investigation on power output of the gamma-configured low temperature differential Stirling engines. En: Renewable Energy; Vol. 30, No. 3 (mar 2005); pp. 465-476.
- ROGDAKIS, E.D; BORMPILAS, N. A y KONIAKOS, I. K. A thermodynamic study for the optimization of stable operation of free piston Stirling engines. En : Energy conversion and management. Vol. 45, No. 4 (mar 2004); p. 575- 593.
- ## INTERNET
- <http://www.psa.es/webesp/instalaciones/discos.html>.
- <http://news.soliclima.com/modules.php?name=Content&pa=showpage&pid=86>
- <http://www.qrmc.com/fourpartstirling.html>
- <http://www.bekkoame.ne.jp/~khirata/academic/simple/simplee.htm>
- <http://revista.robotiker.com/articulos/articulo40/pagina1.jsp>
- <http://www.sunpower.com/index.php?pg=19>
- <http://www.stirlingengines.org.uk/manufact/manf/misc/subm.html>
- <http://www.bekkoame.ne.jp/~khirata/english/beale.htm>
- <http://www.forocoches.com/foro/showpost.php?p=324672>
- [http://www.cec.uchile.cl/~roroman/cap\\_10/stirling1.htm](http://www.cec.uchile.cl/~roroman/cap_10/stirling1.htm)
- <http://auto.howstuffworks.com/question399.htm>
- <http://solstice.crest.org/renewables/dish-stirling/chapter7/table7-3.html>
- <http://www.memagazine.org/backissues/may99/features/stirling/stirling.html>

# INSTRUMENTO DE DIAGNÓSTICO PARA CONOCER EL NIVEL DE IMPLANTACIÓN DE TPM EN LA INDUSTRIA

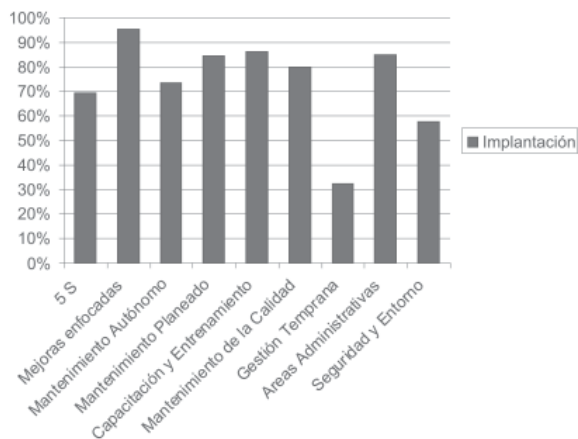
ALEJANDRA MEJÍA ARANGO  
*amejiaa1@eafit.edu.co*

RICARDO MESA SIERRA  
*rmesasie@eafit.edu.co*  
Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS  
GESTIÓN DE PROYECTOS

ASESOR PRINCIPAL  
ING. GUSTAVO VILLEGAS LÓPEZ

SECTOR BENEFICIADO  
UNIVERSIDAD EAFIT



## RESUMEN

Atendiendo al interés que presentan las empresas en implantar un sistema de gestión para mejorar su competitividad, la Universidad EAFIT se dispone a prestar el servicio de consultoría en TPM, para lo cual requiere conocer el estado actual de la empresa, con el fin de identificar y aprovechar las prácticas favorables a la implantación de la filosofía como punto de partida para el desarrollo del proyecto.

En este trabajo, se elabora un instrumento que permite realizar un diagnóstico del estado inicial de una empresa como respuesta a la necesidad expresada en el párrafo anterior.

El trabajo se encuentra dividido en cinco capítulos. En el primer capítulo se realiza la identificación y parametrización de las variables asociadas a la implementación de TPM, así mismo se definen factores de peso para cada variable de acuerdo a su importancia.

El segundo capítulo presenta el modelo de referencia y la elaboración del instrumento de diagnóstico. En este apartado se explican el procedimiento, los campos, el modelo de cálculo, las gráficas y la interpretación de resultados.

El tercer capítulo se compone de la validación del instrumento en dos industrias del medio local, en la cual se analiza la información y los resultados obtenidos.

En el cuarto capítulo se efectúan ajustes, con el fin de mejorar conceptual y funcionalmente el instrumento y se propone un nuevo modelo que vincula el TPM con los objetivos estratégicos de la compañía.

El quinto capítulo presenta las conclusiones del proyecto y se proponen recomendaciones para futuros proyectos relacionados con el trabajo realizado.

## **ABSTRACT**

Attending the interest shown by local companies about implanting a management system to improve their competitiveness, EAFIT University is going to offer TPM consultancy, requiring for that, information about the actual status of the company, in order to identify and take advantage of positive practices to the philosophy implantation, as the starting point for the project development.

In this document, we are introducing an instrument that allows the elaboration of an initial state diagnosis from a company, in response to the necessity expressed in the previous paragraph.

The project is divided in five chapters. In the first chapter there is an identification of the variables associated to TPM implementation, as well as the establishment of parameters and weight factors for each variable according to their importance.

The second chapter presents the reference model and the elaboration of the diagnosis instrument. In this section there is the explanation of the procedure, the fields, the calculation model, the graphs and the interpretation of the obtained results.

The third chapter includes the validation of the instrument in two local industries; with the complete analysis of the obtained information and results.

In the fourth chapter there are some adjustments done with the purpose of improving conceptually and functionally the instrument. There is also a new model proposed that links the TPM with the strategic objectives of the company.

The fifth chapter presents the conclusions of this project and recommendations for future related projects.

## **PALABRAS CLAVE**

Manejo Productivo Total (TPM), instrumento de diagnóstico, objetivos estratégicos, pilares de TPM.

## **KEY WORDS**

Total Productive Management (TPM), diagnosis instrument, strategic objectives, TPM pillars.

## **INTRODUCCIÓN**

El programa TPM, Manejo Productivo Total, es un sistema de mejoramiento continuo con más 30 años de historia, ampliamente probado en muchos países desarrollados y con resultados plenamente verificables (Dávila y Pineda, 2005).

El TPM propone una metodología prescriptiva de implantación en la cual se detallan los pasos que las empresas deben seguir para que al final se obtengan los beneficios esperados; sin embargo, estudios previos realizados sobre las actividades desplegadas por parte de las empresas relacionadas con TPM (León, 2002; Restrepo, 2002) muestran algunas diferencias significativas atribuibles a la fase en que se encuentra la implantación misma del TPM, la actividad propia de cada empresa, su estilo de dirección y su cultura predominante entre otros, lo que crea la necesidad de realizar un diagnóstico que muestre el estado de madurez de la empresa para ajustar así la metodología a implantar.

Este diagnóstico de las condiciones iniciales puede ser obtenido mediante el instrumento que se presenta en este proyecto de grado, el cual facilita la recopilación y análisis de la información de apoyo requerida.

El proyecto desarrolla todos los pasos necesarios para elaborar un instrumento de diagnóstico que permita conocer el nivel de implantación de TPM en la industria nacional.

El beneficiario directo con el desarrollo de este proyecto es la Universidad EAFIT, específicamente la línea de investigación en mantenimiento industrial y el centro de consultorías y servicios a la industria, quienes realizarán posteriormente, asesorías y consultorías a las empresas que se encuentren adelantando procesos de mejoramiento asociados con el TPM, donde el

instrumento de diagnóstico tiene gran relevancia y utilidad.

## 1. VARIABLES

Una variable es una magnitud cuyos valores son objeto de estudio en una investigación. Puede referirse a un individuo, grupo de personas u organización. La definición de las variables permite hacer operativos y susceptibles de medida los problemas básicos a investigar.

Según la relación causa-efecto analizada, las variables pueden dividirse, de acuerdo con el papel que desempeñan en la relación causal, en dependientes e independientes.

### 1.1 Identificación

Variable dependiente. Es aquella cuyo comportamiento es explicado por otra u otras independientes. Se le denomina también variable a explicar o criterio (Santesmases, 1997).

En este proyecto las variables dependientes son los nueve pilares del TPM:

- 5S
- Mejoras enfocadas
- Mantenimiento autónomo
- Mantenimiento planeado
- Capacitación y entrenamiento
- Mantenimiento de la calidad
- Gestión temprana
- Actividades de departamentos administrativos y de apoyo.
- Gestión de seguridad y entorno.

Variable independiente. Es una variable que se utiliza para explicar el comportamiento de otra dependiente. Se le denomina también variable explicativa o predictora (Santesmases, 1997).

Los pasos o actividades asociados a cada uno de los nueve pilares actúan como variables independientes en este trabajo.

## 1.2 Parametrización

La medición de los factores equipo y personal se realiza por medio de escalas en las que se parte de afirmaciones, proposiciones o juicios, sobre los cuales los individuos manifiestan su opinión y de allí se deducen o infieren las actitudes de éstos.

En la elaboración del instrumento se utiliza una escala Likert, debido principalmente a que es fácil de construir y de aplicar, además de proporcionar una buena base para una primera ordenación de la característica que se mide.

La escala Likert es aditiva y corresponde a un nivel de medición ordinal. Este procedimiento llamado método de los valores sumados (summated ratings) resulta de la suma algebraica de las respuestas de los individuos a ítems señalados previamente como válidos y confiables. Si bien la escala es aditiva, no se trata de encontrar ítems que se distribuyan uniformemente sobre un continuo favorable/desfavorable, sino que el método de selección y construcción de la escala apunta a la utilización de ítems que son definitivamente favorables o desfavorables con respecto al objeto de estudio (Richaud de Minzi, 2005).

En el instrumento se busca medir la frecuencia con que ocurren operaciones y actitudes que están directamente relacionadas con el TPM. Así como el grado de identificación de la empresa y su personal con las mismas. A continuación se presentan las categorías de frecuencia usadas y su respectiva valoración.

**TABLA 1**  
**Escala Likert**

CATEGORÍAS	VALORACIÓN
Siempre	2
Generalmente	1
Parcialmente	0
Pocas veces	-1
Nunca	-2



### 1.3 Factores de peso

El factor de peso que se asigna a cada una de las variables identificadas hace referencia a la importancia que tiene el tema tratado en la pregunta para la implantación del respectivo pilar.

Esta importancia se califica de 1 a 3, donde 1 es la importancia más baja, 2 es de importancia media y 3 la más alta.

### 2. INSTRUMENTO

El instrumento diseñado es un cuestionario a partir del cual se recolecta la información de una empresa, necesaria para determinar cuáles de las prácticas que tiene consolidadas en su cultura deben conservarse para la implantación de TPM, y según éstas, en que nivel de implantación de TPM se encuentra dicha empresa, con

el fin de no comenzar la implantación desde cero, sino de aprovechar caminos previamente recorridos

### 3. GRÁFICOS

El instrumento cuenta con dos gráficos que ilustran los resultados obtenidos de su aplicación.

El primero, es un diagrama circular en el cual el círculo completo representa la implantación de TPM en su totalidad, la porción de color azul representa el nivel de implantación diagnosticado, y el color verde el nivel de no implantación.

El segundo gráfico es un diagrama de barras que muestra el porcentaje de implantación diagnosticado para cada pilar según las calificaciones previamente asignadas a las afirmaciones. Este gráfico se muestra como un resumen detallado de los resultados obtenidos con el fin de visualizarlos más fácilmente.

**TABLA 2**  
**Instrumento. Pilar Mantenimiento de la Calidad**

TEMA	AFIRMACIÓN	IMPORTANCIA	DEGRADACIÓN		CALIFICACIÓN
Matriz QA	Se usa la matriz QA (Característica de calidad del producto, relación de los defectos con cada una de las características de calidad, relación entre los procesos)	3	2	Siempre	
			1	Generalmente	
			0	Parcialmente	
			-1	Pocas veces	
			-2	Nunca	
Análisis de las condiciones inputs de producción	Para cada uno de los defectos se tienen identificadas las condiciones de los inputs (equipos materiales, personas, métodos) y su incidencia.	3	2	Siempre	
			1	Generalmente	
			0	Parcialmente	
			-1	Pocas veces	
			-2	Nunca	
Registro de problemas	Se documentan los problemas asociados con irregularidades del proceso incluyendo la forma de investigación utilizada y los resultados obtenidos.	2	2	Siempre	
			1	Generalmente	
			0	Parcialmente	
			-1	Pocas veces	
			-2	Nunca	
Evaluación de la gravedad	Se califican los problemas según la frecuencia, efecto y dificultad de detección y se registra la gravedad de éstos según la calificación obtenida	2	2	Siempre	
			1	Generalmente	
			0	Parcialmente	
			-1	Pocas veces	
			-2	Nunca	
Evaluación del efecto de las medidas propuestas e implantación	Se evalúan los efectos de haber puesto en práctica las propuestas de mejora para cada problema y según esto se implanta de inmediato la mejora. Se clasifica y se lleva un registro de las mejoras implantadas.	3		Siempre	
			1	Generalmente	
			0	Parcialmente	
			-1	Pocas veces	
			-2	Nunca	
Tablas de componentes de calidad	Se tienen identificados y registrados en una tabla permanentemente actualizada los componentes de las máquinas que en caso de fallo puedan afectar la calidad y de acuerdo con esto se asigna prioridad para su mantenimiento.	2	2	Siempre	
			1	Generalmente	
			0	Parcialmente	
			-1	Pocas veces	
			-2	Nunca	



## 4. VALIDACIÓN

El instrumento presentado en este proyecto, se validó en dos empresas del sector industrial, buscando corroborar la efectividad de la herramienta y proponer las mejoras que sean necesarias para poder así garantizar la veracidad de los resultados obtenidos mediante el uso de ésta.

A continuación se presentan los gráficos obtenidos de cada una de las validaciones realizadas.

**ILUSTRACIÓN 1**  
Implantación por pilar C.I. COLAUTO



**ILUSTRACIÓN 2**  
Implantación de TPM C.I. COLAUTO



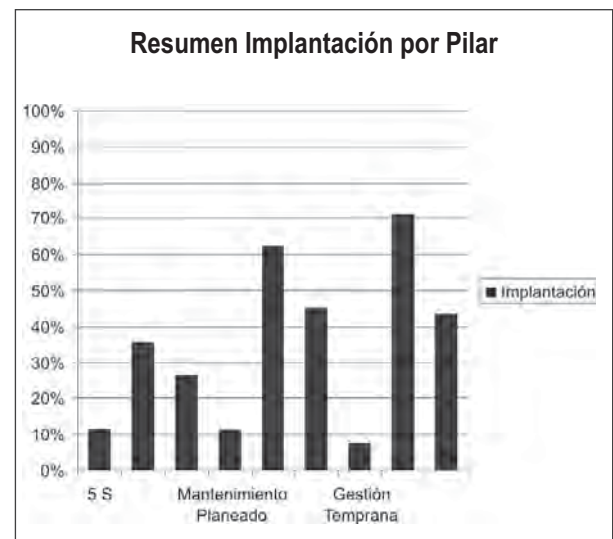
### 4.1 C.I. Colauto

Empresa del sector metalmeccánico dedicada a fabricar, en su mayoría, piezas del sector automotriz y motopartista.

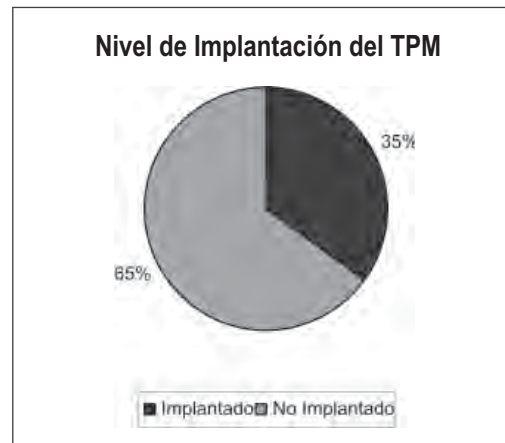
### 4.2 Auteco

Compañía dedicada al ensamble de motocicletas provenientes de diferentes casa matrices: Kawasaki, Kymco, Bajaj y Zongshen.

**ILUSTRACIÓN 3**  
Implantación por pilar AUTEKO



**ILUSTRACIÓN 4**  
Implantación de TPM AUTEKO



## 5. AJUSTES AL INSTRUMENTO

### 5.1 Instrumento propuesto

Al realizar la validación del instrumento en la industria se detectó que las afirmaciones en algunos casos contienen más de una actividad que no necesariamente se llevan a cabo de manera simultánea, por lo que se pueden presentar ambigüedades en las respuestas obtenidas. Para contrarrestar esta falta de precisión en los resultados se propone un nuevo instrumento en el cual se degrada cada afirmación en las diferentes actividades que la componen, lo que permite que el instrumento sea más confiable pero más extenso.

### 5.2 Modelo propuesto

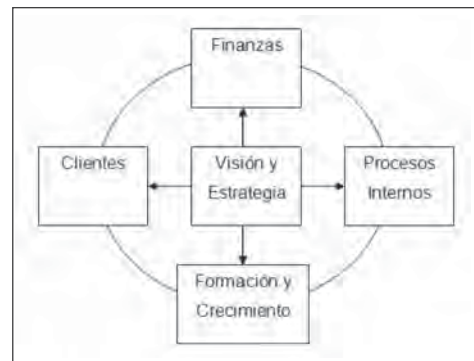
El instrumento de diagnóstico presentado en este proyecto de grado presenta una valoración técnica de cada uno de los pilares asociados a la metodología del TPM. Con el ánimo de enriquecer el instrumento se plantea un modelo que permita relacionar los objetivos estratégicos de la compañía con los objetivos de TPM.

Una manera de vincular el TPM con la estrategia corporativa del negocio es mediante el uso del Cuadro de Mando Integral (CMI), ya que ambos comparten objetivos comunes como satisfacción del cliente, mejoramiento continuo de los procesos, capacitación y formación del recurso humano, entre otros (Dávila y Pineda, 2005,83).

El Cuadro de Mando Integral mide la actuación de la organización desde cuatro perspectivas equilibradas: las finanzas, los clientes, los procesos internos y la formación y crecimiento.

Estas perspectivas permiten un equilibrio entre los objetivos a corto y largo plazo, entre los resultados y los inductores de actuación de esos resultados, y entre las medidas objetivas, más duras, y las más suaves y subjetivas (Kaplan y Norton, 1997, 39).

**ILUSTRACIÓN 5**  
Perspectivas del cuadro de mando integral




(Fuente Kaplan, 1997)

El modelo propuesto presenta tres etapas: de competitividad de la Unidad de Negocio Revisión del estado actual y requerido de los factores.

Inicialmente la empresa define el peso o la importancia de cada uno de los indicadores de acuerdo a las necesidades de la organización en una escala que varía de cero a 100, donde, cero es la importancia más baja y 100 la más alta.

Una vez definida la importancia, se realiza un cuestionario para determinar los estándares requeridos en los indicadores de Productividad (P), Calidad (Q), Costos (C), Seguridad (S), Entregas (D) y Motivación (M). Con esta información es posible obtener un perfil del estado actual de la empresa contra el estado requerido de ésta. La diferencia encontrada se presenta en forma de porcentaje.

**ILUSTRACIÓN 6**  
Identificación factores de competitividad del negocio

Peso	Indicadores	Real Vs Requerido	Porcentaje
#	P		%
#	Q		%
#	C		%
#	S		%
#	D		%
#	M		%
100			

Identificación del estado actual de desarrollo de los pilares del TPM en la Unidad de Negocio.

Se realiza un diagnóstico, el cual está dirigido a valorar el avance en cada uno de los pilares de TPM.

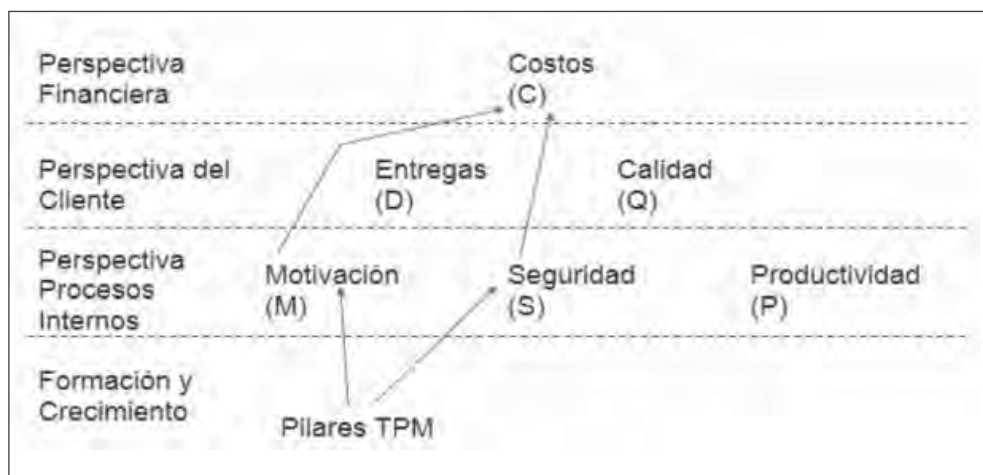
Para llevar a cabo este diagnóstico se hace uso del instrumento presentado en este proyecto de grado. Se realizan entrevistas con funcionarios de diferentes niveles de la Unidad de Negocio para la recolección de la información sobre los pilares del TPM (tanto de

operaciones como de mantenimiento) y se realiza una visita a la planta para complementar la información recolectada.

Establecimiento de las relaciones entre los pilares y los elementos de competitividad del negocio.

En esta etapa se busca vincular mediante el uso de mapas estratégicos las cuatro perspectivas del Cuadro de Mando Integral, los pilares de TPM y los indicadores de competitividad del negocio.

### ILUSTRACIÓN 7 Mapa estratégico



## CONCLUSIONES

Las empresas de occidente y en particular las colombianas que busquen implantar TPM deben comenzar por conocer y practicar la filosofía de 5S, la cual no es presentada por el JIPM como un pilar o proceso fundamental, ya que está implícita en la cultura japonesa y es la base de partida del TPM, por lo tanto en este proyecto se propone dicha filosofía como un pilar adicional a los pilares tradicionales.

La importancia o factor de peso se asignó a cada una de las variables teniendo en cuenta los objetivos generales que presenta el TPM, se recomienda modificar este valor de acuerdo a los objetivos estratégicos de la empresa en la cual se lleve a cabo el diagnóstico.

Los estudios realizados previamente acerca de la implantación del TPM en la industria local (León, 2002; Restrepo, 2002) reflejan algunas diferencias significativas atribuibles a la actividad propia de cada empresa, su estilo de dirección y su cultura predominante, lo que crea la necesidad de realizar un diagnóstico que muestre el estado de madurez de la empresa para ajustar así la metodología a implantar. Este diagnóstico de las condiciones iniciales puede ser obtenido mediante el instrumento que se presenta en este proyecto de grado, el cual facilita la recopilación y análisis de la información de apoyo requerida.

Al realizar la validación del instrumento en la industria se detectó que las afirmaciones en algunos casos contienen más de una actividad que no necesariamente

se llevan a cabo de manera simultánea, por lo que se pueden presentar ambigüedades en las respuestas obtenidas. Para contrarrestar esta falta de precisión en los resultados se ajustó el instrumento degradando cada afirmación en las diferentes actividades que la componen, lo que permite que el instrumento sea más confiable pero más extenso.

Los resultados obtenidos de la validación realizada en C.I. Colauto y AUTEKO, muestran el nivel de implantación de TPM desde el enfoque técnico de la filosofía, se recomienda para futuros diagnósticos emplear el modelo propuesto en el capítulo 4, el cual además de tener en cuenta temas técnicos, involucra aspectos concernientes a la planeación estratégica del negocio mediante el Cuadro de Mando Integral.

Las preguntas del instrumento no deben realizarse a una sola persona sino que cada una de ellas debe estar dirigida a quien realmente maneje el proceso en cuestión, y corroborar su respuesta con documentos u otros medios que la soporten, ésto con el fin de que los resultados del diagnóstico se aproximen al máximo a la situación actual de la empresa.

Para empresas con un previo recorrido en los sistemas de gestión tradicionales resulta sencillo implantar una filosofía como la de TPM, ya que tienen consolidadas en su cultura conductas asociadas a la metodología en mención.

Para obtener el mayor beneficio del TPM la empresa que lo implanta debe redefinir sus objetivos de manera que éstos estén alineados con los objetivos estratégicos de la empresa. Permitiendo así enfocar esfuerzos en las actividades que generan valor para alcanzar los niveles de competitividad requeridos.

Se recomienda elaborar un software en el que se vincule el instrumento de diagnóstico de TPM presentado en este proyecto con la medición de la efectividad global del equipo (EGE) y la efectividad global de la planta (EGP) presentado por el estudiante Andrés Mauricio Ramírez.

## BIBLIOGRAFÍA

- ÁLVAREZ, Humberto. TPM programa para líderes. Manual electrónico producido por Advanced Productive Solutions, S. L. Barcelona, España. 2003
- DÁVILA, Jairo y PINEDA, Juan Camilo. TPM latino. Medellín, Colombia. 2005. ISBN 9583374105
- KAPLAN, Robert and NORTON, David. Cuadro de mando integral. Barcelona, España. Gestión 2000, 1997. ISBN 8480885041
- LEON Ospina, Juan Camilo. Análisis de resultados de implementación de TPM en las empresas de Medellín y Valle de Aburrá. 2002. 170f. Trabajo de conclusión de curso Pregrado en Ingeniería Mecánica Universidad EAFIT. Asesor: Gustavo Adolfo Villegas López.
- MORA, Enrique. TPM para los latinoamericanos. Nevada, EE.UU.: M.O.R.A, LCC. 2001. p 15-21.
- PACHECO, Juan Carlos y otros. Indicadores integrales de gestión. Santa fe de Bogotá, Colombia. McGraw-Hill, 2004. ISBN 9584102060
- RESTREPO Vega, Luis Santiago. Revisión de los procesos de implementación de TPM en las empresas de Medellín y el Valle de Aburrá. 2002.155f. Trabajo de conclusión de curso Pregrado en Ingeniería Mecánica Universidad EAFIT. Asesor: Gustavo Adolfo Villegas López.
- RICHAUD DE MINZI, María Cristina. Teoría de la medición y teoría psicológica: su articulación en los test. Paper publicado en: Suma Psicológica, vol 12, No 1:722. Bogotá, Colombia. ISSN 01214881
- SANTESMASES Mestre, Miguel. DYANE Diseño y análisis de encuestas en investigación social y de mercados. Madrid, España. Ediciones pirámide S.A., 1997. ISBN 8436811100

- SHIROSE, Kunio. TPM for workshop leaders, Portland, Oregon, USA. Productivity press Inc, 1992. ISBN 0915299925
- Steinbacher, Herbert R and Norma L. TPM for America: What it is and Why you need it. Portland, Oregon. Productivity Press Inc.1993. ISBN 15563270447
- SUZUKI, Tokutaro. TPM en industrias de proceso. Madrid, España. TGP Hoshin, 1995. ISBN 8487022189
- VILLEGAS, Gustavo Adolfo. Relación entre los resultados de la empresa y la gestión de su sistema social. Un estudio en empresas prestadoras de servicio de mantenimiento automotriz en Medellín-Colombia. Proyecto de grado. Universidad Politécnica de Valencia. 1999.
- . Del mantenimiento como actividad al mantenimiento como valor. Una forma de entender su importancia en cualquier empresa. In: 4o. CONGRESO INTERNACIONAL DE MANTENIMIENTO, 2002, Bogotá DC. Memorias. 2002.
- . Revisión de los procesos y resultados de Implantación de TPM en empresas de Medellín y el Valle de Aburrá. Resultados de una investigación. In: PRIMER CONGRESO INTERNACIONAL DE MANTENIMIENTO, 2002, Guayaquil. Memorias. 2002.
- . Una aproximación conceptual al TPM desde los valores sociales corporativos. In: PRIMER CONGRESO INTERNACIONAL DE MANTENIMIENTO, 2002, Guayaquil. Memorias. 2002.
- . El Mantenimiento P. In: CONGRESO INTERNACIONAL DE MANTENIMIENTO, 2000, Bogotá DC. Memorias. 2000.
- . Hacia la Calidad a partir de un pensamiento orientado por valores. In: X SEMINARIO ASIA PACÍFICO DE CALIDAD TOTAL, 2000, Aguas Calientes. Memorias. 2000.
- . Las Rutinas Organizativas y su papel dinamizador de la empresa en un entorno competitivo. Resultados de una investigación. In: GESTEC'98, 1998, La Habana. Memorias. 1998.
- . Implantación de las Normas ISO Serie 9000 para la certificación de sistemas de Calidad en la función de Mantenimiento. In: COPIMERA'97, 1997, Santiago de Chile. Memorias. 1997.
- . El mantenimiento de mejora: una nueva revolución tecnológica. In: PRIMER. CONGRESO INTERNACIONAL DE MANTENIMIENTO, 1995, Bogotá DC. Memorias. 1995.
- . El mantenimiento ecológico: Una búsqueda hacia la excelencia en la ingeniería de fábricas. In: COPIMERA'95, 1995, Ciudad de Panamá. Memorias. 1995.
- VÉLEZ, Alfonso, VILLEGAS, Gustavo. Revisión de los procesos de implantación del TPM en las 25 empresas que más han avanzado en el tema a nivel nacional, y estudio de la dinámica de cambio desarrollada para su implantación. Proyecto de investigación (PY0302). Medellín, Colombia, 2004. Universidad EAFIT.

## INTERNET

- Laverde Álvarez, Humberto. "Qué es la estrategia de 5S?": [Internet]. Disponible en: <<http://www.ceroaverias.com/articles.htm>> [5 de Enero de 2006]
- Laverde Álvarez, Humberto. "Productividad Total: Una visión global de TPM" [Internet]. Disponible en: <<http://www.ceroaverias.com/articles.htm>> [5 de Enero de 2006]
- Laverde Álvarez, Humberto. "Necesidad de implantar los pilares fundamentales TPM" [Internet]. Disponible en: <<http://www.ceroaverias.com/articles.htm>> [5 de Enero de 2006]
- Laverde Álvarez, Humberto. "Mejoras Enfocadas" [Internet]. Disponible en: <<http://www.ceroaverias.com/Kobetsu.htm>> [5 de Enero de 2006]

Laverde Álvarez, Humberto. "Desarrollo mantenimiento autónomo" [Internet] .Disponible en: <<http://www.ceroaverias.com/etapas.htm>> [5 de Enero de 2006].

Laverde Álvarez, Humberto. "Reflexiones para la actuación en una organización" [Internet]. Disponible en: <<http://www.ceroaverias.com/implantación.htm>> [5 de Enero de 2006]

Laverde Álvarez, Humberto. "Organización para el TPM: Análisis crítico" [Internet]. Disponible en: <<http://www.ceroaverias.com/organiza.htm>> [5 de Enero de 2006].



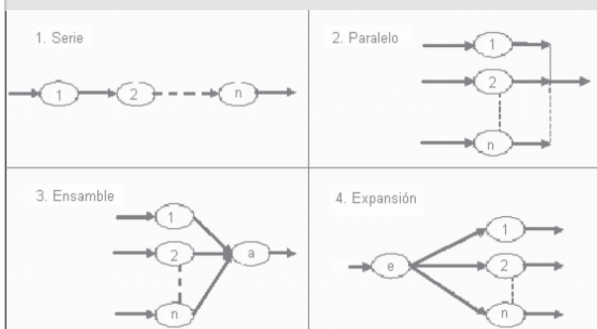
# GUÍA PARA LA MEDICIÓN DE LA EFECTIVIDAD GLOBAL DEL EQUIPO (EGE) Y LA EFECTIVIDAD GLOBAL DE LA PLANTA (EGP) EN LA INDUSTRIA

ANDRÉS MAURICIO RAMÍREZ RÍOS.  
 aramir12@eafit.edu.co  
 Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS  
 ÁREA DE MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

ASESOR PRINCIPAL  
 ING. GUSTAVO VILLEGAS LÓPEZ

SECTOR BENEFICIADO  
 UNIVERSIDAD EAFIT



## RESUMEN

Para mejorar la productividad industrial, nuevos paradigmas industriales son aceptados. Hoy en día el impacto de estas innovaciones tecnológicas raramente es cuantificado. Hay un dicho que dice “usted no puede mejorar lo que usted no puede medir”, implica que tener un indicador que mida el desempeño de la empresa es un requisito previo para lograr la excelencia en la misma. Seiichi Nakajima proporcionó un indicador, llamado Efectividad Global del Equipo (EGE), para medir la productividad y realizar los diagnósticos al nivel de equipo.

En las fuentes revisadas, existen diferencias para el cálculo de la efectividad global del equipo (EGE)<sup>1</sup> y no hay una forma estandarizada para el cálculo de la efectividad global de la planta (EGP)<sup>2</sup>. El aporte del mantenimiento productivo total (TPM) en la reducción de los costos en las empresas está dado por su enfoque en la eliminación de pérdidas que redundan en unos indicadores EGE y EGP bajos (THE PRODUCTIVITY DEVELOPMENT TEAM, 1999, 1).

Siendo estos indicadores tan esenciales para identificar las pérdidas de la empresa, no se tiene una guía que oriente a la industria para obtener el EGE y calcular su EGP según el proceso productivo, por lo que en muchos casos de nuestro medio los valores encontrados en la industria no corresponden a lo que realmente deberían ser (MONOGRAFIAS@, 2005).

Debido a esto nace la idea de crear una guía para la medición de EGE y EGP en la industria, la cual pueda utilizarse en las diferentes industrias para hacer un cálculo de estos indicadores, que refleje realmente la efectividad de los equipos y la planta. Logrando así identificar de una forma eficiente en que lugar se tiene algún tipo de pérdida.

<sup>1</sup> Siglas en español de OEE (Overall Equipment Effectiveness).

<sup>2</sup> Siglas en español de OFE (Overall Factory Effectiveness).

## ABSTRACT

In order to improve the industrial productivity, new industrial paradigms are accepted. Nowadays the impact of these technological innovations rarely is quantified. There is a saying that says "you cannot improve what you cannot measure", implies that to have an indicator that measures the performance of the company it's a previous requirement to obtain the excellence in the same one Seiichi Nakajima provided an indicator, called Overall Equipment Effectiveness (OEE), to measure the productivity and to make the diagnoses at the equipment level.

In the reviewed sources, differences exist for the calculation of the Overall Equipment Effectiveness (OEE) and there is not a standardized form for the calculation of Overall Factory Effectiveness (OFE). The contribution of total productive maintenance (TPM) in the reduction of the costs in the companies is given by its approach in the elimination of losses that result in low indicators OEE and OFE (THE PRODUCTIVITY DEVELOPMENT TEAM, 1999, 1).

Being these so essential indicators to identify company's losses, there is not a guide that orients the industry to obtain the OEE and to calculate its OFE according to the productive process, reason why in many cases of our medium the values found in the industry do not correspond to which really they would have to be (MONOGRAFIAS@, 2005).

Due to this, the idea to create a guide for the measurement of OEE and OFE in the industry born, which can be used in the different industries to make a calculation of these indicators, that really reflects the effectiveness of the equipment and the plant. Thus managing to identify an efficient form in which place has some type of loss.

## PALABRAS CLAVE

Efectividad Global del Equipo (EGE), Efectividad Global de la Planta (EGP), Disponibilidad, Eficiencia, Calidad, Pérdidas, Efectividad Global de Producción (OTE), Cuello de botella.

## KEY WORDS

Overall Equipment Effectiveness (OEE), Overall Factory Effectiveness (OFE), Availability, Performance, Quality, Losses, Overall Throughput Effectiveness (OTE), Bottleneck detection.

## INTRODUCCIÓN

Todas las fuentes revisadas tienen algo en común para el cálculo de la efectividad global del equipo (EGE), como se muestra en la ecuación.

$$EGE = \text{Disponibilidad} * \text{Eficiencia} * \text{Calidad} \quad (1)$$

Ésta estructura básica es un punto de partida útil usado por muchas compañías, pero la forma como se calcula cada uno de estos tres indicadores puede variar de empresa en empresa, algunas compañías relacionan pérdidas individuales a diferentes categorías de EGE, o adicionan otras pérdidas que son especialmente significativas para sus operaciones, además que para el cálculo de EGP se pueden tener diferentes consideraciones como lo puede ser un promedio simple o un promedio ponderado (OEE@,2005).

El cálculo del EGE y EGP 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 de 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. Sirve para justificar a la alta dirección sobre la necesidad de ofrecer el apoyo de recursos necesarios para los proyectos y para controlar el grado de contribución de las mejoras logradas en la planta (MONOGRAFIAS@, 2005).

Las cifras que componen EGE (calidad, disponibilidad y eficiencia) nos ayudan a orientar el tipo de acciones TPM y la clase de instrumentos que debemos utilizar para el estudio de los problemas y fenómenos. EGE sirve para construir índices comparativos entre plantas (benchmarking) para equipos similares o diferentes.

En aquellas líneas de producción complejas se debe calcular EGE para los equipos componentes. Esta información será útil para definir el equipo en el que hay que incidir con mayor prioridad con acciones TPM (MONOGRAFIAS@, 2005).

## **1. TPM Y SU RELACIÓN CON EGE Y EGP**

### **1.1 Relación de tpm con EGE y EGP**

Desde los años setenta se han desarrollado un nuevo juego de prácticas manufactureras que están referidas al llamado Mantenimiento Productivo Total (TPM). TPM aumenta la fiabilidad de los equipos sin aumentar el costo involucrando a todos en el proceso de mantenimiento. Este aumento de fiabilidad de equipo ayuda a crear habilidades interiores que proporcionan a la empresa una ventaja competitiva, investigaciones anteriores de estrategias industriales han ignorado esta habilidad de mantenimiento para proporcionar una ventaja competitiva y simultáneamente incrementar la fiabilidad de los equipos y disminuir los costos de mantenimiento.

Robinson y Ginder (1995) demostraron que mejorando el EGE aumenta la capacidad efectiva que permite reducir el tiempo dedicado a hacer ajustes y reduce el costo por unidad, con la misma capacidad se obtiene una producción mayor. Aumentando EGE se crean capacidades en la empresa las cuales llevan a una ventaja competitiva en una o más dimensiones (costo, calidad, flexibilidad).

Las ventajas competitivas de incrementar la calidad y la flexibilidad de las entregas se anulan si son obtenidas con inversiones excesivas en mantenimiento, los cuales podrían hacer que los costos de la empresa no sean competitivos. Sin embargo, TPM aumenta las actividades de mantenimiento sin incrementar los costos. TPM soluciona directamente estos problemas involucrando todas las funciones de la empresa en crear la solución. El propósito de implementar un programa de TPM es obtener una ventaja competitiva en el mercado, el costo de operación disminuirá, la calidad mejorará, aumentan los productos fabricados, mientras el tiempo de preparación y ajuste disminuirá.

### **1.2 ¿Qué es ege y por qué es importante?**

La mayor parte de las empresas utilizan máquinas para adicionar valor a los productos. Para adicionar valor efectivamente, es importante que las máquinas funcionen efectivamente, con los menores desperdicios que sean posibles. La efectividad global de los equipos (EGE) es una medida usada en TPM para indicar que tan eficientemente las máquinas están funcionando (THE PRODUCTIVITY DEVELOPMENT TEAM , 1999, 2).

Mucha gente está familiarizada con la idea de eficiencia que usualmente refleja la cantidad de partes que una máquina o persona puede producir en un cierto tiempo. EGE es diferente al concepto de eficiencia en muchos aspectos.

EGE incluye más que la cantidad de partes que pueden ser producidas por turno. Cuando medimos la EGE la eficiencia es solo un factor:

Eficiencia: comparación de la cantidad de unidades producidas con lo que la máquina debería estar produciendo en el mismo tiempo.

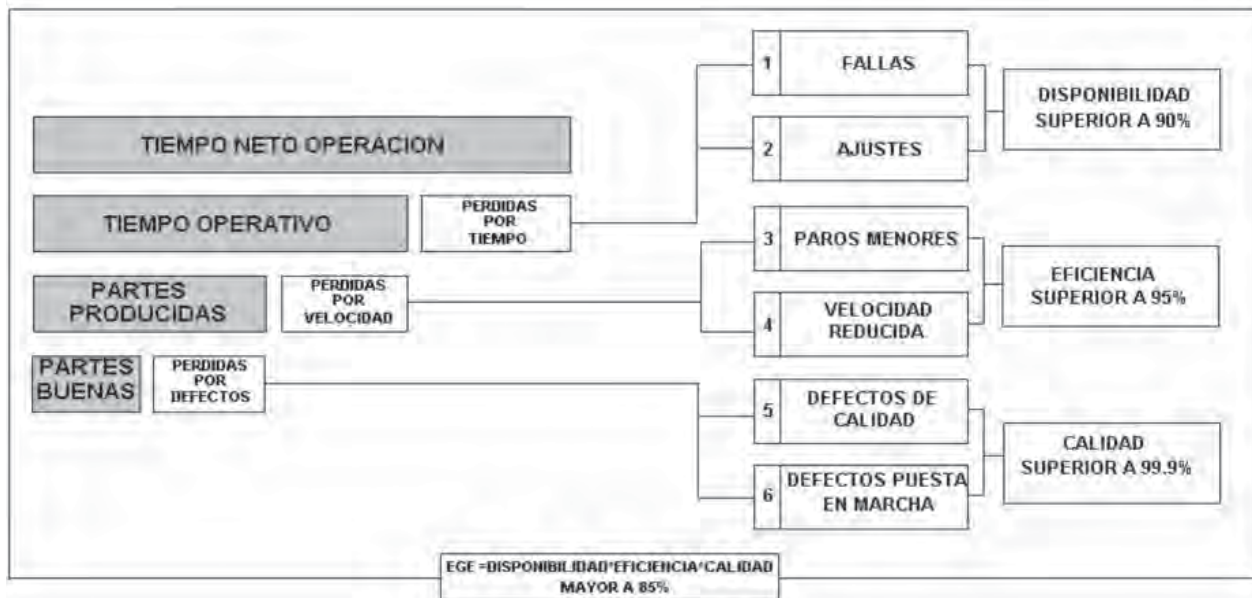
Además de la eficiencia, la EGE considera otros dos factores:

Disponibilidad: comparación entre tiempo operativo potencial y el tiempo en que la máquina realmente está haciendo productos.

Calidad: comparación entre la cantidad de productos hechos y el número de productos que cumplen con las especificaciones del cliente.

Cuando se multiplica calidad, disponibilidad y eficiencia se obtiene EGE, la cual es expresada como un porcentaje. EGE proporciona una vista completa de la "salud" de la máquina, no solamente que tan rápido puede hacer partes, sino como se ve limitado el potencial de esta debido a la pérdida de disponibilidad y la baja calidad (THE PRODUCTIVITY DEVELOPMENT TEAM , 1999, 5).

**ILUSTRACIÓN 1**  
**Relación de los factores de EGE con las seis grandes pérdidas**



SHIROSE, 1992, 53. (MONOGRAFIAS@, 2005).

### 1.3 Las 6 Grandes Pérdidas Consideradas por el Tpm

#### 1.3.1 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. La magnitud de la falla se mide por el tiempo muerto causado

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.

#### 1.3.2 Pérdidas que afectan la eficiencia

Pérdidas debido a paros menores. Son causadas por interrupciones a las máquinas, bloqueos o tiempo de espera. En este tipo de pérdida no se daña el equipo (MONOGRAFIAS@, 2005).

Pérdidas de velocidad reducida. Son causadas por reducción de la velocidad de operación, debido que a velocidades más altas, ocurren defectos de calidad y paros menores frecuentemente (MONOGRAFIAS@, 2005).

#### 1.3.3 Pérdidas que afectan la calidad

Pérdidas de defectos de calidad y reprocesos. Son productos que están fuera de las especificaciones o defectuosos, producidos durante operaciones normales, estos productos, tienen que ser reprocesados o reciclados. Las pérdidas consisten en el trabajo requerido para componer el defecto o el costo del material desperdiciado (MONOGRAFIAS@, 2005).

Pérdidas de puesta en marcha. En la mayoría de los procesos antes de obtener productos de calidad es necesario que algunas variables se establezcan según el estándar de operación, mientras esto sucede se pierden unidades que cuentan y aumentan el desperdicio.

## 2. CÁLCULO DE EGE

### 2.1 Modelo de Cálculo

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Tiempo\_operativo}}{\text{Tiempo\_neto\_disponible}} \quad (2)$$

$$\text{Eficiencia} = \frac{\left( \frac{\text{Piezas\_totales}}{\text{Tiempo\_de\_operación}} \right)}{\text{Rata\_ideal\_de\_funcionamiento}} \quad (3)$$

$$\text{Calidad} = \frac{\text{Piezas\_buenas}}{\text{Total\_piezas}} \quad (4)$$

## 3. CÁLCULO DE EGP Y OTE<sup>3</sup>

Los métodos comunes para calcular EGP incluyen promedios simples y promedios ponderados. Un indicador cuantitativo para medir la productividad y realizar diagnósticos al nivel de la fábrica hace falta, ya que la efectividad global de la planta calculada por los métodos comunes puede que no represente la efectividad global de la planta según el flujo del proceso, y no sirven para identificar el cuello de botella de la planta, ni para diagnosticar problemas.

OTE será utilizado para el cálculo de la efectividad de cada subsistema de la planta. La tarea a seguir con OTE es lograda definiendo un juego de subsistemas normalmente predefinidos con los cuales se define el tipo de línea de producción que tiene la planta, los cuales son: serie, paralelo, ensamble y expansión. OTE se desarrolló para cada uno de estos subsistemas predefinidos. Cualquier diseño de fábrica puede ser modelado usando una combinación de los subsistemas predefinidos, los cuales permiten la determinación de la Efectividad Global de la Planta (EGP). La aplicación de OTE muestra que el cuello de botella puede identificarse rápidamente comparado con el uso de simulaciones largas.

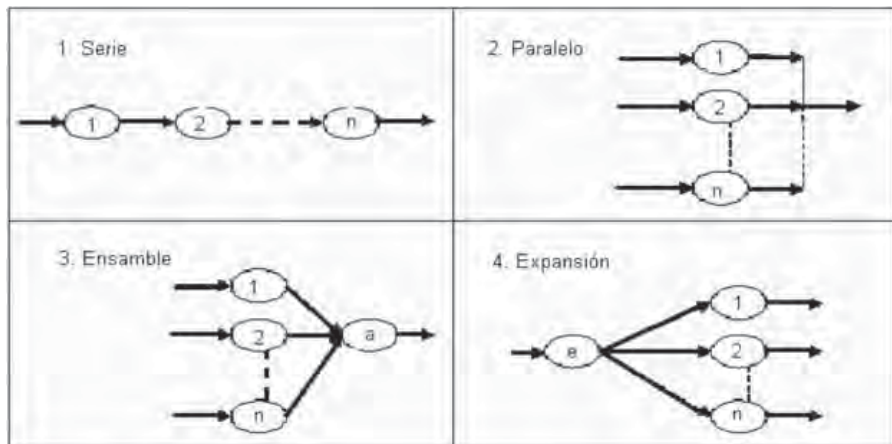
El indicador mostrado en la Tabla 3 se desarrollo basado en la presunción que cada equipo sólo procesa un tipo de producto y ninguna parte pasa a ser reprocesada. En realidad, un equipo puede necesitar procesar múltiples productos y algunas partes pueden reprocesarse. El reproceso puede verse como un equipo que procesa dos productos diferentes, y así este es un caso especial de productos múltiples. Por consiguiente, nosotros sólo necesitamos dirigirnos al problema de un equipo que procesa múltiples productos.

Esto requiere nuevas ecuaciones para  $R_{th}(i)$ ,  $Q(i)$  y  $EGE(i)$  que serán utilizadas en el cálculo del indicador OTE.

$$\text{OTE} = \frac{\text{Producción real de la planta en el tiempo total}}{\text{Producción teórica de la planta en el tiempo total}} \quad (5)$$

### ILUSTRACIÓN 2

#### Combinación de subsistemas



MUTHIAH Y HUANG, 2006.

<sup>3</sup> MUTHIAH AND HUANG. Overall Throughput Effectiveness (OTE) Metric for Factory Level Performance Monitoring and Bottleneck Detection. Este documento no ha sido publicado y fue adquirido directamente de los autores vía correo electrónico.



Asumiendo que el equipo  $i$  procesa  $n$  productos diferentes. Sin pérdida de generalidad,  $Q_{(ij)}$  y  $R_{th(ij)}$  denotan calidad y tasa de producción teórica del equipo  $i$  al procesar el producto  $j$  ( $j = 1, 2, \dots, n$ ), respectivamente.  $X_{(ij)}$  es el porcentaje de mezcla de

producto  $j$  al equipo  $i$  ( $\sum_{j=1}^n X_{(ij)} = 1, \forall i$ ).  $R_{th(i)}$  y  $Q_{(i)}$  para múltiples productos puede calcularse como sigue:

$$R_{th(i)} = \sum_{j=1}^n (X_{(ij)} \times R_{th(ij)}) \quad (6)$$

$$Q_{(i)} = \sum_{j=1}^n (X_{(ij)} \times Q_{(ij)}) \quad (7)$$

**TABLA 1**  
**Cálculo de OTE según la relación del subsistema**

Subsistema	OTE
Serie	$\frac{\min \left\{ \min_{i=1,2,\dots,n-1} \left\{ EGE_{(i)} \times R_{th(i)} \times \prod_{j=i+1}^n Q_{(j)} \right\}, EGE_{(n)} \times R_{th(n)} \right\}}{\min_{i=1,2,\dots,n} \{R_{th(i)}\}}$
Paralelo	$\frac{\sum_{i=1}^n (EGE_{(i)} \times R_{th(i)})}{\sum_{i=1}^n R_{th(i)}}$
Subsistema	OTE
Ensamble	$\frac{\min \left\{ \min_{i=1,2,\dots,n} \left\{ EGE_{(i)} \times \frac{R_{th(i)}}{k_{A(i)}} \times Q_{(a)} \right\}, R_{th(a)} \times EGE_{(a)} \right\}}{\min \left\{ \min_{i=1,2,\dots,n} \left\{ \frac{R_{th(i)}}{k_{A(i)}} \right\}, R_{th(a)} \right\}}$
Expansión	$\frac{\sum_{i=1}^n \min \{ R_{th(e)} \times EGE_{(e)} \times k_{E(i)} \times Q_{(i)}, R_{th(i)} \times EGE_{(i)} \}}{\sum_{i=1}^n \min \{ R_{th(e)} \times k_{E(i)}, R_{th(i)} \}}$

MUTHIAH Y HUANG, 2006.

Asumiendo la disponibilidad del equipo  $i$ ,  $A_{(i)}$ , permanece igual independiente del tipo del producto.  $R_{act(ij)}$  es el promedio real de la tasa de producción (número total

de partes procesadas dividido por el tiempo total real de producción) del equipo  $i$  al procesar el producto  $j$ .  $EGE_{(i)}$  puede calcularse como sigue:



$$EGE_{(i)} = A_{(i)} \times \frac{\sum_{j=1}^n (X_{(ij)} \times R_{act(ij)})}{\sum_{j=1}^n (X_{(ij)} \times R_{th(ij)})} \times Q_{(i)} \quad (8)$$

**TABLA 2**  
Cálculo de Rth y Q para el cálculo de EGP con OTE

Subsistema	Promedio real de la tasa de proceso del subsistema(Rth)	Calidad teórica del subsistema(Q)
Serie	$\min_{i=1,2,\dots,n} \{R_{th(i)}\}$	$\prod_{i=1}^n Q_{(i)}$
Paralelo	$\sum_{i=1}^n R_{th(i)}$	$\frac{\sum_{i=1}^n Q_{(i)}}{n}$
Ensamble	$\min \left\{ \min_{i=1,2,\dots,n} \left\{ \frac{R_{th(i)}}{k_{A(i)}} \right\}, R_{th(a)} \right\}$	$\frac{\sum_{i=1}^n k_{A(i)} Q_{(i)}}{\sum_{i=1}^n k_{A(i)}} \times Q_{(A)}$
Expansión	$\sum_{i=1}^n \min \{ R_{th(e)} \times k_{E(i)}, R_{th(i)} \}$	$Q_{eff(E)} \times \frac{\sum_{i=1}^n k_{E(i)} Q_{(i)}}{\sum_{i=1}^n k_{E(i)}}$

MUTHIAH Y HUANG, 2006.

Este EGE(i) se usa en el cálculo de OTE apropiado mostrado en Tabla 3. OTE fue desarrollado analíticamente y fue validado usando simulación numérica. Para cada subsistema, un modelo de simulación se construyó capturando la arquitectura como se propone en la ilustración 2.

Ahora se mostrará cómo OTE puede usarse para el descubrimiento del cuello de botella. Uno puede ver que el numerador (de los valores OTE) está limitado por el equipo cuyo en el caso de un subsistema en serie, es mínimo, lo que indica el cuello de botella.

La tabla 4 muestra como deben ser calculados Rth y Q para cada subsistema y poder hacer el calculo de

EGP con los OTE reemplazándolos en los cálculos de la tabla 3.

#### 4. CÁLCULO DE EGE Y EGP EN UNA EMPRESA

La medición de EGE y EGP en la Compañía Nacional de Chocolates parte de el concepto mas básico, ellos convierten las pérdidas en tiempo, es decir las pérdidas por velocidad y por defectos son transformadas en tiempo y con estos datos el cálculo se hace mas sencillo. El modelo de cálculo para EGP tiene en cuenta la suma de los mismos tiempos para todos los equipos y se calcula de la misma forma el EGP de toda la planta con los tiempos.

## CONCLUSIONES

La efectividad global del equipo es uno de los indicadores más usados en el ambiente de mantenimiento hoy en día. También se exige como uno de los métodos principales para perfeccionar la actuación del equipo y por mantener un mecanismo supervisando (iniciativas de mejora continua). No puede haber ninguna duda con respecto a los beneficios que ha logrado en las compañías durante el tiempo reciente.

Si estos indicadores son aplicados equivocadamente o mal interpretados, pueden llevar a las corporaciones a tomar decisiones de fiabilidad pobres, o aun peor, a peligrosas decisiones, mientras que si es bien aplicado puede llevar al éxito a las diferentes empresas.

A menudo las tres áreas que se supervisan dentro del indicador EGE (Disponibilidad x Eficiencia x Calidad) no tienen un valor igual para la organización. Es decir, bajo la manera normal en que este indicador se mide, se tratan todos los tres aspectos de esta medida de igual forma.

La complejidad de cada compañía, combinado con la complejidad de los recursos instalados, hace que la dirección de recursos este en constante desafío. EGE es una buena medida cuando se toma para lo que es, una medida de la actuación del equipo en tres áreas fundamentales. En algunas aplicaciones esta figura es sumamente útil y, si el método de aplicación se adapta, puede proporcionar una indicación buena de la actuación del equipo.

El análisis exitoso del EGE no es suficiente, ya que ninguna máquina esta aislada en una fábrica, es decir opera en unión con un ambiente complejo. Un acercamiento más amplio tiene que enfocarse en la actuación de la fábrica entera. La caracterización de una fábrica por un indicador métrico es bastante complicada y difícil, pero el acercamiento de Muthiah y Huang, es hasta el momento el único acercamiento o estudio profundo conocido acerca del tema.

La medición que hacen en la Compañía Nacional de Chocolates es un método que refleja el comportamiento de la empresa pero tiene la limitación de que no indica cual es el cuello de botella.

## BIBLIOGRAFÍA

HARTMANN, Edward H. Successfully Installing TPM In A Non-Japanese Plant. TPM Press, Inc. Allison Park, United States of America 1992. pp 51-68, ISBN: 1882258002.

HUANG, S. H., DISMUKES, J. P., SHI, J., Su, Q., WANG, G., RAZZAK, M. A., ROBINSON, D.E, "Manufacturing System Modeling for Productivity Improvement." Journal of Manufacturing Systems, Vol. 21, No. 4, 2002, pp 249-259.

-----, Manufacturing Productivity Improvement Using Effectiveness Metrics and Simulation Analysis. International Journal of Production Research, Vol. 41, No. 3, 2003, p 513-527.

MUTHIAH, K. M. N., "Diagnostic Factory Productivity Metrics." M.S. Thesis, Department of Mechanical, Industrial, and Nuclear Engineering, University of Cincinnati, August, 2003.

SHIROSE, Kunio. TPM For Workshop Leaders. Editorial Productivity, Inc. Portland, United States of America 1992. p 51-53, ISBN: 0915299925.

THE JAPAN INSTITUTE OF PLANT MAINTENANCE. TPM For Every Operator. Editorial Productivity, Inc. Portland, United States of America 1996. pp 21-40, ISBN: 1563270803.

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

## **INTERNET**

EGE. Citado el 30 de agosto de 2005. <http://www.oeec.com/?overture>

### **MONOGRAFIAS@**

Conceptos básicos de TPM. Citado el 26 de agosto de 2005. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos14/manufact-esbelta/manufact-esbelta2.shtml#mantenim>

### **TRADUCCION@**

El costo de implementar TPM. (Traducción de Enrique Mora). Citado el 14 de septiembre de 2005. Disponible en: <http://www.mantenimientoplanificado.com/tpm.htm>

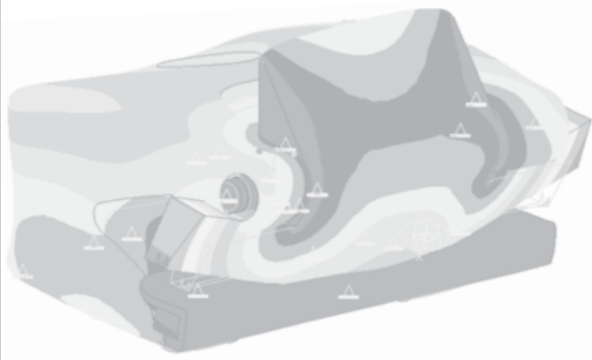
**VIABILIDAD DEL  
DESARROLLO  
TECNOLOGICO PARA  
LAS PINZAS DE UNA  
RAMA TERMOFIJADORA,  
APLICADO EN UNA  
EMPRESA DEL SECTOR  
TEXTILERO DEL  
VALLE DE ABURRÁ**

**SEBASTIÁN ARROYAVE ORTIZ**  
*sarroya1@eafit.edu.co*  
Departamento de Ingeniería Mecánica

**ÁREA DE ÉNFASIS**  
ÁREA DE GESTION DE PROYECTOS

**ASESOR PRINCIPAL**  
ING. CARLOS MARIO TAMAYO D.

**SECTOR BENEFICIADO**  
UNIVERSIDAD EAFIT



**RESUMEN**

El proceso de termofijado es utilizado en el área del sector textil, para el cual utiliza la pinza de fijación de la tela. El desarrollo de la sustitución de importación de un nuevo elemento que le ofrezca grandes ventajas a el mercado es un proceso de altísima calidad que necesita enfocarse primordialmente en convertir las posibles falencias o amenazas que se presentan en las etapas de diseño, adecuación e implementación de la herramienta en oportunidades y fortalezas; por esta razón al delimitar los alcances del problema en la sustitución de importación de una pinza que facilite los procesos en el sector textil puede verse afectada por dos importantes factores externos como:

La Importación : los altos costos en los aranceles y transporte para la importación son una gigantesca desventaja que puede ocasionar una gran demanda económica que afecte el presupuesto ,y claro está, el tiempo que se requiere para la llegada al país que afecta directamente la eficacia, eficiencia y efectividad en la producción.

La tecnología: el desarrollo tecnológico actual para el proceso de termofijado a nivel mundial avanza cada día mas afectando directamente a la consecución del repuesto, ya que, muchos fabricantes ya no ofrecen la pinza en el mercado.

La importancia del repuesto mencionado para Textiles Fabricato Tejicóndor S.A. representa un aumento del costo por tener altos inventarios en almacén, puesto que la pieza es de alta rotación en la empresa y la falta de este repuesto puede afectar gravemente la producción.

**ABSTRACT**

The heatset process is used in the area of the textile sector, for which it uses the clamp of fixation of the fabric. The development of the substitution of import of a new element that offers great advantages to the market is a process of high quality that needs to focus fundamentally in turning the possible deficiency or threats, that appear in the stages of design, adjustment and implementation

of the tool in opportunities and strengths; therefore, when delimiting the reaches of the problem in the substitution of import of a clamp that facilitates the processes in the textile sector can be seen affected by two important external factors like:

The Import: the high costs in the tariffs and transport during import are a gigantic disadvantage that can cause a great economic demand that affects the budget, and of course, the time that is required for the arrival to the country; this directly affects the effectiveness and efficiency in the production.

The technology: the present technological development for the heatset process, at world-wide level advances more every day, affecting directly the possibilities of getting the spare part, since many manufacturers no longer offer the clamp in the market.

The importance of the spare part mentioned for Textiles Fabricato Tejicóndor S.A. represents an increase of the cost of having high stocks in warehouse, since the piece is of high rotation within the company and the lack of this spare part can affect the production seriously.

## **PALABRAS CLAVE**

Sustitución de Importación, Viabilidad Económica, Evaluación de proveedores, Termofijado y Rama Termofijadora

## **KEY WORDS**

Substitution of Imports, Economical Viability, Supplier's Evaluation, Heatset y The Heatsetter.

## **INTRODUCCIÓN**

La ingeniería mecánica mediante un trabajo interdisciplinario, analiza, expone y soluciona problemas de tipo técnico que se presentan a su alrededor diariamente. Contribuyendo prácticamente en todas las realizaciones del campo tecnológico, desde la investigación básica, hasta su aplicación en usos tales

como: creación de maquinaria industrial, agrícola, termoeléctrica, automotriz, médica, aeronáutica, espacial y otras en diversas ramas de la ciencia y la ingeniería. Como profesional, un ingeniero debe ser un soporte básico que solucione los problemas reales de un determinado contexto e ingenie maneras estratégicas de que esas soluciones le ofrezcan mayores beneficios al resto de la sociedad.

Al ofrecerle e implementar la sustitución de importación de la pinza para la Rama de termofijado en proceso textil de Fabricato Tejicóndor, no sólo se estaría generando una solución a un problema específico, sino que también se brindaría la posibilidad al sector textil de implementar este importante herramienta que facilitaría sus procesos y lo mas importante que generaría un valor agregado invaluable frente a las competencias directas.

Otra gran ventaja que se arrojaría sería la oportunidad para los proveedores de la industria metalmeccánica que podrían acceder a la posibilidad de construir una línea de producción de la pinza para el sector textil, elevando de esta forma sus ganancias.

## **1. CONCEPTOS BÁSICOS**

### **1.1 ¿Qué es sustitución de importación?**

Las empresas colombianas están en el empeño de la sustitución de repuestos e insumos para la producción a través de proveedores locales, proyecto que implica el apoyo necesario de las instituciones educativas dado que es allí donde se genera el conocimiento y se orientan los recursos logísticos necesarios para la ejecución de proyectos de investigación y desarrollo sin hacer esfuerzos aislados, y en torno a un objetivo común como es el desarrollo del país. "Las Pymes fabrican bienes para sustituir importaciones" "igualmente las universidades, los gremios y varias cámaras de comercio están cooperando para sacar adelante el modelo de desarrollo empresarial". (Pérez Monsalve, 2003, 2b) .

Los proveedores locales aportan a la competitividad de nuestras empresas con niveles de calidad similar al de proveedores del exterior:

Mejora el costo en un 30 %, en términos generales afectado además por el cambio de la moneda, el disponer de los proveedores locales, evita transportes, demoras, estudios que se hacen directamente en los talleres, estudio del comportamiento, funciones y posibles fallas de las piezas, comunicación directa y seguimiento en los equipos, es decir, la fabricación local logra rebajas importantes de 70 % aproximadamente. (Tamayo D., 2004, 7)

Rebaja notablemente los inventarios. (Enka rebajo los inventarios de 3900 millones a 2700 en el último año gracias a la sustitución de importaciones). (Pérez Monsalve, 2003, 2b)

Genera empleo y estabilidad a la economía. (ECOPETROL en el año 98 compraba localmente 100 millones anuales, en el 2002 estaba en 10000 millones, y para el 2006 se proyecta a 100000 millones). (Pérez Monsalve, 2003, 2b)

Genera desarrollos para la producción locales mejorados y adaptados a nuestro medio. (la inversión realizada por los proveedores en tecnología de punta y herramientas de computador para simular el comportamiento de las piezas, la adquisición también de equipos para análisis de materiales realizado por las universidades, colocan dichos proveedores a la altura del desarrollo de la ingeniería que el medio necesita. (Tamayo D., 2004, 7)

## **1.2 ¿Qué es el termofijado?**

El proceso consiste en pasar la tela por una estufa con temperaturas que varían entre 180 y 220°C.

El poliéster se reblandece facilitándose en la rama termofijadora (máquina apropiada para fijar los productos químicos en la tela) la operación de estabilidad dimensional (fijar su longitud y su ancho). (Fabricato al Día, 1995, 6)

## **1.3 ¿Cómo trabaja una rama termofijadora?**

La rama termofijadora Krantz, con la cual se trabaja en la empresa Fabricato Tejicóndor S.A. Trabaja en un 80

% - 90 % lycra, el proceso de esta máquina inicia cuando la tela primero pasa por el Foulard el cual escurre la tela de procesos anteriores, luego pasa por el enderezador de tramas este pretende dejar a 90° las tramas para así ya la tela llegar a la termofijación como tal, en la cual la rama recibe la tela a través de una cadena compuesta por unas pinzas de fijación a cada lado de esta (550 pinzas a cada lado).

Las pinzas fijan la tela llevándola a través de un horno el cual trabaja entre 180 y 220 °C, hasta el final donde las pinzas sueltan la tela gracias a un mecanismo de una media luna, para así esta pueda ser enrollada y llevarla a su siguiente proceso. En el proceso de esta máquina se le exige a la tela de 10 a 15 cm. de su estado inicial, es decir si la tela entro con 250 cm. esta debe de salir aproximadamente con 260cm.

## **1.4 Función de una pinza de una rama termofijadora**

Esta pinza es la que transporta la tela a través de la rama termofijadora. Esta pieza se compone primero de un cuerpo base el cual es el que va pegado a la cadena por medio de unos pasadores y una estructura, esta base contiene el soporte donde se apoya la cuchilla para sostener la tela. A la base va pegada una biela la cual contiene una cuchilla la cual sostiene la tela, esta biela se abre gracias a una medialuna a la hora de entrar la tela a la pinza para luego esta caer gracias al peso que tiene en su parte inferior y así sostener la tela. Para soltarla la máquina tiene otra media luna la cual la abre al igual que al principio.

## **2. ANÁLISIS DE MATERIALES Y DEFINICIÓN DE UNA GEOMETRÍA**

Los materiales de cada una de las partes que componen la pinza se analizaron mediante ensayos de caracterización apropiados para cada material.

La chapeta y la regleta son de acero inoxidable AISI 304.

La rueda está hecha en latón.



El eje es de material Acero SAE 8620 templado y revenido.

La parte de la fundición es una aleación de aluminio AISi8Cu3.

Las aleaciones de la familia AISi8Cu3 tienen multiplicidad de aplicaciones cuando las características mecánicas exigidas son más altas que las de otros grupos, incluso a temperaturas moderadamente altas. Se funden fácilmente (posibilidad de formas complicadas), se trabajan bien (buena maquinabilidad), pero no presentan la misma resistencia a la corrosión y a los agentes químicos que los otros grupos (presencia de Cu). Contenidos más altos de Si aumentan la colabilidad del molde, mientras que contenidos más elevados de Cu mejoran la maquinabilidad y las posibilidades de pulimento. Las aleaciones más empleadas son AISi5Cu3 de resistencia más elevada y apta para moldear en arena o coquilla, y AISi8Cu3 que prácticamente se ha

convertido en un estándar del moldeo por inyección. (Upc@, 2006)

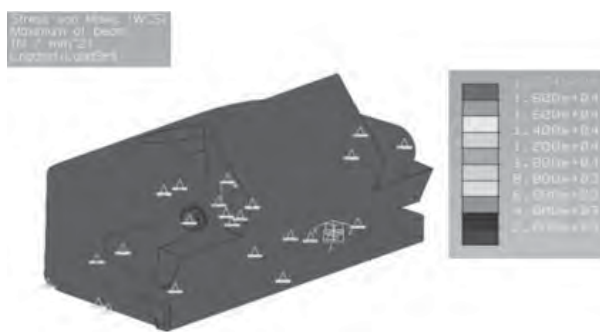
La geometría de la pinza fue realizada en planos al interior de la empresa Fabricato Tejicóndor S.A., estos fueron tomados para la ejecución de la pinza con el proveedor.

### 3. ANÁLISIS TÉRMICO EN ELEMENTOS FINITOS

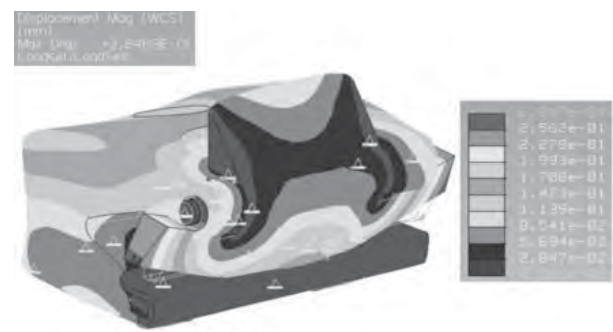
El análisis de elementos finitos se utilizó para poder modelar las cargas térmicas a las que esta sometida la pinza para ver si los materiales obtenidos anteriormente son adecuados y ver que mejoras se le harían para el proceso de fabricación.

La carga a la que se trabajó fue una temperatura de 200°C, ya que esta es una temperatura a la cual puede llegar a trabajar la rama termofijadora.

**FIGURA 1**  
Resultado Esfuerzos Von Mises



**FIGURA 2**  
Resultados Desplazamiento



### 4. EVALUACIÓN DE PROVEEDORES PARA LA SUSTITUCIÓN DE IMPORTACIÓN

El Aseguramiento de Calidad como parte integral de un programa, es necesario el conocimiento técnico y comercial de los proveedores a través del tiempo que le permita a una empresa establecer relaciones que pasen del corto al largo plazo y donde el intercambio realizado permita el desarrollo del comprador y del proveedor logrando una mayor eficiencia en sus procesos, una mayor calidad en su producto terminado y el desarrollo de ventajas competitivas en el mercado traducido en nuevas tecnologías, nuevos materiales, etc.

La evaluación de proveedores debe permitir la realización de un análisis, cualitativo y comparativo del comportamiento de un proveedor en diferentes aspectos con el fin de lograr la recopilación de la mayor cantidad de información posible

para la toma de decisiones a nivel gerencial. (Céspedes O., 1995, 26)

La selección del proveedor para realizar la pinza, se realizó a partir de una evaluación interna de Fabricato Tejicondor, En esta se tomaron los siguientes elementos para la selección.

El primero fue el de experiencia tenida ya con la empresa y trabajos satisfactorios con estos, con lo cual quedaron 2 proveedores para la selección estos fueron Fundiciones Fimaq y Fundiciones Espitia.

Los 2 proveedores se les evaluaron en la reunión; la capacidad de producción, calidad y reproducibilidad de la pieza ya que es para el grupo uno de los elementos de mayor peso, maquinaria (Ingeniería), Tiempo de producción y Apoyo a seguimiento.

En la reunión se vio que ambos proveedores podían satisfacer las necesidades pero Fundiciones Fimaq tiene experiencia con la fabricación de este tipo de repuestos, también sabiendo que el Ingeniero Jorge Osorio (Gerente Fundiciones Fimaq) es gran conocedor del aluminio y profesor de Metalurgia, se selecciono Fundiciones Fimaq como el proveedor adecuado. Este proveedor además es especialista en la fundición de aluminio a comparación de Espitia que su fuerte esta en otros materiales como son el hierro gris.

## 5. PROCESO DE FABRICACIÓN DE UNA PINZA TERMOFIJADORA

La pinza del proceso de termofijado debe de seguir las siguientes características para su fabricación:

Antes que todo se debe realizar la construcción de dos moldes para la fundición, Se realizarían para proceso de inyección debido a la complejidad de la geometría de la parte A y para la B.

El primer paso es la fundición del cuerpo como tal (Parte A y B), teniendo en cuenta que para la fundición de la parte B se debe incorporar en el molde la regleta con una serie de orificios para que así esta quede en el alma de la fundición.

El segundo paso es de los más importantes para el buen funcionamiento de la pieza, ya que se debe de mecanizar la pieza, para la parte A se deben de realizar las perforaciones superiores e inferiores teniendo estas un paralelismo, además se debe realizar 2 asentamientos para donde se va a ubicar la chapeta (Estos asentamientos deben de ser paralelos a los ejes de las perforaciones). Y para la parte B se debe primero realizar las perforaciones que encajan con los agujeros pasantes superiores de la parte A, y luego se mecaniza dándole filo a la regleta, además de que esta debe de quedar paralela al eje de los agujeros; para luego darle unos alivios para evitar la rigidez.

El tercer paso es el de la doblada de la chapeta que se acentuará en la base de la pinza.

El cuarto paso es el punzonado de la chapeta por la parte inferior de la pinza para la sujeción de esta a la parte A. Se debe de ubicar en una prensa que proteja toda la pieza para evitar la deformación de este.

El quinto paso es la rectificación de la chapeta en la parte superior, teniendo en cuenta que esta debe de llegar a tener un paralelismo con la regleta.

## 6. VIABILIDAD DE REALIZAR LA SUSTITUCIÓN DE IMPORTACIÓN

La fabricación de la pinza a nivel nacional se declara económicamente no viable, ya que si se comparan los costos de importación versus los nacionales la diferencia es significativamente alta a favor de la importación.

**TABLA 1**  
**Comparación Costos Importación vs. Fabricación Nacional**

	Nacional	Importado	Diferencia
Unitario	149,27	28,87	120,40
1100 un	164.198,01	31.754,79	132443,22

La tabla muestra que por cada pieza producida en Colombia se estaría perdiendo 120.40 dólares, lo cual

nos muestra que tecnológicamente el medio no se encuentra preparado para producir una pieza de estas. Además se debe tener en cuenta que para que esta fabricación nacional llegue a ser viable se debe mirar como un negocio a proyección por parte del proveedor y no como una sustitución de importación de una empresa, pues así este podría llegar a reducir sus costos gracias a un volumen mayor de producción.

## CONCLUSIONES

Después de realizar el estudio de la viabilidad tecnológica y económica se llegan a una serie de conclusiones, en las cuales se muestran los principales objetivos alcanzados los cuales se evidencian a continuación

La industria colombiana cada día toma más conciencia de la importancia que trae la sustitución de importaciones a nuestro país, para así crecer nuestra tecnología, mejorar los costos de producción, generar un impacto social favorable, entre otros.

El análisis de materiales y el desarrollo de la geometría se justifican a la hora de realizar una viabilidad de desarrollo de tecnología, ya que aportan información al proceso de fabricación más adecuado y a nuevos cambios de diseños de la pieza.

El aporte de análisis de elementos finitos al desarrollo de la tecnología de repuestos es significativo para así llegar a conocer el comportamiento del material y la estructura, y deducir como sería un mejor proceso de fabricación. Lo anterior se justifica porque aporta la simulación en el comportamiento del trabajo.

El desarrollo de la pinza termofijadora a nivel nacional no le es viable a Textiles Fabricato Tejióndor S.A. ya que por cada pieza estaría perdiendo 120.4 dólares en el momento.

La sustitución de importación en bajas unidades no se justifica, por su alta inversión; a comparación del proveedor internacional que toda su inversión ya fue librada y maneja toda una estructura para la fabricación, ya que puede llegar a tener gran cantidad de pedidos.

Por lo cual sería conveniente decir que una unión de la industria textil con el proveedor para el desarrollo, y así tener una cantidad significativa de pedidos para el desarrollo.

La sustitución de importación genera grandes beneficios logísticos, que permiten tener contacto directo con el proveedor y así llegar a generar una unión que podría traer nueva tecnología a Colombia. Además este puede estar al tanto de las operaciones relacionadas con el producto, reduciendo tiempos de entrega, mejoramiento de la calidad y reducción de inventarios, entre otros.

La investigación y desarrollo en la unión de las empresas con las universidades lleva a conclusiones más completas de las inversiones y desarrollos a los que podría llegar a tener una empresa.

## BIBLIOGRAFÍA

CÉSPEDES OTERO, Carlos, GÓMEZ ZAPATA, Francisco E. Proyecto de Grado, Modelo para la evaluación de proveedores en la norma ISO-9002 para los materiales de empaque de una empresa productora de alimentos, Universidad Eafit, 1995, Pág. 26.

FABRICATO AL DÍA, Edición Especial. Enero 1995. Edición Fabricato.

PÉREZ MONSALVE, José Alejandro. El Colombiano. 21 de abril de 2003. Página 2b.

TAMAYO D., Carlos Mario. Sustitución de Repuestos Importados, un Gran Negocio para Las Empresas Colombianas, Noviembre 2004, Pagina de la Andi, Grupo promotor de la fabricación nacional y comité de compras técnicas.

Upc@

Biblioteca: Aleaciones de Aluminio. Disponible en: <http://biblioteca.upc.es/PFC/arxius/migrats/41774-8.pdf>

# **MANUAL DE DESCRIPCIÓN Y CATALOGACIÓN DE ELEMENTOS MECÁNICOS TIPO VÁLVULA PARA EL CONTROL Y LA REGULACIÓN DE FLUJOS**

**ANDRÉS FELIPE RAMÍREZ FRANCO**  
*aramir14@eafit.edu.co*  
Departamento de Ingeniería Mecánica

**ÁREA DE ÉNFASIS**  
GESTIÓN DE PROYECTOS

**ASESOR PRINCIPAL**  
ING. SERGIO ARISTIZÁBAL RESTREPO

**SECTOR BENEFICIADO**  
EEPPM



## **RESUMEN**

La estructura de descripción y catalogación que conforma este manual se apoya en la base de datos contenida en el software One World de las Empresas Públicas de Medellín E.S.P.; Empresa que comprende la importancia del almacenamiento de sus bienes como pieza clave dentro de la cadena de procesos para cumplir dinámicamente con las exigencias de una prestación de servicios, ya que por él pasan todos los artículos que la empresa adquiere. En él interactúan un sin número de protocolos tales como solicitud, reintegros, compras, requisición, mantenimiento, transferencias, recibos, almacenaje, y despachos de mercancías, entre otros; de toda esta interacción surge la necesidad de catalogar los bienes adquiridos en función de dicho proceso.

Para cumplir con este fin es necesario y fundamental un conocimiento de los tipos de válvulas que maneja Empresas Públicas de Medellín E.S.P. en general y específicamente las de mayor rotación. A partir de lo cual se desarrolló una estructura de descripción y catalogación que contiene los parámetros de descripción generales de las válvulas para el software One World, con lo que se espera que el equipo de catalogación y en general Empresas Públicas de Medellín E.S.P. tenga una herramienta eficaz a la hora de ingresar, actualizar y depurar la base de datos del software One World respecto a los elementos mecánicos de control y regulación de flujos tipo válvula.

## **ABSTRACT**

The structure of the description and cataloguing that conforms this manual is supported by a data base contained in software One World of Empresas Públicas de Medellín E.S.P.; Company that understands the importance of the storage of its goods like key piece within the chain of processes to dynamically fulfil the demands of services, since through it, they pass all the items acquired by the company. In it they interact a great number of protocols such as request, refunds, purchases, requisition, receipts, transferences, maintenance, storage, and dispatch of merchandise, among others; from all this interaction arises the need to catalogue the goods acquired based on this process.



In order to fulfil this aim it is necessary and fundamental to have an acknowledgement of the types of valves that handled by Empresas Públicas de Medellín E.S.P in general and specifically those of greater rotation. From this point develop a structure of description and cataloguing that contains the general parameters of description for the valves in software One World, with this it is hoped that the equipment of catalogation and in general Empresas Públicas de Medellín E.S.P has an effective tool at the time of enter, update and purge the data base of software One World respect to the mechanical elements for control and regulation of flows valve type.

### **PALABRAS CLAVE**

Dispositivo mecánico, Diámetro nominal, Presión, fluido, paso, corte, estrangulación, caudal, regular.

### **KEY WORDS**

Mechanical device, nominal Diameter, Pressure, fluid, step, cut, throttling, volume, to regulate.

### **INTRODUCCIÓN**

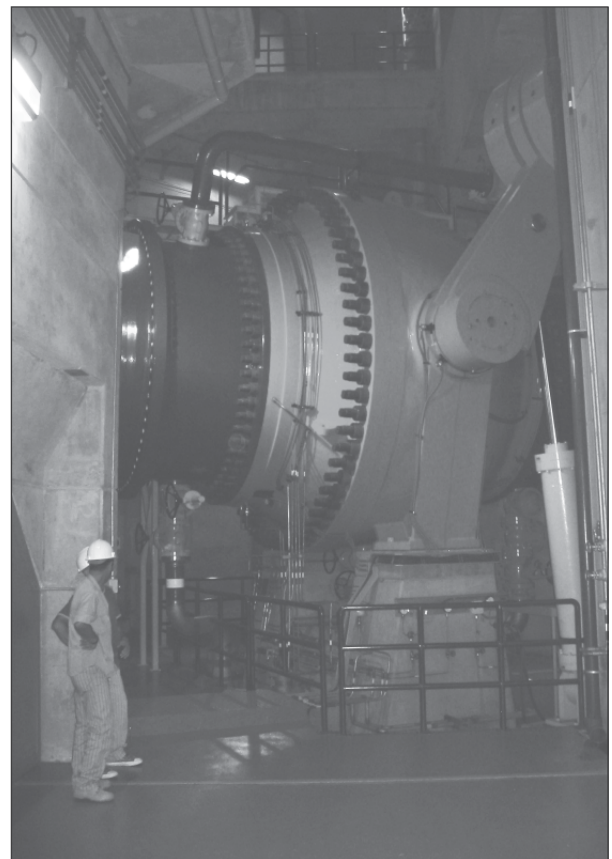
El conocimiento detallado y práctico de los elementos mecánicos para el control y la regulación de flujos tipo válvula es fundamental en el proceso de descripción e ingreso de información al software One World para la catalogación en las Empresas Públicas de Medellín E.S.P., a partir de una guía descriptiva, que permita establecer cual y en que orden debe presentarse la información técnica para una correcta catalogación de este tipo de elementos mecánicos de mayor rotación, que facilite homologar su diferenciación entre los ingenieros, almacenistas y proveedores nacionales y extranjeros.

Esto implica una unificación en cuanto al orden, el contenido y el tipo de abreviaciones que deben asignarse a la estructura de descripción y catalogación la cual contiene las definiciones o principios de funcionamiento

de cada tipo de válvula, acompañado de fotografías e ilustraciones, así como de planos generales, componentes y características principales, materiales, extremos de sujeción o juntas, ventajas y los parámetros de descripción específicos de cada tipo de válvula para el software One World, además de un glosario, apéndices y anexos, de la terminología más común en cuanto a la fabricación, selección y mantenimiento de este tipo de elementos mecánicos, así como una lista de unidades, factores de conversión y normas asociadas, apoyado en las especificaciones internacionales de descripción de este tipo de elementos mecánicos (Ramírez, 2006).

Este artículo contiene los parámetros generales de descripción de las válvulas para el software One World. En la figura 1 se muestra una válvula de bola utilizada en la hidroeléctrica Porce 2.

**FIGURA 1**  
**Válvula, Hidroeléctrica PORCE 2**



## **PARÁMETROS DE DESCRIPCIÓN GENERAL DE LAS VÁLVULAS PARA EL SOFTWARE ONE WORLD**

Se enumeran a continuación las características en orden que como mínimo hacen una correcta descripción de todas las válvulas y se ajustan a las condiciones del software One World. Esta descripción trata de abarcar los ítems necesarios para catalogar las válvulas de mayor rotación que emplea EEPPM en un contexto general, lo cual no implica que todas se especifiquen de la misma manera. Cada tipo de válvula contará con algunos de los parámetros de descripción que se citan aquí de manera general, aunque es posible que algunas los cumplan todos.

**Nombre del elemento mecánico:** Debido a que el nombre válvula es extenso se empleará la abreviatura VALV, para el campo de descripción uno, con el fin de optimizar el número de caracteres. Para el campo de texto de búsqueda se utilizará la palabra completa VÁLVULA.

**Tipo:** Con éste ítem se indica el tipo o clase de válvula según su diseño de fabricación o función. Para éste ítem se designará la abreviación correspondiente para cada tipo de válvula o en algunos casos podrá contener el nombre completo del tipo de válvula, si cumple con las condiciones que presenta el software One World en cuanto al número de caracteres.

**Diámetro nominal:** Con éste ítem se indica el diámetro nominal DN en mm o en pulgadas. Esta información técnica se encuentra indicada en la placa de descripción de especificaciones del elemento válvula, o en algunos casos se encuentra en alto relieve sobre el cuerpo o cuello de la válvula dependiendo del fabricante. Lo que se busca es, saber donde se encuentra ésta información en la válvula, ya que en éste ítem solo se colocará el número correspondiente al diámetro nominal y no las letras DN.

**Presión nominal o Clase o Presión de trabajo:** Por lo general este ítem se puede encontrar representado en las válvulas en uno de estos tres casos y utiliza la siguiente nomenclatura:

**Presión nominal:** La abreviación establecida internacionalmente es PN, y la unidad de presión que utiliza es el bar. Esta información se encuentra indicada en la placa de descripción de especificaciones del elemento válvula, o en algunos casos se encuentra en alto relieve sobre el cuerpo o cuello de la válvula dependiendo del fabricante. Esta información técnica siempre se encuentra sin las unidades de presión, ya que es implícita y ésta completamente normalizada de acuerdo a las variables que contiene, entre ellas la temperatura, rangos de presión, es decir, si la válvula posee un PN = 16, implica unos rangos de temperatura y de presión de trabajo para ese PN ya establecidos internacionalmente por los fabricantes. La designación para el software One World es: PN16 (sin unidades).

**Clase:** Esta es una nomenclatura internacional que reúne las variables de fabricación de la válvula, y la unidad de presión que utiliza es el (PSI). Esta información se encuentra indicada en la placa de descripción de especificaciones del elemento válvula, o en algunos casos se encuentra en alto relieve sobre el cuerpo o cuello de la válvula dependiendo del fabricante. Esta información técnica siempre se encuentra sin las unidades de presión, ya que es implícita y ésta completamente normalizada de acuerdo a las variables que contiene, entre ellas la temperatura, rangos de presión, es decir, si la válvula posee una clase 150, implica unos rangos de temperatura y de presión de trabajo para esa clase ya establecidos internacionalmente por los fabricantes.

**Presión de trabajo:** Este ítem solo se utiliza cuando la información técnica que posee la válvula no contiene la presión nominal (PN), ni la clase (CL), es decir, que solo aparece el número y las unidades de presión correspondientes a la presión de trabajo. Esta información se encuentra por lo general indicada en la placa de descripción de especificaciones del elemento válvula, o en algunos casos se encuentra en alto relieve sobre el cuerpo o cuello de la válvula dependiendo del fabricante.

**Nota:** Tener en cuenta:



$$Psi = \frac{Lb}{Pulgada^2}$$

$$1 \text{ Bar} = 14.7 \text{ Psi}$$

Cuando en la información técnica de una válvula se hable de Libras obligatoriamente está implícito que es sobre pulgadas cuadradas. Es incorrecto decir simplemente libras.

Fluido: Debido a que las especificaciones de fabricación y su normalización dependen de las condiciones de uso, es importante destacar la clase de fluido que recorrerá la válvula debido a sus efectos químicos, abrasivos y corrosivos. Entre estos se encuentran:

- Agua
- Agua residual
- Gas
- Derivados del Petróleo:
- Lodo
- Químico
- Elementos sólidos

Tipo de junta, Conexión, o extremos de la válvula: Las válvulas se fabrican para diferentes sistemas de conexión o sujeción al tubo o conducto según su uso.

Roscada: Este tipo de junta en su extremo posee varias alternativas: Rosca interna o Rosca externa, y en algunos casos puede combinarse las dos sobre el elemento válvula y quedaría descrita así:

- Rosca interna: R-INT
- Rosca externa: R-EXT
- Rosca interna y externa: R-INT-EXT
- Campana
- Espigo
- Wafer
- Brida

Tipo de accionamiento: Las válvulas se accionan a través de diferentes tipos de sistemas como son: mecánicos, eléctricos, neumáticos, entre otros así:

- Universal
- Manual
- Eléctrica
- Mecánico
- Óleo hidráulico
- Hidráulicos
- Neumáticos
- Electro neumático
- Sin accionamiento

Número de vías y Número de posiciones: Con éste ítem se indica el número de vías y a su vez el número de posiciones que posee cada tipo de válvula. Siempre la palabra vías se abreviará solo a la letra V, y estará acompañada de un número que indica la cantidad. Siempre la palabra posiciones se abreviará solo a la letra P, y estará acompañada de un número que indica la cantidad.

Este ítem se especificará solo cuando la válvula contenga más de una vía y se podrá continuar con el ítem nueve (Material) reemplazando este ítem, es decir, que cuando una válvula sólo tenga una vía no es necesario utilizar este ítem, se reemplazará por el siguiente ítem (material) aprovechando los cuatro caracteres.

Material: Cada tipo de válvula en su clasificación desarrollada en éste manual contiene en un contexto general los materiales con los que se fabrican.

Anexos internos: Este es un archivo adjunto que puede agregarse a cada código con la intención de completar la información que se crea le hace falta al elemento para su correcta especificación en los procesos de catalogación y compra, y que no logran introducirse en los campos de descripción. Entre estos se mencionan:

- Norma
- Marca
- Referencias
- Otros

## EJEMPLO

Si la válvula es de compuerta y en la placa de especificaciones técnicas contiene un diámetro nominal DN de 750 mm, y además tiene una presión nominal PN 16, y el fluido que circula a través de ella es AGUA (W), y sus extremos de conexión o juntas son tipo BRIDA, y su accionamiento es MANUAL con volante y no se especifica el número de vías, en éste caso se omite la colocación de éste ítem y se pasa al siguiente reemplazándolo. Además está fabricada con hierro dúctil (HD) quedaría descrita así:

VALV,COMPUER,750mm,PN16,W  
(Campo de descripción uno)

BRIDA,MANUAL,HD (Campo de descripción dos)

Es necesario aclarar que las letras COMPUER corresponden a la abreviación de la palabra COMPUERTA, (según el ítem dos, Tipo).

## ANEXOS INTERNOS

Compuerta ascendente elástica.

Asiento metálico.

Brida Norma ANSI 150.

Accionamiento manual con volante.

Marca: METACOL - TORINO.

Referencia: 36227

Los pasos mencionados con anterioridad corresponden a los dos campos de descripción, cada uno de 30 caracteres disponibles. Con esto se busca que el campo de texto de búsqueda tenga el nombre completo de la familia del elemento y así una apropiada identificación para su catalogación, para que no se genere ambigüedad en la información, es decir, que sea concreta y de fácil acceso para cualquier usuario del software One World, comprometiendo un uso correcto de éste.

## CONCLUSIONES

El conocimiento detallado y práctico a partir de una guía descriptiva de los elementos para el control y la regulación de flujos tipo válvula, es una pieza clave en el proceso de descripción e ingreso de información al software One World, para la catalogación en las Empresas Públicas de Medellín E.S.P.

La unificación de los parámetros técnicos de descripción permitió establecer cual y en que orden debe presentarse la información técnica para una correcta descripción de los elementos mecánicos tipo válvula, con el fin de homologar su diferenciación entre los ingenieros, el grupo de catalogadores, el grupo de mantenimiento y los almacenistas además, de los proveedores nacionales y extranjeros de las Empresas Públicas de Medellín E.S.P.

La homologación de la información permitió diseñar una estructura de descripción de elementos mecánicos tipo válvula para el control y la regulación de flujos, de mayor rotación en las Empresas Públicas de Medellín E.S.P. que facilitó el proceso de catalogación e ingreso de información al software One World en un tiempo mas corto y de manera mucho más efectiva, trayendo consigo un correcto manejo de toda la operación de compra, requisición, reintegros, transferencias, mantenimiento, almacenaje, recibos y despachos de mercancías a todas sus áreas, concluyendo en beneficios económicos a corto y largo plazo.

Se designó el orden, el número de caracteres y las respectivas abreviaciones técnicas homologadas según las exigencias y limitaciones del campo de descripción uno y dos que presenta el software One World, aumentando el espacio de descripción y catalogación delimitado; implicando poder ingresar más información valiosa para una descripción correcta y clara, limpiando el espacio de trabajo de la pantalla y permitiendo que el catalogador manipule un volumen mayor de información y a su vez no se confunda o detecte algún faltante en ella.

Las Empresas Públicas de Medellín E.S.P. es considerado uno de los mayores consumidores de elementos mecánicos tipo válvula a nivel nacional por lo cual es de suma importancia contar con una estructura de descripción y catalogación unificada que permita guiar no solo a sus ingenieros sino a todos los interesados en el tema, ya que este manual de descripción y catalogación de elementos mecánicos tipo válvula para el control y la regulación de flujos, se considera una herramienta eficaz a la hora de ingresar, actualizar y depurar la base de datos del software One World, respecto a este tipo de elementos mecánicos en función del mejoramiento del proceso de catalogación.

El manual de descripción y catalogación de elementos mecánicos tipo válvula permitió establecer la diferenciación y comprensión de las válvulas de mayor rotación en las Empresas Públicas de Medellín E.S.P. en cuanto a los componentes y elementos principales que las conforman a través de los planos e ilustraciones utilizados, generando conocimiento visual; factor importantísimo en un catalogador.

Las secciones finales del manual de descripción y catalogación de elementos mecánicos tipo válvula para el control y la regulación de flujos tales como: el glosario de palabras técnicas, el apéndice de las unidades y factores de conversión y la normatividad asociada facilitaron el proceso de catalogación e ingreso de información al software One World ya que ubican en el contexto real al catalogador dándole apoyo en la toma de sus decisiones.

La aplicación del manual de descripción y catalogación de elementos mecánicos para el control y la regulación de flujos en los diferentes almacenes (Almacén general, Guatapé – Playas, Subestación Colombia, Tasajera, Radio – Televisión \_ Gas, Com Centro, Porce 2, Planta San Fernando, Villa Hermosa, Pedregal, La Sierra y Belén) que comprenden las Empresas Públicas de Medellín E.S.P. permitió simplificar, unificar, definir, depurar y corregir la información contenida en el software One World dándole confiabilidad a la base de datos

filtrada a través de esta estructura de catalogación con una reducción del volumen de información considerado entre un 30 a un 40 % de la información original sobre este tipo de elementos mecánicos.

La estructura de descripción contenida en este manual de descripción y catalogación de elementos mecánicos tipo válvula para el control y la regulación de flujos, obedeció a una uniformidad de criterios establecidos entre los ingenieros, proveedores, grupo de mantenimiento, almacenistas y el grupo de catalogadores de EEPPM uniendo los tres pilares básicos: el área de desarrollo de proyectos, los usuarios de los almacenes y los proveedores internos y externos en un lenguaje común, mejorando la calidad de los servicios que presta Empresas Públicas de Medellín E.S.P., llevándola a la par con el desarrollo tecnológico a nivel mundial.

## **RECOMENDACIONES**

El manual de descripción y catalogación de elementos mecánicos tipo válvula para el control y la regulación de flujos, se desarrollo a partir de la base de datos contenida en el software One World de las Empresas Públicas de Medellín E.S.P. Esta base de datos constantemente esta en crecimiento lo que implica una actualización y revisión de la información contenida en este manual, con una frecuencia mínima de un año, con el fin de avalarla e incrementarla en caso de ser necesario.

Las Empresas Públicas de Medellín E.S.P debe ser conciente de que en el momento de emplear otro software diferente al One World o en sus actualizaciones constantes, se deben realizar los cambios correspondientes para garantizar que la información contenida en este manual siempre se conserve vigente.

Los cambios que por cualquier motivo se realicen a este manual deben estar certificados, homologados y avalados por los ingenieros, grupo de mantenimiento, almacenistas, proveedores y por el Departamento de Almacenes de las Empresas Públicas de Medellín E.S.P.

## **NUEVAS LÍNEAS DE TRABAJO**

Dado que las Empresas Públicas de Medellín E.S.P. es considerado uno de los mayores consumidores de elementos mecánicos tipo válvula a nivel nacional, es de suma importancia poder contar con una estructura de descripción y catalogación unificada que permita guiar no solo a sus ingenieros sino a todos los interesados en este tema, ya que este proyecto servirá como modelo para el desarrollo de otros manuales de descripción y catalogación de diferentes elementos mecánicos y a su vez en otras áreas de la ingeniería como la eléctrica, la electrónica, telecomunicaciones, petróleos entre otras, aplicados a la industria actual de nuestro país; como por ejemplo en el área de la mecánica: rodamientos, bielas, cigüeñales, tornillería, empaques, bombas, actuadores, bujes, acoples, arandelas, resortes, entre otros.

Este proyecto proveerá una guía de consulta dentro de la ingeniería mecánica que permitirá un comienzo de la unificación de los modelos de catalogación y descripción, en general, lo que facilitara el desarrollo de las empresas y el trabajo de los ingenieros involucrados en los procesos de mantenimiento montaje y operación de cualquier proyecto que utilice en sus sistemas la implementación de elementos mecánicos tipo válvula.

## **BIBLIOGRAFÍA**

### **CLÁSICA**

RAMÍREZ, Andrés F. Manual de descripción y catalogación de elementos mecánicos tipo válvula para el control y la regulación de flujos. Universidad EAFIT. Medellín, Colombia. 2006.

GREENE, Richard W. Válvulas Selección, Uso y Mantenimiento. 1 ed. Ciudad de México, México: Mc Graw-Hill, 1992. ISBN 968-422-033-2.

HEILER, R. Valves for the Water Industry and for Wast Water Handling. 1ed. Vulcan\_Verlang, Essen. 1st Issue 1986.

ZAPPE, R. W. Valve Selection Hand Book. 4 ed. Houston, Texas: Gulf Publishing Company, 1998. ISBN 0-88415-886-1.

### **COMPLEMENTARIA**

ASKELAND, Donald R. Ciencia e Ingeniería de los Materiales. 3 ed. Buenos Aires, Argentina: Thomson Editores, 1998. 14 p. ISBN 0-534-93423-4.

CENGEL, Yunus A., BOLES, Michael A. Termodinámica. Tomo I. 2 ed. Ciudad de México, México: Mc Graw-Hill, 2000. p. 37-70. ISBN 970-10-0910-X.

FERDINAND, P. Beer., RUSSELL, Johnston. Mecánica de Materiales. 2ed. Santa fé de Bogota, Colombia: Mc Graw-Hill, 2001. p. 698-701. ISBN 958-600-127-X.

INCROPERA, Frank P., DEWITT, David P. Fundamentos de Transferencia de Calor. 4 ed. Ciudad de México, México: Prentice Hall, 1999. p. 420-456. ISBN 970-17-0170-4.

MANRIQUE, Jorge A. Dibujo Mecánico y Geometría Descriptiva. 1 ed. Medellín, Colombia: Universidad Pontificia Bolivariana, 1999. p. 213-333. ISBN 958-6969-48-X.

SMITH, William F. Fundamentos de la ciencia de los materiales. 3 ed. Madrid, España: Mc Graw-Hill, 1998. p. 412-483. ISBN 0-07-059241-1.

SOTELO, Avila Gilberto. Hidráulica General. Tomo I. 1 ed. Ciudad de México, México: Limusa, 1974. p. 96-105. ISBN 968-18-0503-8.

STREET Robert L. Elementary Fluid Mechanics. 7 ed. United Status of America: Jhon Wiley & Sons, 1996. p. 689-694. ISBN 0-471-01310-2.

## CYBERGRAFÍA

### Aguamarket@

AGUAMARKET LTDA. "Productos y Servicios para la Industria del Agua en Latinoamérica". 2005. [En línea]. [Citado el 22 de febrero de 2006]. Disponible en Internet en: <http://aguamarket.com/diccionario/terminos.asp?id=3624>

### Festo@

FESTO LTDA. "World-Leading Supplier of Automation Technology". 2006. [En línea]. [Citado el 16 de marzo de 2006]. Disponible en Internet en: <http://www.festo.com/>

### Globalspec@

GLOBALSPEC. "The Engineering Search Engine". 2005. [En línea]. [Citado el 15 de enero de 2006]. Disponible en Internet en: <http://globalspec.com/>

### Valmatic@

VALMATIC. "Valve and Manufacture Corp.". 2006. [En línea]. [Citado el 4 de febrero de 2006]. Disponible en Internet en: <http://www.valmatic.com/>

### Valvulasross@

VALVULAS ROSS. "Válvulas automaticas Ross, S.A.". 2004. [En línea]. [Citado el 17 de febrero de 2006]. Disponible en Internet en: <http://www.valvulasross.com/>

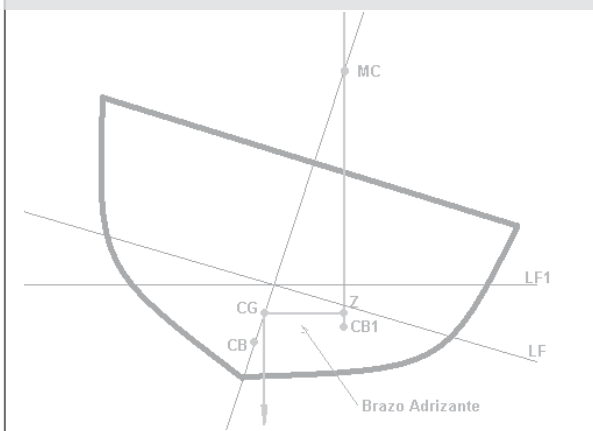
# IMPLEMENTACIÓN DE LA PLATAFORMA DE DISEÑO EN INGENIERÍA RHINOCEROS, EN EDUARDOÑO S.A.

JUAN PABLO CARDONA OCHOA  
*Jcardo14@eafit.edu.co*  
Departamento de Ingeniería Mecánica

AREA DE ÉNFASIS  
DISEÑO DE SISTEMAS  
TÉCNICOS-DISEÑO MECÁNICO

ASESOR PRINCIPAL  
ING. JUAN SANTIAGO VILLEGAS LÓPEZ

EMPRESA  
EDUARDOÑO S.A.



## RESUMEN

La implementación del Rhinoceros en el área náutica del departamento de ingeniería de Eduardoño S.A., nace como una idea de renovación técnica y tecnológica para proporcionar a los ingenieros nuevas y mejores herramientas que permitan llegar a mas altos niveles en el desarrollo de especificaciones técnicas para producción.

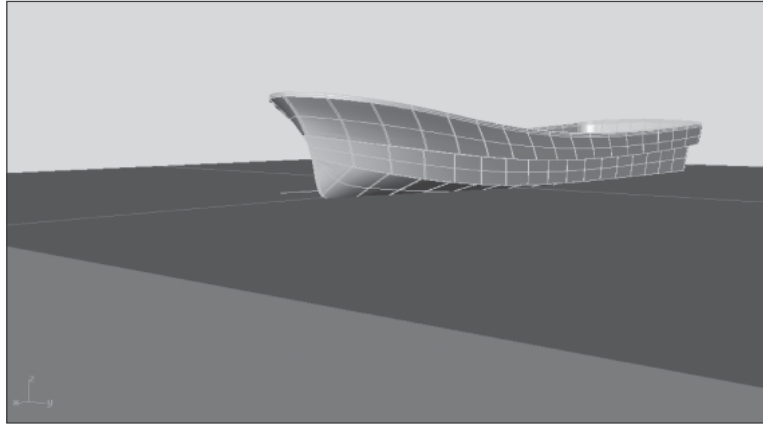
La intención es introducir nuevas herramientas CAE para el mejoramiento de las tareas de ingeniería de la empresa, con las cuales los ingenieros obteniendo un mejor conocimiento de la construcción de embarcaciones y la clarificación de los conceptos físicos y mecánicos involucrados en éstos, puedan, por medio de simulaciones computacionales, dar soluciones mas precisas y rápidas a los retos que surgen en este campo.

Los aspectos fundamentales de la implementación se concentran en dos fases complementarias. La fase inicial es la de diseño, en ella el objetivo se centra en la obtención de los modelos de los cascos de las embarcaciones, en el espacio tridimensional de Rhino. La fase complementaria se concentra en el desarrollo de un software de ingeniería en el entorno de VisualBasic, que realiza cálculos hidrostáticos de estabilidad y estimaciones de velocidad, con base en las geometrías de los modelos existentes en el espacio tridimensional de Rhino.

El proyecto de mejora esta siendo evaluado por medio de pruebas reales a algunos botes producidos, dentro de los resultados en producción y por pruebas de campo para validar los resultados por métodos comparativos y de esta forma, pulir los procedimientos y procesos creados en la implementación.



### Modelos en el espacio 3D de RHINO



### Imagen de presentación del Software



### ABSTRACT

The implementation of the Rhinoceros software in the nautical area of the engineering department of Eduardoño S.A., is born like an idea of technical and technological renovation to provide to the engineers new and better tools that allow to arrive to high levels in the development of technical specifications for production.

The intention is to introduce new tools for the improvement of the engineering tasks of the company, with those

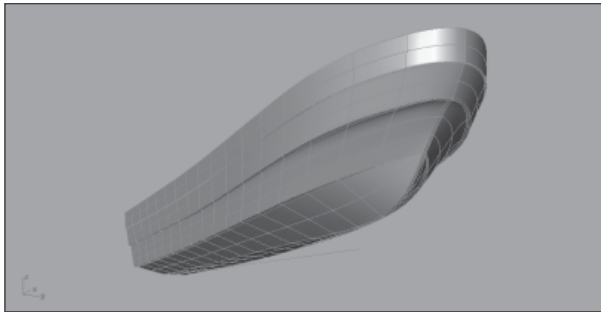
which the engineers obtaining a better knowledge of the construction of crafts and the clarification of the physical concepts and mechanics involved in these, can, by means of computational simulations, to give accurate and quick solutions to the challenges that arise in this field.

The fundamental aspects of the implementation concentrate on two complementary phases. The initial phase is that of design, in her the objective is centered in obtaining the craft hulls models, in the three-dimensional

space of Rhino. The complementary phase concentrates on the development of an engineering software in the environment of VisualBasic, that carries out hydrostatic and stability calculations and estimates of speed, with base in the geometries of the existent models in the three-dimensional space of Rhino.

The project of improvement is being evaluated by means of evidences by inspection to some produced boats, inside the results in production and for field tests to validate the results for comparative methods, and this way, to clean the procedures and processes created in the implementation.

**Hull Model**



## **PALABRAS CLAVE**

Rhinoceros, Modelación 3D, Náutica, Botes, VisualBasic, Software náutico, Hidrostática, Estabilidad.

## **KEY WORD**

Rhinoceros, 3D modeling, Nautical, Boats, VisualBasic, Nautical software, Hydrostatics, Stability.

## **INTRODUCCIÓN**

Los proyectos de ingeniería deben estar acompañados de las herramientas, que permitan a los ingenieros aprovechar al máximo las ideas y las capacidades para llevar a buen término los objetivos propuestos.

Las plataformas gráficas de modelación tridimensional, han sustituido los tradicionales dibujos en dos dimen-

siones o planos, y permiten llevar a cabo tareas de diseño en tiempo real, dando no solo como resultados la apariencia final de los objetos, sino también las tallas y proporciones respecto a objetos circundantes.

Las herramientas computacionales de ingeniería, representan un gran reto y conllevan a obtener grandes ventajas, esta razón origina la idea de llevar el CAE a la práctica en una empresa de nuestro medio, la cual se dedica a una actividad que requiere el uso de estas herramientas para ponerse a la par de sus competidores internacionales y optimizar el desarrollo de sus productos.

## **DESARROLLO DE LAS FASES DE LA IMPLEMENTACIÓN**

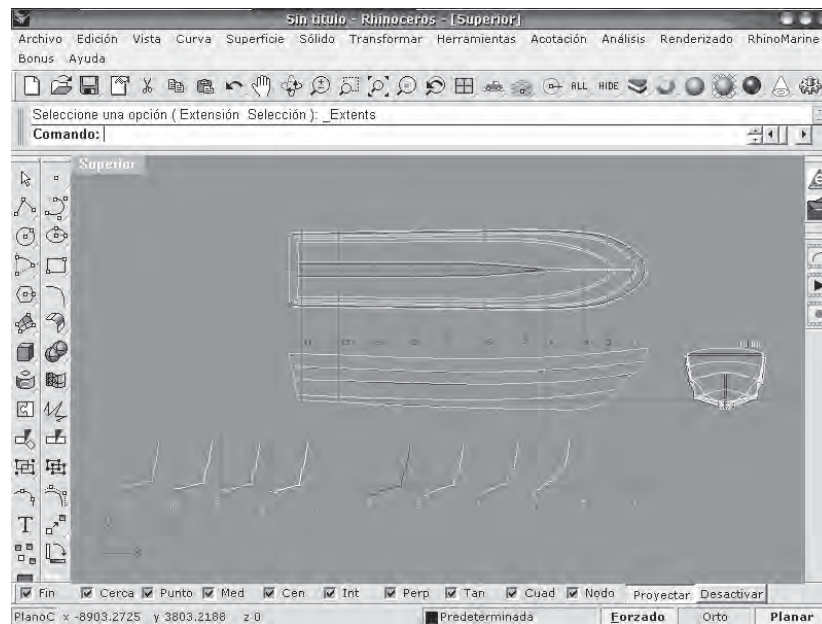
La implementación de la plataforma de modelación tridimensional Rhino en la empresa, comienza con el desarrollo de un método rápido y preciso para modelar los botes, en el espacio tridimensional de Rhino.

Los cascos de los botes son la base para el desarrollo de especificaciones técnicas de producción, además el software náutico que se ha desarrollado como parte de la implementación, necesita de la geometría tridimensional de los cascos representada por superficies en Rhino, para hacer un buen aprovechamiento de las capacidades del modelador.

Los dibujos en dos dimensiones que representan las vistas de los cascos usados tradicionalmente en la empresa, se convierten en elementos básicos para la creación del método que se ha desarrollado. Estos permiten crear, sin necesidad de hacer nuevas mediciones en los moldes reales, las piezas en forma tridimensional, representadas por superficies y polisuperficies en el espacio de Rhino.

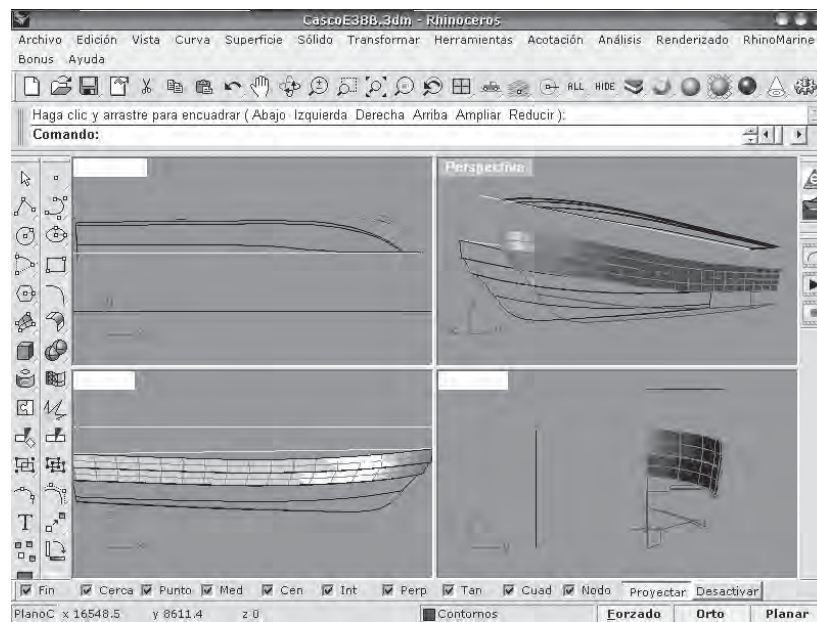
El método tiene a partir de los cascos, un resultado útil para las demás piezas que se tienen en archivos .dwg de AutoCAD.

## Dibujo plano de un casco



La modelación de naves marinas en general, obliga a seguir ciertos requerimientos, necesarios al momento de probar el diseño para llevarlo a la realidad. En este caso las reglas aplican no solo para obtener modelos válidos, sino también para obtener un conjunto de superficies que difieran lo mínimo posible de un molde que ya existe, archivos livianos y condiciones adecuadas para que el software náutico las analice de manera confiable cuando se estén realizando los cálculos hidrostáticos y de estabilidad.

## Proceso de modelación 3D



La implementación de la plataforma de modelación tridimensional Rhino en la empresa, continúa con el desarrollo del software de análisis náutico bajo VisualBasic. Se describe aquí un programa que usa las capacidades geométricas del Rhino para obtener de los modelos tridimensionales de los botes, las propiedades hidrostáticas y de estabilidad en diversos casos de carga.

El software que se desarrolla conduce a un entrelazamiento entre la primera fase descrita y la que se muestra a continuación. La precisión y confiabilidad de los resultados que entrega el programa dependen de la calidad y precisión con que sean modelados los cascos de los botes en el espacio de Rhino. Es importante dejar clara la importancia del desarrollo que se ha hecho para representar los botes por medio de superficies tridimensionales ya que ello influirá en el uso y resultados del software.

### El SONAR: Software Náutico para Rhino

El Rhino permite a los usuarios automatizar algunas operaciones, crear subrutinas para optimizar el desarrollo de tareas repetitivas y algunos programas pequeños, mediante el RhinoScript.

El Rhinoscript puede ser utilizado en lenguajes de programación externos como C++ y VisualBasic, para realizar programas más elaborados que ejecuten procedimientos complejos y extensos, añadiendo funciones adicionales al Rhino o incluso pueden convertirlo en un programa totalmente diferente.

El Rhino se convierte en este caso en un software de diseño y análisis náutico, mediante el aprovechamiento de sus herramientas de análisis y su flexibilidad para conectarse con las plataformas de desarrollo de Windows.

El SONAR, es creado en VisualBasic con la intención de generar una aplicación que tenga su propia autonomía, es decir poder abrirla y cerrarla en cualquier momento del desarrollo de especificaciones en ingeniería y en cualquier punto de la modelación.

### Interfase de inicio del SONAR



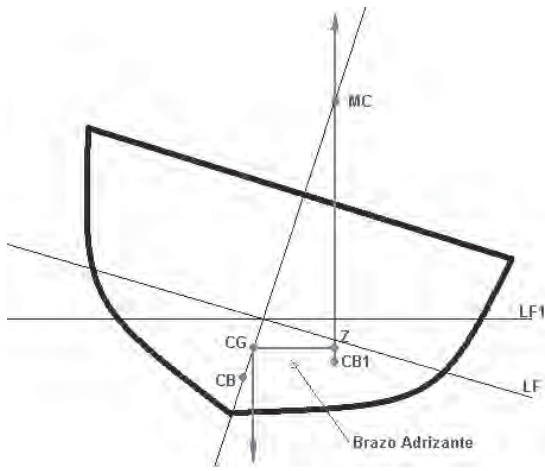
Los cálculos que se realizan a través del software, están soportados por la teoría básica para la construcción de una embarcación. Esta teoría, regula los parámetros de su construcción para cumplir con los principios físicos de los fluidos.

Los casos para los cuales aplican estos principios son: la capacidad y peso del bote y el equilibrio y estabilidad del bote.

La capacidad y peso se relacionan con la hidrostática y el principio de Arquímedes, desde donde se entiende que cualquier objeto que flote sobre la superficie del agua se hunde hasta que desplaza un volumen de agua equivalente a su peso. Por ejemplo, cuando un bote tiene que llevar a tres personas, sus equipos de pesca, un motor fueraborda y una provisión de combustible, el bote tendrá entonces que construirse lo suficientemente largo y ancho para desplazar la sumatoria de sus pesos

en agua, sin hundirse por debajo de la línea de flotación. El diseño debe considerar que el bote tiene su propio peso, el cual también tiene que ser desplazado; por lo tanto, cuanto mayor sea el peso del material utilizado para construir el bote, más grande tiene que ser él mismo.

### Teoría del barco

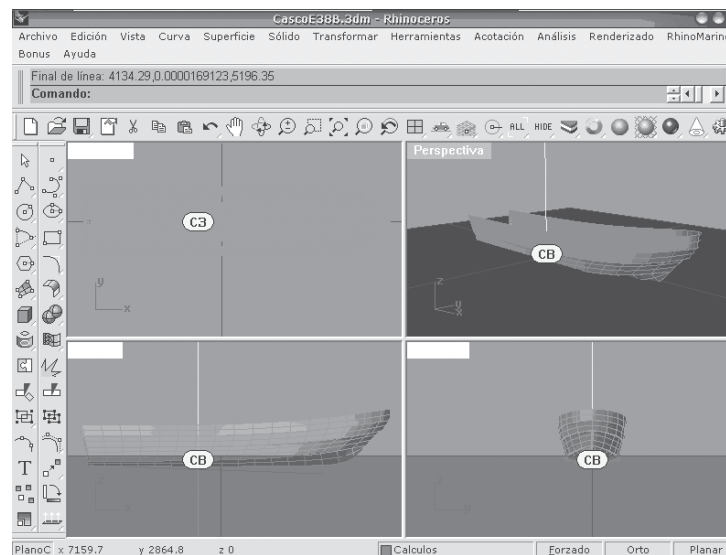


Cuando el volumen sumergido del bote ha sido diseñado para cumplir el requisito de que su peso y su contenido sean iguales al peso del agua desplazada, la distribución de los elementos al interior del casco debe ser establecida de modo apropiado. Es aquí donde se hacen importantes los fundamentos de equilibrio y estabilidad.

El peso de un motor fueraborda en la popa de un bote pequeño tiende a hundirlo más por ese extremo (trimado a popa). Esa tendencia debe ser compensada colocando un peso equivalente a proa, o en el caso de los diseñadores de cascos, la realineación debe obtenerse ensanchando el casco en la zona de popa de tal forma que una gran parte del desplazamiento tenga lugar cerca del exceso de peso.

Debe establecerse un equilibrio de pesos en sentido transversal. Además, para disminuir el riesgo de hundimiento, el centro de gravedad de todos los pesos debe estar bajo en el bote. Si otros factores requieren que el centro de gravedad esté alto, entonces el riesgo de hundimiento debe contrarrestarse aumentando la manga del casco.

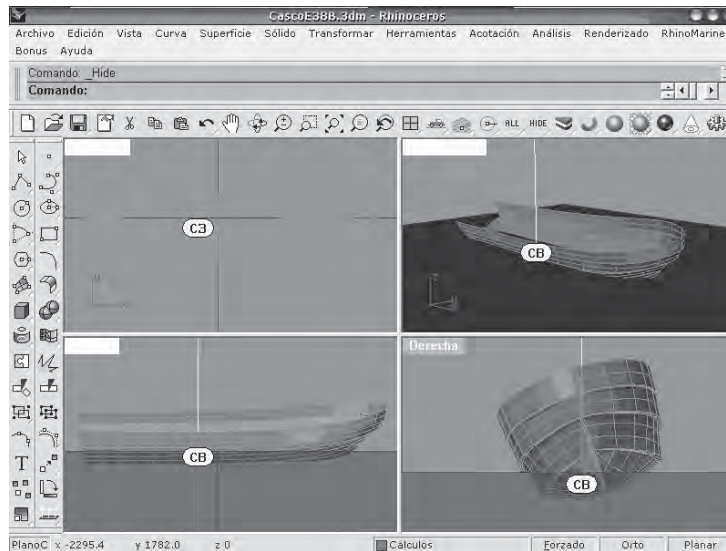
### Simulación hidrostática



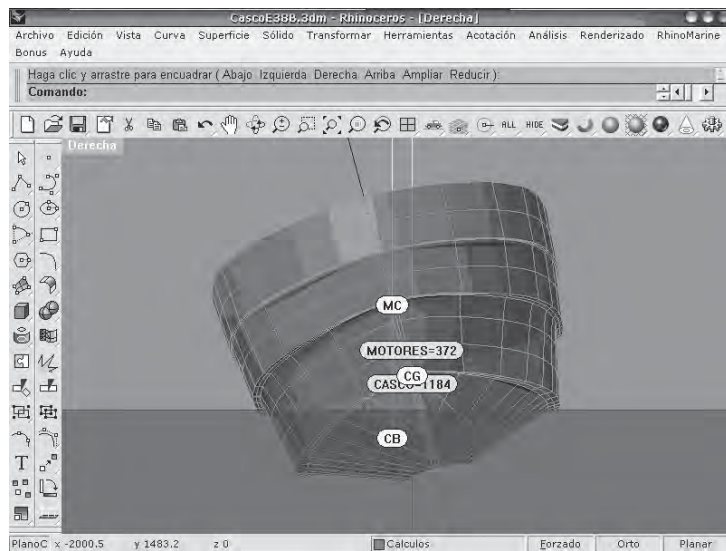
Con el SONAR puede también calcularse la distribución de cargas al interior del casco y hallar posteriormente el centro de gravedad total.



## Simulación de estabilidad transversal



## Resultados simulados



Los resultados que entrega el SONAR, se ajustan a las condiciones reales que presentan los botes en las pruebas realizadas. Este es un indicador de la validez del software que ya se ha usado en diferentes proyectos tanto preliminares como de evaluación y los resultados han sido satisfactorios para los intereses y propósitos del área náutica y de la empresa.

La evaluación de la implementación no sólo incluye la validación técnica, sino también su funcionalidad y utilidad para todos los miembros del área.

El SONAR está siendo desarrollado para mejorar la toma de decisiones y el desarrollo de especificaciones técnicas en el área náutica de la empresa. Esta



herramienta está pensada como un recurso de uso habitual y por consiguiente es importante darla a conocer a los distintos miembros de la empresa y en especial generar un ciclo de capacitaciones para los integrantes del área de ingeniería que son los usuarios finales directos. El programa de capacitación contiene la siguiente secuencia de actividades:

- Introducción a la modelación naval en Rhino.
- Modelación de un casco a partir del plano de AutoCAD
- Evaluación de los modelos 3D
- Introducción y manejo del SONAR
- Cómo hallar el centro de gravedad (los tres métodos)
- Cálculos hidrostáticos de estabilidad y velocidad.

## **BIBLIOGRAFÍA**

AMERICAN BOAT AND YACHT COUNCIL. Standards and technical information reports for small craft. s.l. : ABYC, Julio de 2005.

GARCÍA DE JALÓN, Javier, RODRÍGUEZ, José Ignacio y BRAZÁLEZ, Alfonso. Aprenda visual Basic 6 como si estuviera en primero. San Sebastián, España : Universidad de Navarra, Agosto 1999. 105 p.

NATIONAL MARINE MANUFACTURERS ASSOCIATION. It pays to certify. Chicago, Illinois: NMMA, Noviembre de 2004.

ROBERT MCNEEL & ASSOCIATES. RHINOCEROS: NURBS Modeling for Windows. Versión 3.0. EE.UU : McNeel, 1993–2002. 585p.

WESTLAWN SCHOOL OF YACHT DESIGN. Principles of yacht design. Stamford, Connecticut : La institución, 1989. 6 v.

YAMAHA MOTOR CO. Engine & propeller selection manual. 2 ed. Japón : YAMAHA, Julio de 1998. 46p.

## **INTERNET**

McNeel@: ROBERT MCNEEL & ASSOCIATES. Fairing a hull surface [documento electrónico]. EE.UU : McNeel, 1993–2002. 16p. (Citada 18 Octubre, 2005) <http://www.rhino3d.net/downloads/fairing.pdf>

EDUARDOÑO@: EDUARDOÑO S.A. Página Web de la empresa. Disponible en : <http://www.eduardono.com/>

INO3D@: RHINOCEROS. Página Web del modelador desde la cual puede accederse a los foros y tutoriales. Disponible en : <http://www.rhino3d.com/>

AUTODESK@ Pagina Web del AutoCAD. Disponible en : <http://www.autodesk.com/>

YAMAHA@ : YAMAHA MOTOR CO. Pagina Web de la compañía que EDUARDOÑO S.A. representa en Colombia para el mercado náutico. Disponible en : <http://www.yamaha-motor.com/>

# **SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE ACEITES RESIDUALES PARA ESTACIONES DE SERVICIO Y SERVITECAS, CONTRIBUYENDO CON EL CUIDADO Y LA PRESERVACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE**

**SEBASTIÁN AGUDELO LÓPEZ**

*sagudel1@eafit.edu.co*

**DIEGO ANDRÉS HERNÁNDEZ BAENA**

*dhernan5@eafit.edu.co*

**Departamento de Ingeniería Mecánica**

**ÁREA DE ÉNFASIS**

**ÁREA DE PROYECTOS**

**ASESOR PRINCIPAL**

**ING. FRANCISCO ELEAZAR TORO**

**SECTOR BENEFICIADO**

**UNIVERSIDAD EAFIT**



## **RESUMEN**

El proyecto consiste en crear un sistema de recolección de aceite usado para estaciones de servicio y servitecas, teniendo en cuenta las especificaciones para el diseño de cada una de las partes que conformará este sistema.

La recolección del aceite usado en las estaciones de servicio ha sido un problema ya que en muchas ocasiones el manejo y la disposición final que se le da a estos residuos no es la más adecuada. En el desarrollo del proyecto se plantean todas las situaciones adversas que se generan en el medio ambiente y en las personas por el mal manejo de estos residuos peligrosos.

La empresa PRENECO S.A., actualmente es la única que se está preocupando por el tratamiento de estos residuos peligrosos, dándole una adecuada disposición final, además de implementar tecnología de punta para la recuperación del aceite usado.

Para el desarrollo del proyecto se parte de las situaciones actuales que se tienen en las estaciones de servicio; modo de recolección del aceite usado, almacenamiento temporal dentro del establecimiento y disposición final del desecho.

Teniendo estos datos se procede a implementar un sistema que se acomode a las necesidades no solo de las estaciones de servicio, sino además de las entidades autorizadas para la recolección y recuperación de los desechos mencionados

## **SUMMARY**

The project consists in creating a used oil recollecting system for service and gas stations keeping in mind the specifications for the design of each part conforming the system.

The recollection of used oil in service stations has been a problem since in many occasions the management and final deposition of these residues is not adequate. In the development of the project we expose all the adverse

situations that can be generated against the environment and people because of the incorrect management of these dangerous residues.

At the present time the company PRENECO S.A, is the only one that is worrying about the treatment of these dangerous residues, giving to these a suitable final disposition, besides it is implementing the latest technology for the recovery of the used oil.

For the development of the project we keep in mind present situations on the service stations; way of recollection of the used oil, temporary storage within the establishment and final disposition of the residues.

Having these data it is conducted the implementation of a system that complies to the necessities not only of the service stations, but in addition to the organizations authorized for the recollection and recovery of the mentioned residues.

### **PALABRAS CLAVES**

Aceite usado, estaciones de servicio, servitecas, filtración, destilación, reciclado de aceites usados.

### **KEY WORD**

Used oil, service stations, used oil, gas stations, filtration, distillation, recycled of used oil.

### **FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

En la ciudad de Medellín se puede ver el mal manejo que las personas y las estaciones de servicio le dan al aceite residual, basta con echar vistazo en los barrios en donde hay gran cantidad de talleres de vehículos para ver las calles con regueros de aceite, los cuales luego van a dar al alcantarillado y por consiguiente al río generando así un gran impacto ambiental.

En las estaciones de servicio y servitecas no se emplean buenos métodos para la recolección de aceites usados, además no se sabe con certeza que pasa con la gran cantidad de aceite que recogen estos establecimientos

mes a mes, en ocasiones son entregados a terceros los cuales no tienen el conocimiento adecuado sobre que hacer con este residuo y muchas veces los usan para su propio beneficio, en algunos casos reenvasándolos y vendiéndolos como un producto nuevo o simplemente botándolos a la alcantarilla o a la tierra.

### **GENERACIÓN DE ACEITE LUBRICANTE EN EL VALLE DE ABURRÁ**

Actualmente en Antioquia se está comercializando una gran cantidad de aceites lubricantes para satisfacer toda la demanda que se tiene, no sólo en la parte automotriz, sino también para las grandes industrias que los utilizan en la lubricación de las máquinas que emplean dentro de su proceso productivo.

Las empresas productoras de aceites lubricantes para automotor distribuyen en Antioquia un volumen de 290000 gal/mes y en el área metropolitana un volumen de 195000 galones/mes.

Para estaciones de servicio y servitecas se tiene estimado un volumen de 126750 gal/mes.

### **GENERACIÓN DE ACEITE USADO EN EL VALLE DE ABURRÁ**

Los aceites se deterioran y se consumen al ser sometidos a altas temperaturas o al estar en contacto con el aire, dando lugar a la formación de ácidos y compuestos de oxidación que son corrosivos y provocan un mal funcionamiento en el equipo.

Se tiene estimado que un 15% de la cantidad total del aceite lubricante que se encuentra al interior del automotor se consume. Teniendo en cuenta que el volumen total de aceite lubricante en el área metropolitana es de aproximadamente 126,750 gal/mes para estaciones servicio y servitecas, se puede estimar que el volumen de aceite residual que se espera en estos mismos lugares es de aproximadamente 107,737 gal/mes.

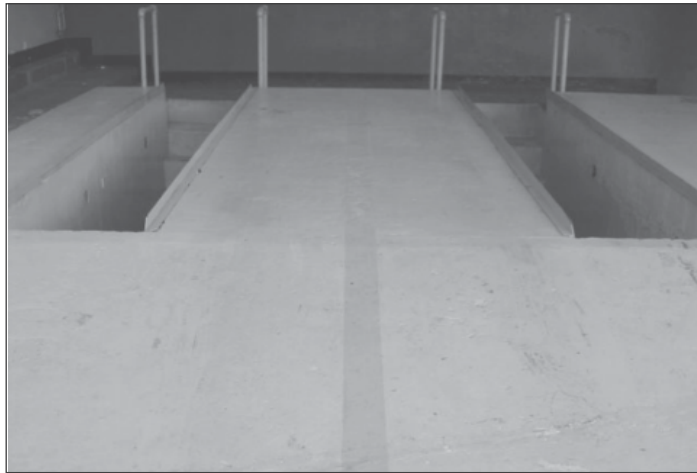
Estrategias establecidas dentro de las E.D.S para el manejo de aceites usados.

Se encontraron algunas diferencias en las instalaciones o lugares del cambio de aceite en las estaciones de servicios y servitecas, la mayoría utilizan los guajes<sup>1</sup>, para ubicar el vehículo y realizar el cambio, otras por el contrario lo levantan por medio de un gato hidráulico y de esta manera realizan esta tarea, como se puede ver en las ilustraciones 1 y 2.

La razón del alto porcentaje de estaciones de servicios y servitecas con guajes es el precio. Es mucho más costoso emplear el gato hidráulico, porque con este no sólo se invierte en la compra e instalación del equipo, sino que además, a éste se le suma costos de operación y mantenimiento, mientras que un guaje es mucho más sencillo de fabricar y no conlleva a costos posteriores.

### ILUSTRACIÓN 1

#### Guaje



### ILUSTRACIÓN 2

#### Gato Hidráulico



El procedimiento para la extracción del aceite usado de los vehículos utilizado en todas las estaciones de servicio y servitecas es muy similar. Cuando el carro está ubicado en el guaje o es levantado por el gato hidráulico, el mecánico encargado quita el tapón del cárter, por medio de la gravedad el aceite usado cae a una caneca o balde provisional, ilustración 3, de allí es transportado al lugar en donde quedara finalmente almacenado (caneca de 55gal, tanque de 500gal y tanque subterráneo de 800gal), hasta que llegue la persona encargada de llevárselo.

**ILUSTRACIÓN 3**  
**Sistema Implementado en E.D.S.**



Muchas de las estaciones de servicio y servitecas tienen convenio con diferentes firmas, las cuales se encargan de recoger los desechos que en estos sitios se generan. Las firmas más reconocidas por el Área Metropolitana son: Coraje, Mundial de Reciclaje, Corpaul, aunque existen

varias firmas que están manejando residuos sólidos, pero son éstas las más involucradas directamente con el manejo de los aceites residuales. Por el contrario a estas reconocidas firmas, existen personas particulares que disponen de estos residuos de una manera equívoca creando los impactos ambientales ya mencionados.

Dentro de este procedimiento se encontraron una serie de problemas como lo son por ejemplo gran cantidad de regueros de aceite usado dentro y alrededor del guaje o en el camino hacia el almacenamiento final, también está presente la posibilidad de contaminación del aceite usado, ya que cuando se encuentra en las canecas donde se almacena inicialmente son arrojados agentes externos como trapos, estopas, elementos metálicos y basuras en general.

### **SISTEMA DE RECOLECCIÓN PARA E.D.S Y SERVITECAS**

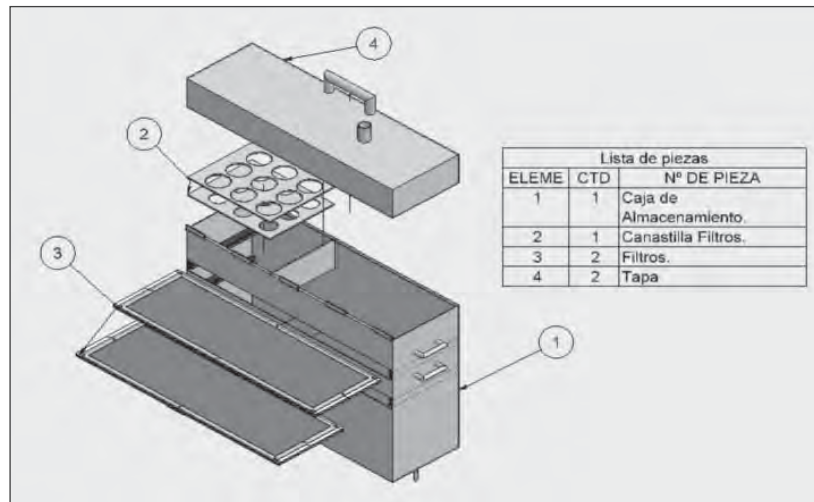
Se quiere realizar un proceso que cumpla con la labor de recoger, transportar y eliminar impurezas que están mezcladas en el aceite usado que sale del vehículo, todo este proceso será realizado dentro de la estación de servicio, cumpliendo con normas de seguridad establecidas nacional e internacionalmente.

El proceso se compone de cuatro sistemas que son: Filtración, transporte, destilación y almacenamiento.

### **FILTRACIÓN**

Es el tratamiento inicial que se le realiza al aceite usado. En este paso se retiran los lodos y partículas gruesas. Este proceso se realiza en un tanque de 34 gal el cual a su vez se utiliza como un almacenamiento inicial del aceite usado. Este tanque también tiene la posibilidad de posicionar en una rejilla los filtros de aceite usados que se retiran de los vehículos, permitiendo que escurran todo el aceite usado que tienen en su interior.

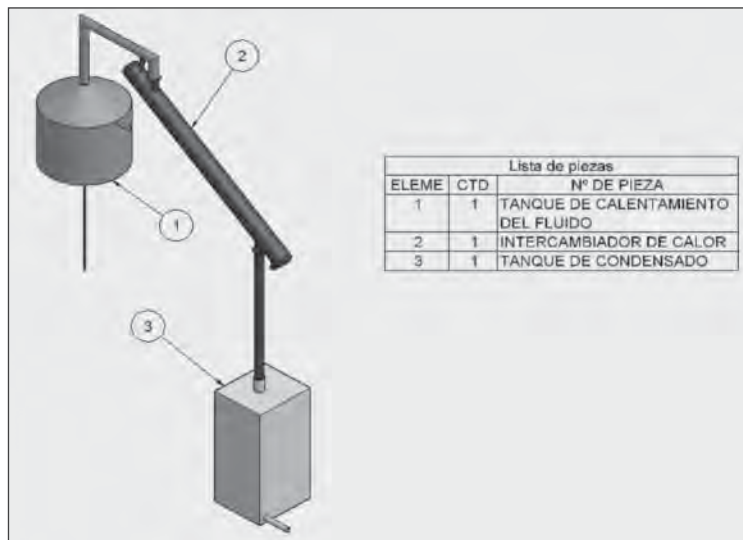
**ILUSTRACIÓN 4**  
**Sistema de Filtración**



## DESTILACIÓN

Es un proceso químico que permite separar dos o más sustancias mezcladas mediante la intervención del calor. El aceite usado se calienta hasta alcanzar el punto de ebullición de los hidrocarburos ligeros y el agua, permitiendo que estos residuos salgan en forma de vapor hacia otro tanque en donde se disminuirá la temperatura de estos para que vuelvan a su estado inicial líquido. El aceite que es calentado y no se evapora, quedara almacenado en este tanque, el cual esta libre de impurezas, agua e hidrocarburos ligeros.

**ILUSTRACIÓN 5**  
**Sistema de Destilación**





## **TRANSPORTE**

Este se realiza por medio de una línea de tubería y una bomba, esta impulsa el aceite usado desde el tanque de filtración hasta el tanque de calentamiento del sistema de destilación.

## **ALMACENAMIENTO**

Es el último paso del sistema, en este se almacenan en tanques diferentes los dos productos que surgen del proceso de destilación. El aceite usado libre de impurezas será conducido a un tanque de 500 gal para ser almacenado y luego ser recogido por las entidades autorizadas ya mencionadas. Mientras que el agua y los hidrocarburos ligeros son conducidos a un tanque de 43 gal. para allí ser almacenados para luego ser recogidos.

## **SISTEMA DE RECOLECCIÓN, SEGUNDA OPCIÓN**

Existen varios factores los cuales llevaron a tener una segunda opción del proceso, en la cual se reduce el sistema que se tiene a uno más simple y económico, estos factores son:

Las empresas regeneradoras prefieren que el aceite usado llegue libre de partículas gruesas y residuos sólidos a su planta de tratamiento.

Destilación, proceso químico complicado para tenerlo involucrado dentro de una estación de servicio.

El sistema de destilación necesita un área especial para su funcionamiento e involucra costos adicionales de operación y mantenimiento.

Por lo tanto la segunda opción del sistema de recolección solo cuenta con tres procesos que son: Filtración, Transporte y Almacenamiento.

Con esto no se quiere omitir el primer proceso que se diseñó, sino que debido a las diferentes necesidades

que se pueden generar dentro de los diferentes establecimientos, el sistema de recolección se deberá acomodar al modo operando que se maneja en estos lugares y además se tiene la posibilidad de ofrecer dos alternativas del producto en el mercado.

## **CÓMO PROMOVER EL PROYECTO**

La intención de este proyecto es contribuir a preservar el medio ambiente, ya que por medio del sistema se garantizan una serie de ventajas en cuanto al manejo del aceite usado en estaciones de servicio y servitecas.

Debido al gran impacto ambiental positivo que se genera por tener el sistema de recolección, se quiere dar a conocer ante entidades gubernamentales y privadas que estén involucradas con este desecho, para que ellas desde su punto de vista den la aprobación para involucrar este sistema dentro de los diferentes planes de manejo ambiental que se están creando a nivel local y nacional.

Se plantean las siguientes opciones para la venta y puesta en marcha del sistema de recolección:

Si se adquiere el sistema completo se pueden crear garantías o incentivos económicos para los dueños de los establecimientos generadores de aceite usado. Este tipo de garantías pueden ser desde vender el producto final a un precio más alto a las compañías encargadas de recoger el residuo, o de reducir impuestos a estos establecimientos.

La segunda opción del sistema de recolección sea de tipo obligatorio para las empresas generadoras de aceite usado y que además se incluya dentro de los P.M.A., garantizando así la protección del medio ambiente.

Las empresas relacionadas con el manejo de aceite usado brinden diferentes alternativas de financiación a las distintas estaciones de servicio y servitecas para obtener el sistema.

## CONCLUSIONES

Debido a la función del aceite y de acuerdo a su composición química, se considera que al final del proceso que este realiza dentro del vehículo, su composición se altera y presenta una serie de contaminantes (agua, azufre, componentes clorado y metales pesados), generando un residuo toxico y peligroso, el cual debe ser manipulado de una manera correcta para que no genere altos grados de contaminación.

Se ha venido trabajando para cambiar la composición química de los aceites lubricantes debido a su alto grado de toxicidad, y así controlar el impacto negativo que generan sobre el medio ambiente.

A nivel mundial y nacional se ha trabajado por crear normas para el manejo de residuos peligrosos, pero falta todavía mucho compromiso para crear conciencia en el ser humano acerca del impacto negativo que genera el mal uso de estos desechos.

A pesar del alto impacto ambiental negativo ocasionado por el mal manejo de los aceites usados, aun no se ha establecido a nivel regional una norma que controle la recolección, el almacenamiento y la disposición final de estos, por lo tanto no se sanciona a los establecimientos que de alguna manera están contribuyendo a generar mas contaminación, y por el contrario siguen empleando los mismos procedimientos que no aseguran un manejo adecuado de este residuo.

Todavía en el valle de aburra hay gran cantidad estaciones de servicio y servitecas que no tienen el conocimiento sobre el alto grado de contaminación que genera el aceite usado, debido a esta falta de información, no poseen unas buenas metodologías de recolección, transporte y almacenamiento, si no que venden el aceite usado al mejor comprador sin saber que pueden estar ocasionando un gran impacto ambiental.

De acuerdo al estudio que se realizo sobre el manejo que se le da al aceite usado en el valle de aburra en estaciones de servicio y servitecas, a un 16% de la

cantidad total (17,238 gal aprox.) se le esta dando un mal manejo y esta generando impactos negativos al medio ambiente.

Actualmente se esta viendo en el valle de aburra como las estaciones de servicio y servitecas mas reconocidas están trabajando en conjunto con empresas expertas y dedicadas en el tema de los aceites usados, debido a este trabajo que se esta desarrollando se observa que cada empresa esta haciendo su contribución para asegurar un manejo no contaminante y una disposición final adecuada de este residuo peligroso. Con lo anterior se esta comenzando a dar ejemplo y a crear conciencia en las estaciones de servicio y servitecas que no piensan en la degradación ambiental que pueden estar generando.

El sistema de recolección que se propone, permite hacer más fácil la labor de recolección del aceite usado, empezando su pretratamiento desde que este residuo sale del vehículo, hasta que se le da una disposición final adecuada; evitando en las estaciones de servicio y servitecas regueros en el piso y acumulaciones de recipientes con este desecho en lugares no adecuados.

Con la adquisición de este sistema no solo se esta haciendo un bien a las estaciones de servicio, las cuales son las directamente relacionadas con el proyecto, también se esta logrando un ahorro de tiempo y dinero en las empresas encargadas del transporte de este residuo ya que la tarea de retirar el aceite usado de estos establecimientos se hace mas sencilla y eficiente, y evita el uso de artefactos que pueden ser incómodos a la hora de operar para el retiro del aceite en las E.D.S.

El sistema de recolección de aceites usados genera una gran cantidad de ventajas para las empresas que se encargan de recuperar el aceite usado, ya que este residuo llega a estas compañías sin residuos sólidos y partículas gruesas, además libre de agua e hidrocarburos ligeros, con lo que se logra una ahorro de dinero que puede contribuir en un alza de utilidades en la compañía.

Con el sistema de recolección de aceites las estaciones de servicio y servitecas van a contribuir con la preservación del medio ambiente ya que se asegura que el aceite usado no va a caer a las alcantarillas o la tierra, sino que por el contrario va a estar almacenado en un lugar adecuado, hasta el momento en que una firma autorizada lo recoja para darle una disposición final adecuada.

## **BIBLIOGRAFÍA**

### **CLÁSICA**

- TEXACO INC. Operación de motores diesel, de dos combustibles y de gas. Edición, Barcelona. España. 1960. p 32
- ESSO. Análisis de aceite usado – su significado. Edición, Chicago Illinois. 1975. p. 1
- STREETER, Víctor L. y WYLIE E: Benjamín. Mecánica de los fluidos. Ciudad de México: Mc Graw Hill, 1990. p 411-417. ISBN 968-451-841-2
- FERDINAND, Beer y RUSSELL, Jhonston. Mecánica vectorial para ingenieros. Ciudad de México: Mc Graw Hill, 1999. p 349-360. ISBN 970-10-1021-3
- FERDINAND, Beer y RUSSELL, Jhonston. Mecánica de materiales. Bogota: Mc Graw Hill, 2001. p 629-682. ISBN 958-600-127-X
- HIBBELER, R. C. Mecánica de materiales. Ciudad de México: Prentice Hall, 1999. p 543-566, 653-700. ISBN 970-17-0121-6
- INCROPERA, Frank y DEWITT, David. Fundamentos de transferencia de calor. Ciudad de México: Prentice Hall, 1999. p 582-619. ISBN 970-17-0170-4
- MOTT, Robert L. Mecánica de fluidos aplicada. Ciudad de México: Prentice Hall, 1996. p 237-288 ISBN 9688805424.
- PERRY, Robert H. Manual del ingeniero químico. Ciudad de México: Mc Graw Hill, 1999. p261.
- COLOMBIA. INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Compendio – tesis y otros trabajos de grado. Bogota DC: Imprelibros S.A., 2005. ISBN 958-9383-07-6.
- NAVARRETE, Jorge. Charla sobre la limpieza de aceites lubricantes usados. Puerto Berrio, 2005.
- BASILEA. ORGANIZACION DE NACIONES UNIDAS. Convención de Basilea, 1992.
- COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPUBLICA. Ley 253 de 1996.
- COLOMBIA. MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Ley 430 de 1997.
- COLOMBIA. MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Resolución 189 de 1994.
- COLOMBIA. MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Resolución 415 de 1998.
- COLOMBIA. MINISTERIO DEL INTERIOR. Decreto 321 de 1999.
- COLOMBIA. MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE Y DEPARTAMENTO TECNICO ADMINISTRATIVO DEL MEDIO AMBIENTE – DAMA. Guía para el montaje y puesta en marcha de una estación de servicio, 1999.
- COLOMBIA. DEPARTAMENTO TECNICO ADMINISTRATIVO DEL MEDIO AMBIENTE – DAMA. Resolución 318 de 2000.
- COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA. Decreto numero 1521 de 1998.
- COLOMBIA. DEPARTAMENTO TÉCNICO ADMINISTRATIVO DEL MEDIO AMBIENTE – DAMA. Resolución 1188 de 2003.
- COLOMBIA. DEPARTAMENTO TÉCNICO ADMINISTRATIVO DEL MEDIO AMBIENTE – DAMA. Resolución 1073 de 2003.
- COLOMBIA. MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Decreto 4741 de 2005.

## INTERNET

### LMV@

Productos químicos LMV. [En línea]. Información sobre la clasificación de aceites para motores diesel y a gasolina [Citado el 17 de enero de 2006]. Disponible en:  
<http://www.lmv.com.ve/preguntas.htm>

### MONOGRAFIAS@

Biodegradación de los aceites usados. [En línea]. Información sobre aceites nuevos y usados, además de su proceso de recuperación y reciclaje. [Citado el 18 de Enero del 2006]. Disponible en:  
<http://www.monografias.com/trabajos17/biodegradacion-aceites/biodegradacion-aceites.shtml>

### TKFSA@

Que se hace con los aceites usados. [En línea]. Información acerca de la composición química de los aceites usados y como manejarlos [Citado el 20 de Febrero del 2006]. Disponible en:  
[www.tkfsa.com.co/descargar.php?id=870&](http://www.tkfsa.com.co/descargar.php?id=870&)

### DAMA@

Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente. [En línea]. Información acerca del manejo de residuos peligrosos a nivel nacional y local [Citado el 14 de Marzo del 2006]. Disponible en:  
<http://www.dama.gov.co>

### METROPOL@

Área Metropolitana del Valle de Aburra. [En línea]. Información acerca del manejo de residuos peligrosos a nivel departamental [Citado el 25 de Marzo del 2006]. Disponible en:  
<http://www.metropol.gov.co/corporativo.php?only=65>

### AUTOESCUELASARIEGO@

Trabajo del aceite de motor. [En línea]. Información acerca de cómo trabaja y se desgasta el aceite para motor [Citado el 27 de Marzo del 2006]. Disponible en:  
<http://www.autescuelasariego.com/mecánica/trabajo%20del%20aceite%20le%20motor.htm>

### EL TIEMPO@

Una gestión ambiental con coraje. [En línea]. Información acerca del nacimiento de la fundación Coraje y su labor en el valle de aburra [Citado el 28 de Marzo del 2006]. Disponible en:  
[http://eltiempo.terra.com.co/ecologia/noticiasecolgicas/ARTICULO-WEB-NOTA\\_INTERIOR-2001488.html](http://eltiempo.terra.com.co/ecologia/noticiasecolgicas/ARTICULO-WEB-NOTA_INTERIOR-2001488.html)

### CORPAUL@

Quiénes somos. [En línea]. Información acerca de Corpaul [Citado el 29 de Marzo del 2006]. Disponible en:  
<http://www.corpaul.com/>

### ESTRUCPLAN@

Alternativas de tratamiento para Aceites Usados. [En línea]. Información sobre maneras posibles de recuperar un aceite usado. [Citado el 11 de Abril del 2006]. Disponible en:  
<http://www.estrucplan.com.ar/contenidos/Residuos/trat.aceites.asp>

# DISEÑO DE UN VEHÍCULO TODOTERRENO MONOPLAZA

**SERGIO PIMIENTA D.**

*spimient@eafit.edu.co*

**JUAN DAVID ÁNGEL T.**

*jangelta@eafit.edu.co*

Departamento de Ingeniería Mecánica

**ÁREA DE ÉNFASIS**

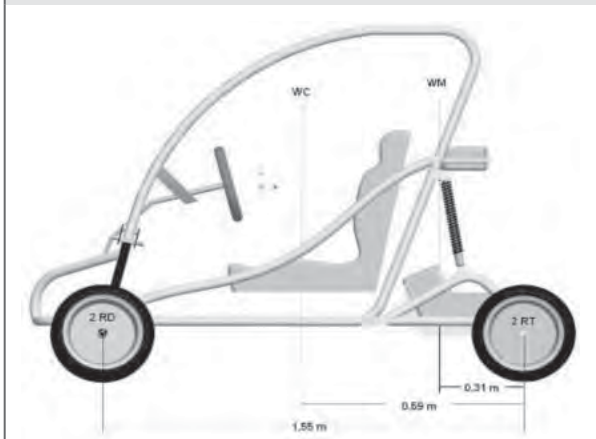
DISEÑO DE SISTEMAS TÉCNICOS –  
DISEÑO MECÁNICO

**ASESOR PRINCIPAL**

ING. ALBERTO RODRÍGUEZ

**BENEFICIADOS**

UNIVERSIDAD EAFIT



## RESUMEN

El presente documento muestra el diseño de un vehículo todoterreno monoplaza, capaz de soportar las fuerzas que generan las masas del conductor y el motor, además de las que se generan en las situaciones de operación.

### ILUSTRACIÓN 1 Producto final



Se desarrolla y presenta para un artefacto su estructura física con sus elementos constitutivos. Se empieza con una lista de requisitos, que luego se verifica su cumplimiento y se continúa con la determinación de la función principal, la estructura de funciones parciales y la estructura organizacional, el dimensionado de flujos, la especificación de partes a comprar y el dimensionado de partes a construir. Todo lo anterior se hace con el fin de realizar un modelo en la fase de materialización.

## PALABRAS CLAVE

Vehículo todoterreno, lista de requisitos, función principal, flujos, modelo.

## ABSTRACT

The present document states the design of an all terrain vehicle, able to support the forces that generate the



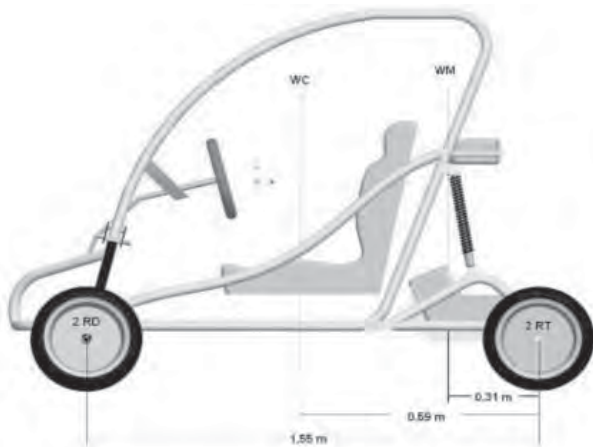
masses of the conductor and the engine, in addition to which is generated in the operation situations.

The physical structure with the constitutive elements of the device are developed and displayed. This begins with a list of requirements, which are then verified to see if they were fulfilled and continues with the determining of the main function, the structure of partial functions and the organizational structure, the flow dimensioning, the specification of parts to buy and dimensioning of parts to construct. All of the above are done in an effort to make a model in the materialization phase.

## KEY WORDS

All terrain vehicle, list of requirements, main function, flow, model.

**ILUSTRACIÓN 2**  
Vista lateral del chasis



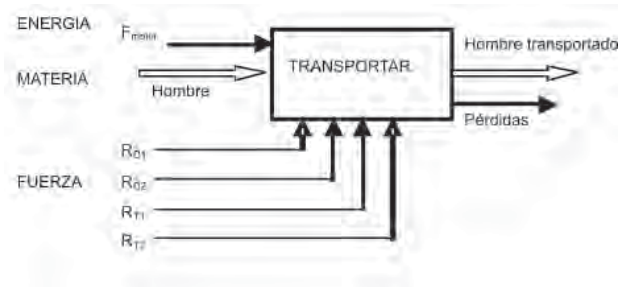
## INTRODUCCIÓN

Este trabajo consiste en diseñar y construir un prototipo funcional de un vehículo todoterreno monoplaza, que se base en toda la parte técnica de cálculos, selección de materiales, planos de fabricación, etcétera, conocimientos éstos adquiridos a lo largo de la carrera, ofreciendo la posibilidad de seleccionar y aprovechar la gran cantidad de partes comerciales de que se disponen en este medio y en consecuencia, buscando la posibilidad de reducir en gran parte los costos que este proyecto conlleva.

## DISEÑO CONCEPTUAL

Se realizó un diseño conceptual convencional, donde se hizo una marcada diferencia entre los flujos existentes, como son: energía, materia y fuerza, para dar cumplimiento a la función principal.

**ILUSTRACIÓN 3**  
Flujo de fuerzas y energía



De la realización de la estructura funcional, surge la necesidad de dividir el vehículo en sistemas, para seguir un proceso de cálculo adecuado y acorde con la ruta que se debe seguir según el diseño conceptual. Queda entonces dividido así:

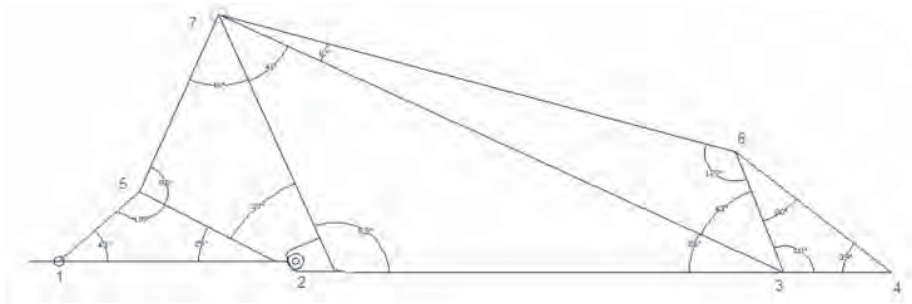
- Sistema de transmisión de potencia.
- Sistema de propulsión.
- Sistema de dirección.
- Chasis.
- Sistema de freno.

Para determinar la forma y el tamaño, se hizo basándose en información acerca de este tipo de vehículos existentes en el mercado, y en conocimientos propios.

Se establece que la estructura más rígida para este tipo de vehículo es una cercha ya que poseen cero grados de libertad, estableciéndose como la más óptima para la estructura requerida la tipo Warren, consistente en tres triángulos principales y adicionando uno más en la parte trasera para lograr la amortiguación deseada.



#### ILUSTRACIÓN 4 Cercha utilizada



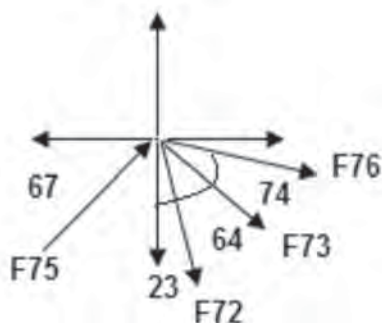
#### CÁLCULOS

Se realizó una secuencia de cálculos muy simple, siguiendo los sistemas propuestos en la fase conceptual, donde se inicia con el dimensionado del sistema de transmisión, utilizando como fuente de movimiento un motor de motocicleta AK100.

Se continuó con el sistema de propulsión y de dirección, para luego iniciar con el chasis.

Se puede observar en la ilustración 4 como es dividida la cercha en nodos, y en la ilustración 5, como se analiza cada nodo con las fuerzas que fluyen a través de la estructura.

#### ILUSTRACIÓN 5 Nodo más cargado



#### MANUFACTURA

La construcción de este vehículo conlleva varios procesos de manufactura, donde el más representativo es el doblado de tubería, ya que es gracias a éste que se logra un aspecto estéticamente agradable.

#### CONCLUSIÓN

Se construyó un vehículo todo terreno resistente, debido al diseño de la estructura principal bajo el principio de una cercha Warren, al factor de seguridad utilizado para el diseño, a la calidad de los materiales y al conocimiento previo de los flujos de energía y funcionamiento de cada una de las partes que conforman al vehículo.

El modelo construido maneja flujos con magnitudes comparables a las estimadas en la parte teórica y cumple satisfactoriamente con la función prometida, haciendo que se satisfaga plenamente con los objetivos propuestos.

## **BIBLIOGRAFIA**

RODRÍGUEZ, Alberto. Artefactos: Diseño Conceptual. Primera Edición. Fondo Editorial Universidad EAFIT. Medellín, Colombia. 2003. ISBN: 970-17-0163-1.

HAMROCK, Bernard J., JACOBSON Bo y SCHMID Steven R. Elementos de Máquinas. Mc Graw Hill. México D.F. 2000. ISBN: 970-10-2799-X.

BEER, Ferdinand P. y JOHNSTON, E. Rusell Jr. Mecánica de Materiales. Mc Graw Hill. Segunda Edición. Bogotá, Colombia. 1993. ISBN: 958-600-127-X.

BEER, Ferdinand P. y JOHNSTON, E. Rusell Jr. Mecánica Vectorial para Ingenieros: Estática. Mc Graw Hill. Sexta Edición. México, D.F. 1997. ISBN: 970-10-1021-3.

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

## **INTERNET**

Buggy @  
Diferentes diseños de vehículos todoterreno monoplaça. [En línea] [Citado el 1 de Febrero de 2006]. Disponible en:  
\_\_\_\_\_ [http://www.edge.au.com/buggies\\_piranha.htm](http://www.edge.au.com/buggies_piranha.htm)

Planos @  
Planos de un buggy para dos personas. [En línea] [Citado el 6 de Marzo de 2006]. Disponible en:  
\_\_\_\_\_ <http://www.sadik.net/gokart/>

# UBICACIÓN DEL NIVEL DE GESTIÓN Y OPERACIÓN DE MANTENIMIENTO CON EL FIN DE DETECTAR OPORTUNIDADES EN UN ESTRATO INDUSTRIAL DEL ÁREA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE MEDELLÍN

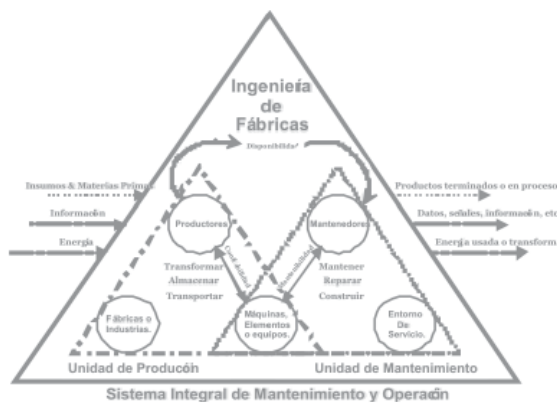
CRISTIAN DAVID JIMÉNEZ VERGARA  
*cjimene7@eafit.edu.co*

ERNESTO JOSÉ DONADO MERCADO  
*edonadom@eafit.edu.co*  
Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS  
MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

ASESOR PRINCIPAL  
DR. LUIS ALBERTO MORA G.

SECTOR BENEFICIADO  
UNIVERSIDAD EAFIT



## RESUMEN

El hombre a través del tiempo es un ser que se esmera por buscar sus propios beneficios, éstos pueden estar representados en alimentos, ropa, conocimiento, dinero. Para lograr sus metas requiere de un trabajo o una fuente generadora de ingresos, si nos detenemos en esta última podemos visualizar a un hombre generador de empresa, el cual requiere de una determinada maquinaria o tecnología para vender un producto o un servicio.

La revolución industrial con el auge de las máquinas, genera en el hombre la necesidad de buscar la manera de preservar su maquinaria y activos con el firme propósito, de mantener en buen estado, confiabilidad y mantenibilidad, de acuerdo a sus necesidades. Además que permita garantizar y mantener la producción o prestación de servicio bajo unas tácticas y estrategias de mantenimiento.

El mantenimiento, al ser una entidad de apoyo a producción juega un rol diferente al que se ha querido interpretar, ya que básicamente al ser una entidad de servicio, su estructura es muy diferente a las de las unidades operativas que generan bienes o servicios; por lo cual sus características son de apoyo y como tal debe manejarse con un enfoque logístico (MORA, 2005,15).

## ABSTRACT

The man through the time is a person who takes risks in the order to look for his own benefits, these can be represented in foods, clothes, knowledge and money. To obtain his goals he requires of a work or a generating source of income, if we stop in this last one we can visualize a bussines man, which requires of a certain machinery or technology to sell a product or a service.

The industrial revolution with the height of the machines, generates in the man the necessity to look for the way to preserve the machinery and the assets with the firm intention, to maintain in a good state, trustworthiness and maintenance, according to its necessities. In

addition that allows to guarantee and to maintain the production or benefit under some tactics and strategies of maintenance.

The maintenance, is an organization of support to production, it plays a different roll from which has been wanted, since basically of being an organization for sevice, its structure is very different from those who are the operative units that generate goods and services thus their characteristics are of support and it must be handled with a logistic approach.

## PALABRAS CLAVES

Mantenimiento, confiabilidad, bienes, servicios, maquinas, enfoque sistémico kantiano.

## KEY WORDS

Maintenance, trustworthiness, services, goods, machine, kantiano systemic approach.

## INTRODUCCIÓN

El mantenimiento es el elemento que comprende a las personas que ofrecen y prestan el servicio de conservación de equipos a los departamentos o empresas que producen bienes o servicios, mediante los recursos de que disponen.

El parque industrial es el conjunto de elementos, equipos o líneas de producción utilizados para la producción de bienes o servicios, constituidos por todos aquellos objetos donde se aplican las acciones de mantenimiento (MORA, 2005, 40).

El trabajo está enfocado en el estudio del nivel de mantenimiento de las empresas de un sector industrial dentro de la zona urbana de la ciudad de Medellín. Además de propiciar un estado del arte que enfoque el estudio dentro de un marco realista sobre la situación actual de dichas empresas, concluyendo de esta manera en cual de los cuatro niveles del mantenimiento según el método kantiano se encuentran dichas empresas.

El proyecto desarrolla los pasos requeridos para realizar el estudio de oportunidades de mantenimiento en empresas de un estrato industrial de la ciudad de Medellín, a demás estará enmarcado bajo una metodología básica, dependiendo el nivel en que se encuentre cada uno de los temas propuestos.

El trabajo se encuentra dividido en cuatro partes. La primera parte está compuesta por el capítulo uno en el cual se realiza la fundamentación teórica del tema, como técnicas y principios básicos.

ILUSTRACIÓN 1  
Niveles de mantenimiento



Fuente: Mora, 2005, 41

La gestión y la aplicación de mantenimiento se basa en cuatro niveles, según el método Kantiano, de la siguiente manera:

### NIVEL INSTRUMENTAL.

El nivel instrumental abarca todos los elementos reales requeridos para que exista mantenimiento en las empresas, procura el manejo sistémico de toda la información construida, requerida en un sistema de mantenimiento en lo referente a las relaciones entre Personas, Recursos Productivos y Máquinas; pertenecen a este grupo todos los registros, documentos, historia, información, codificación, entre otros; en general todo lo que identifica a los equipos, a los recursos de AOD<sup>1</sup> y de

<sup>1</sup> AOD - Aprovechamiento Operación Distribución.

mantenimiento; la administración de la información y su tratamiento estadístico, (MORA, 2005, 41).

### **NIVEL OPERACIONAL.**

El nivel operacional define las acciones humanas, de carácter mental posibles de realizar cuando se está implementando un sistema de gestión de mantenimiento, estas pueden ser del siguiente orden, correctivas, preventivas, predictivas y modificativas. Teniendo en cuenta los conceptos del mantenimiento para cada una.

### **NIVEL TÁCTICO**

El nivel táctico es donde se encuentra el conjunto lógico y armónico de acciones de mantenimiento a realizar, en un caso real a nivel industrial (encontramos distintos métodos o técnicas que se pueden aplicar: TPM, RCM, combinación de los anteriores, proactivo, reactivo, entre otros).

### **NIVEL ESTRATÉGICO**

El nivel estratégico se enfoca entonces en el desarrollo de la metodología científica y aplicada del mantenimiento basada en estudios descriptivos, correlacionales, estadísticos, estocásticos y proyectivos que le permitan al director de mantenimiento llevar un control de la aplicación del mantenimiento, basados en el análisis real y metodológico de la historia de los fallos y las reparaciones con el fin de medir el éxito y la rentabilidad alcanzados en su caso particular.

Los actores principales de la ingeniería de fábricas, se presentan en la siguiente ilustración, los elementos superpuestos de las dos funciones básicas. El sistema integrado permite visualizar que los tres elementos o actores principales en un sistema de ingeniería de fábricas son : los mantenedores, los productores y las máquinas; de esta forma se pueden establecer las primeras leyes de mantenimiento, donde el sistema kantiano permite establecer que la relación entre Producción y Máquinas está gobernada por la confiabilidad, la correspondencia entre Mantenimiento está estipulada por la mantenibilidad.

La relación Mantenimiento-Máquina-Producción está definida por la disponibilidad que es el efecto integrado de la ingeniería de fábricas, donde se marca como el efecto o parámetro más relevante del sistema.

**ILUSTRACIÓN 2**  
**Sistema Integrado de Ingeniería de Fábricas.**  
**Mantenimiento-Máquinas-Producción**



Fuente: Mora, 2005, 39.

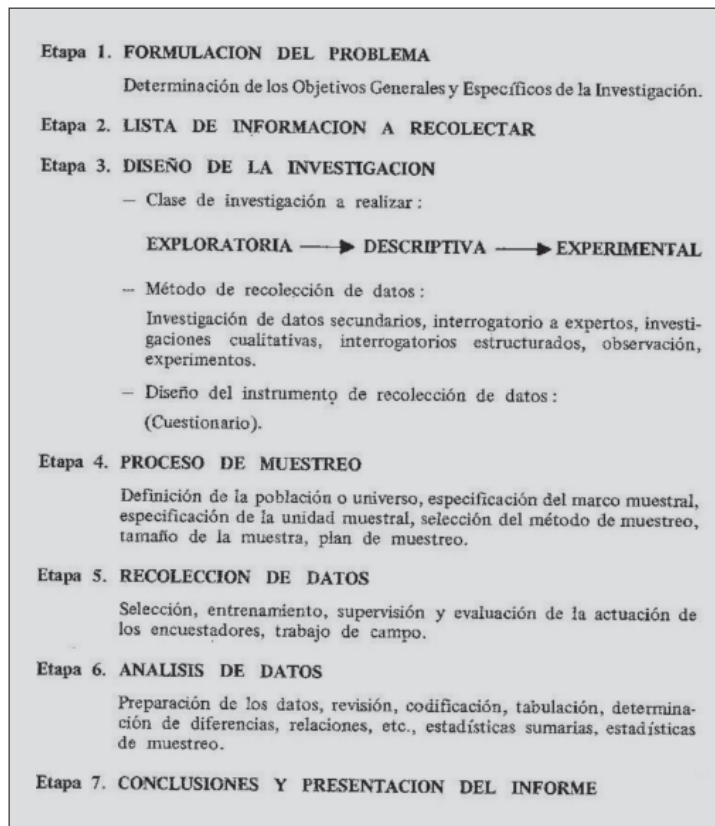
La segunda parte consta de los capítulos dos y tres; en ésta se diseña el instrumento que nos permite valorar, bajo el enfoque sistémico Kantiano los niveles de mantenimiento, a demás se establece el universo empresarial a los cuales se les aplicara el instrumento de medición. Al final del tercer capítulo se obtendrán los resultados de este proceso.

El investigador debe seguir una serie de procesos en forma ordenada para poder cumplir la metodología científica.

Formulación del problema. En esta fase se definen muy claramente: el objetivo principal, los objetivos generales y los específicos, es decir, las principales tareas que la investigación deberá acometer en materia de producción de información.

Lista de información a recolectar: Con los objetivos bien definidos, el investigador procederá a interpretarlos en términos de la información que cada uno de ellos demande; con el fin de satisfacer todos y cada uno de los objetivos propuestos.

### ILUSTRACIÓN 3 El proceso de la investigación



Fuente: Cabrejos, 1989, 34

Diseño de la investigación. El diseño de la investigación es un plan en donde se especifica la clase de investigación que va a realizarse, los métodos y procedimientos apropiados y económicos que se seguirán para la recolección de los datos.

Clase de investigación a realizar. en este paso se debe seleccionar entre investigación de tipo exploratoria, descriptiva o concluyente; dependiendo de las necesidades requeridas como del objetivo de la investigación, la forma de aplicación, el campo que se investiga, la aplicabilidad de cada una y sus bondades, se optará por una o varias, en las distintas fases.

Método de recolección de datos. Es importante destacar que los métodos de recolección de datos, se puede definir como: al medio a través del cual el investigador

se relaciona con los participantes para obtener la información necesaria que le permita lograr los objetivos de la investigación (Francry@, 2004).

La primera base de datos que hace parte del universo, se selecciona a partir del C.I.I.U. mediante análisis de todos los sectores que lo conforman y se extractan los códigos que aplican mejor a la investigación de acuerdo a los criterios antes mencionados. La selección<sup>2</sup> se hizo con el aporte y la asesoría de funcionarios de la Cámara de Comercio de Medellín, con la colaboración de expertos en los temas de mantenimiento.

<sup>2</sup> Proceso por medio del cual se tomaron sólo trescientas veinte y ocho (328) empresas de un número más grande de todo el C.I.I.U. de la Cámara de Comercio de Medellín.



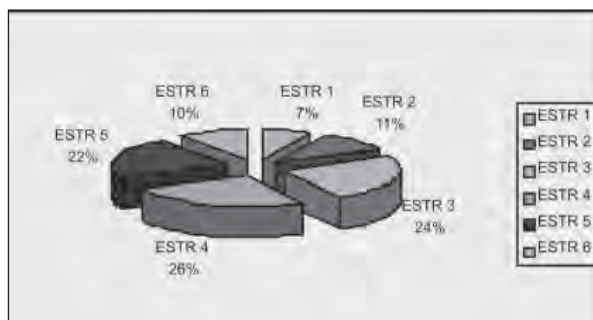
La segunda base de datos se conforma a partir del listado de empresas donde trabajan actualmente los profesionales egresados en ingeniería mecánica e ingeniería de producción de la Universidad EAFIT (Escuela de Administración y Finanzas Técnicas) campus Medellín, y es administrada por la Corporación Amigos de la Universidad EAFIT, al igual que en la base número 1, se aplican criterios de selección de

La tercera parte está compuesta por los capítulos cuarto y quinto, donde se hace una evaluación de la situación actual sobre el nivel de desarrollo de mantenimiento de cada una de las empresas seleccionadas tendiendo en cuenta su estrato. Para concluir esta tercera parte se realizara un análisis en forma cruzada y correlacional de los resultados.

El análisis que se realiza en esta sección corresponde a visualizar el comportamiento de cada uno de los estratos conformados de acuerdo a las respuestas obtenidas al aplicarles las variables de corte. El procedimiento a seguir es analizar cada uno de los estratos y observar su conducta en la implementación de técnicas de mantenimiento.

La siguiente Gráfica muestra la porción que ocupa cada uno de los estratos de la muestra seleccionada.

**ILUSTRACIÓN 4**  
Representación de cada estrato dentro de la muestra



La cuarta parte se encuentra constituida por el capítulo sexto, en donde se concluyen los resultados más importantes encontrados durante la investigación.

## CONCLUSIONES

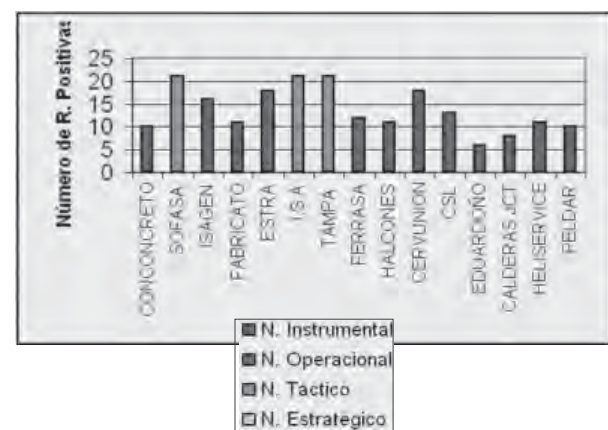
La tendencia de las empresas según los resultados de la encuesta que se aplica sobre las variables de corte, es agruparse en empresas que están en un proceso de implementación de técnicas de mantenimiento, es decir, se encuentran dentro del nivel instrumental y operacional, en los cuales se concentra alrededor del 70% de la muestra seleccionada, como lo muestra la siguiente tabla con los estratos tres, cuatro y cinco.

**TABLA 1**  
Representación de los estratos en la muestra

ESTRATO	N° EMPRESAS	%
ESTRATO 1	10	6,54%
ESTRATO 2	17	11,11%
ESTRATO 3	36	23,53%
ESTRATO 4	41	26,80%
ESTRATO 5	34	22,22%
ESTRATO 6	15	9,80%
<b>TOTAL</b>	<b>153</b>	<b>100%</b>

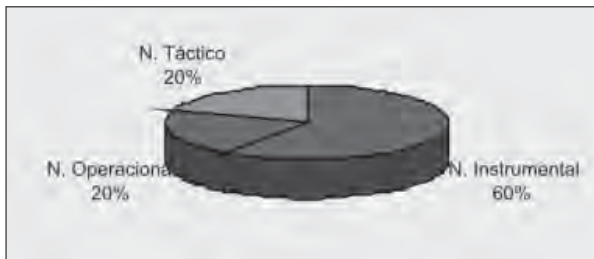
La siguiente ilustración define en que nivel se encuentra cada una de las empresas que conforman el estrato seis. Para efectos de la ilustración se usa un color para diferenciar cada nivel.

**ILUSTRACIÓN 5**  
Gráfica de las empresas por niveles de mantenimiento del estrato seis



El sesenta por ciento (60%) de las empresas según los conceptos mencionados en el capítulo uno (1), pertenecen al nivel instrumental ya que son empresas que se encuentran en una etapa de implementación de los instrumentos básicos e instrumentos avanzados.

**ILUSTRACIÓN 6**  
**Representación de los niveles de mantenimiento en el estrato seis**



Las empresas restantes representan el cuarenta por ciento (40%) del estrato en estudio y este porcentaje se encuentra repartido en dos partes uniformes, las cuales corresponden al nivel operacional y al nivel táctico. Estas compañías son aquellas que utilizan todas las acciones posibles para realizar un mantenimiento eficaz y aplican aquellas otras que son para casos específicos, como lo son el TPM, RCM y la combinación de estas.

## **BIBLIOGRAFÍA**

### **CLÁSICA**

BLALOCK, Hubert M. – Social Statistics Editorial McGraw-Hill Book Company Inc. – U.S.A. 1960

BLUMAN, Allan G - Elementary Statistics: A Step By Step Approach - McGraw Hill – Boston – USA –1998 - ISBN: 0256269106.

BOYD Harper W.- Westfall, Ralph.- Stach, Stanley F. - Investigación de Mercados. - Cuarta reimpresión. Editorial Noriega Limusa - México - México. - 1993.

CABREJOS, Belisario - Investigación de mercadeo - Segunda edición - Centro de publicaciones EAFIT – Medellín – Colombia - 1989. ISBN: 9041-19-1.

DE MIGUEL Fernández, Enrique – Introducción a la Gestión “Management” - Volumen I y II Departamento de Organización de Empresas, Economía Financiera y Contabilidad. – E.T.S.I. Industriales. Universidad Politécnica de Valencia – Valencia – España – 1993.

DÍAZ MATALOBOS, Ángel - Confiabilidad en mantenimiento - Ediciones IESA –Caracas – Venezuela - 1992 - 127p.

DYANE, Miguel Santesmases – Diseño y Analisis de Encuestas en investigación Social y de Mercados – Version 2 – España – 2001 – ISBN : 84-368-1557-2

GALLARGO, Yolanda - MORENO, Adonay - Analisis de la información - Serie Aprender a Investigar - Arfo Editores Ltda - Bogotá, Colombia, 1999.

KELLY, A. - Harris M -Gestión del mantenimiento industrial - Fundación Repsol Publicaciones – Madrid – España – 1998 - 153p - ISBN: 8492350601.

KINNEAR, Thomás C - TAYLOR, James R - Marketing Research And Applied Approach - McGraw Hill - New York – USA – 1989 - ISBN: 0070347417

LEVIN, Jack - Fundamentos Estadísticos en la investigación social - Harla, S.A - Segunda edición - México D.F – México - 1979.

LUIS M, Luís Alberto Mora. Selección y jerarquización de las variables importantes para la gestión de mantenimiento en empresas usuarias o generadoras de tecnologías avanzadas. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica De Valencia, España. 1999.

MORA, Luís Alberto - Mantenimiento estratégico para empresas de servicio y/o procesos industriales – Medellín – Colombia – 2005 – ISBN: 9583382183.

MORROW, L.C - Manual de mantenimiento industrial - Editorial Continental México - México D.F – México - Tomo II - 1985 – 605 p - ISBN: 0735487653.

PARDINAS, Felipe – Metodología y técnicas de la investigación en ciencias sociales – Edit. Siglo XX – Buenos Aires – Argentina – 1969.

PATTON, Joseph D. Jr - Preventive Maintenance -The International Society for Measurement and Control - Instrument Society of America - Segunda Edición – USA – 1995 - ISBN: 1-55617-533-7.

RIOS, Sixto - Análisis estadístico aplicado - Editorial Paraninfo – Madrid – España - 1972.

SANTESMASES – Miguel - Investigación social y de mercados - Software DYANE – Madrid - España, 1997. Santesmases Mestre, Miguel – DYANE 2 Diseño y análisis de encuestas en investigación social y de mercados – Ediciones Pirámide – Grupo Editorial Anaya – Madrid – España – 2001 – ISBN: 84-368-1557-2

TULL, Donald S. - Hawkins, Del I. – Marketing Research: Meaning, Measurement and Method. Editorial Macmillan Publishing Co. Inc. – U.S.A. – 1976 pp. 303

VENKATESAN, Ravi – ¿ Strategic Sourcing: to make or no to make ? - Revista Harvard Business Review Referencia 92 610 - U.S.A. – 1992 pp. complete.

## INTERNET

Confiabilidad@, 2005.

Confiabilidad, Mantenimiento, Reliability y Confiabilidad – RCM. [En línea] [Citado el 24 de Septiembre de 2005]. Disponible en: [http://www.solomantenimiento.com/m\\_confiabilidad\\_crm.htm](http://www.solomantenimiento.com/m_confiabilidad_crm.htm)

Fisterra@, 2001

Fisterra, Metodología de la investigación-distribución normal. [En línea] [Citado el 12 de mayo de 2006]. Disponible en: [http://www.fisterra.com/mbe/investigacion\\_distr\\_normal/distr\\_normal.htm](http://www.fisterra.com/mbe/investigacion_distr_normal/distr_normal.htm)

Francry@, 2004

Francry, Francry Maigualida Manrique. Métodos de recolección de datos. [En línea] [Citado el 10 Marzo de 2006]. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos18/recoleccion-de-datos/recoleccion-de-datos.shtml>

Fujitsu@, 2004

Servicios de mantenimiento. [En línea] [Citado el 4 de marzo de 2005]. Disponible en: <http://es.fujitsu.com/>

Jauregui@, 2000

Jáuregui, Alejandro. Elementos básicos en metodología de investigación de mercados. [En línea] [Citado el 8 de Marzo de 2006]. Disponible en: <http://www.gestiopolis.com/canales/demarketing/articulos/24/7meinvt.htm>

Javisan, Javier Sanchez. Correlacion lineal y regresion. [En línea] [Citado el 8 de Marzo de 2006]. Disponible en: [http://web.usal.es/~javisan/hidro/practicas/Correlacion\\_explicacion.pdf](http://web.usal.es/~javisan/hidro/practicas/Correlacion_explicacion.pdf)

Mantenibilidad@, 2005

Mantenibilidad, Mantenibilidad y Sistema. [En línea] [Citado el 24 de Septiembre de 2005]. Disponible en: <http://encyclopedie-es.snyke.com/articles/mantenibilidad.html>.

Marilyn@, 2003

Marilyn, Bernal. Los estudios de mercados, una necesidad para las organizaciones. [En línea] [Citado el 12 de Marzo de 2006]. Disponible en: <http://www.ilustrados.com/publicaciones/EpyZlkZVpLzfsXLCO.php>

Molina@,2002

Mantenimiento y seguridad industrial. [En línea] [Citado el 20 de Septiembre de 2005]. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos15/mantenimiento-industrial/mantenimiento-industrial.shtml>

Predictiva@, 2005

Predictiva, Mantenimiento industrial predictivo. [En línea] [Citado el 21 de Septiembre de 2005]. Disponible en: <http://www.mantenimiento-predictivo.com/index.htm>

Richard@, 1999

Richard, Richard Wild, Conceptos básicos en la investigación de mercados. [En línea] [Citado el 7 Marzo de 2006]. Disponible en: <http://www.gestiopolis.com/recursos/documentos/fulldocs/mar/conbasimuch.pdf>

Rigoberto@, 2004

Mantenimiento industrial. [En línea] [Citado el 21 de Septiembre de 2005]. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos22/mantenimientoindustrial/mantenimiento-industrial.shtml>

Rofriguez@, 2000

Rodriguez, Jorge. Análisis estadístico. [En línea] [Citado el 17 de Septiembre de 2005]. Disponible en: <http://www.medal.org.ar/stadhelp/00009.ht>

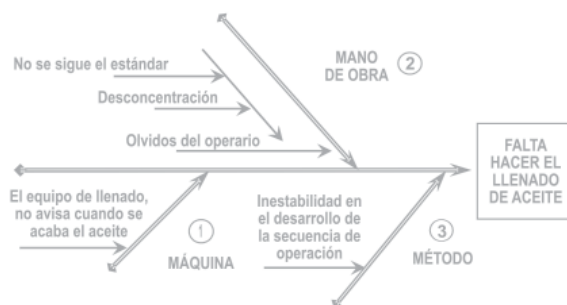
# INSTALACIÓN DE POKA YOKE EN LA LINEA DE TOYOTA SOFASA PARA LLENADO DE ACEITE DE TRANSMISIÓN Y DIFERENCIAL

SEBASTIÁN VASQUEZ POSADA  
svasquez@eafit.edu.co  
Departamento de ingeniería Mecánica

AREA DE ÉNFASIS  
PROYECTOS

ASESOR PRINCIPAL  
JUAN DAVID JARAMILLO HAMID

EMPRESA



## GLOSARIO

**ACOTADOR:** Persona calificada para inspeccionar los vehículos.

**CHASIS:** Zona de ensamble Toyota en la cual se montan las piezas pesadas, como motor, diferenciales, tubería de frenos y tanque de gasolina.

**CKD:** Piezas importadas desde los centro de distribución de las casa matrices.

**FINAL:** Zona de ensamble Toyota en la cual se montan las piezas exteriores del vehículo, como por ejemplo los romper, la cojinería y el llenado de líquidos.

**HABITÁCULO:** Parte interior del vehículo donde van los pasajeros.

**KAIZEN:** Metodología Japonesa que permite resolver los problemas y trabajar en el mejoramiento continuo.

**RU:** Responsable de unidad, es la persona encargada de manejar los operarios.

**TRIM:** Zona del área de ensamble Toyota en la cual se inicia el montaje de las piezas, en está zona se monta los guarnecidos, cableados y piezas que van en el interior de la cabina.

## RESUMEN

Como proyecto de empresa y trabajo de grado se realizó una evaluación e implementación de un sistema antierror (Poka-Yoke) en la Línea de ensamble Toyota SOFASA, para garantizar en un

100% el llenado manual de aceites en los vehículos Prado tanto en los diferenciales traseros y delanteros, como en la caja y transfer.

Se comenzó con un estudio detallado de las necesidades para poder garantizar las operaciones identificando las causas del problema, luego surgió la necesidad

de implementar un sistema electrónico que garantice la operación, el cual no fue aprobado debido a su alto costo, por medio de cambios en la línea y la utilización de componentes ya existentes, se redujeron los costos convirtiendo éste en un proyecto viable.

Se utilizó la metodología Kaizen para dar solución a este problema y aportar al mejoramiento continuo, minimizando los costos de la implementación del sistema en un 50%.

## **INTRODUCCIÓN**

El desarrollo de organizaciones realmente competitivas en el plano mundial por su nivel de calidad y atención al cliente, requiere cierta plataforma cultural que se encuentre en la posición de aplicar métodos y conceptos de las diferentes disciplinas que estructuran a una empresa exitosa.

Los cambios en la política comercial y económica basados en el principio de la globalización obligan, como sociedad a ser más competentes, para lo cual es necesario contar con una mayor cantidad de conocimientos, decidir con más información, usar tecnologías más avanzadas tanto de proceso como de comunicación, así como muchas otras habilidades específicas que nunca se terminarían de enumerar.

Todo esto requiere un constante cambio, en el desarrollo de otra cultura social, empresarial y de trabajo, pues cada vez con mayor frecuencia se hace inminente el aprendizaje de nuevos conceptos y el desarrollo de nuevas habilidades.

Así, la instalación y montaje de un sistema Poka Yoke en la línea de ensamble Toyota para garantizar el llenado de aceite de transmisión y diferencial de los vehículos de la compañía SOFASA, ubicada en la ciudad de Envigado (Antioquia), constituyen un reto empresarial para el mejoramiento continuo, la competitividad y la calidad.

De esta manera, es importante hacer un análisis de la situación actual de cada uno de los procesos que se llevan a cabo, partiendo de la información existente y

de una evaluación de las características y variables que regulan el proceso. De ahí que el manejo y control efectivo de la información sea de vital importancia en el logro de este ambicioso objetivo de implementar este nuevo sistema.

Por esta razón, SOFASA, específicamente en su negocio de Ensamblar Vehículos de la marca Renault y Toyota, busca en primera instancia, implementar un sistema de medición y control para reestructurar su proceso que actualmente es manual que depende del operario y por lo tanto la probabilidad de error es muy alta.

Así, se busca tener un sistema de integración de la información que abarque las áreas de Producción, Calidad y Logística, que sea ágil, ordenado, medible y por lo tanto controlable por medio del área de producción, para que el aceite sea suministrado por parte de logística en el momento que sea requerido, producción garantice que todos los vehículos tengan aceite y la medida correcta y calidad no tenga que preocuparse más por el problema, logrando de esta manera cumplir con la calidad de los productos y garantizar que el cliente esté satisfecho con su vehículo.

## **OBJETIVOS**

### **GENERAL**

Implementar un sistema Poka Yoke en la línea de ensamble Toyota para evitar que se cometan errores en el llenado de aceite de transmisión, diferencial y transfer de los vehículos.

### **ESPECÍFICOS**

- a. Analizar las condiciones actuales del proceso de llenado de aceites de transmisión, diferencial y transfer.
- b. Definir el sistema mas apropiado, para la implementación del Poka Yoke.
- c. Evaluar técnica y económicamente la viabilidad de implementar el sistema Poka Yoke según los



requerimientos de SOFASA y analizar como se pueden disminuir los costos, mejorar y optimizar los procesos, con el fin de evaluar las ventajas y desventajas que esto acarrearía para la Compañía.

## **METODOLOGÍA**

La metodología utilizada para desarrollar el proyecto, es la metodología Japonesa kaizen, fue desarrollada por Toyota y es muy utilizada en Sofasa, permite resolver los problemas de una forma rápida y eficiente. La metodología consta de los siguientes pasos:

**Selección del problema:** es la razón por la cual se selecciono el tema, con frecuencia los temas se determinan de acuerdo con políticas gerenciales o dependen de la prioridad, importancia, urgencia o aspecto económico de las actuales circunstancias.

**Situación actual:** Antes de iniciar el proyecto, deben comprenderse y revisarse las condiciones actuales, una de las formas de realizar esto es recolectando datos.

**Razones de selección:** Se determina el porque es importante la solución del problema.

**Análisis de causas:** Se determinan la causas que generan el problema, por lo general se utiliza una espina para subdividir los problemas por las 5 M, y luego se utilizan los 5 porque o causa efecto.

**Establecer contramedidas:** se definen soluciones a los problemas y por lo general se atacan directamente a las causas definidas en la espina de pescado.

**Estandarización:** se debe estandarizar las contramedidas y los logros con el fin de sostener el sistema en el tiempo y evitar la reaparición de estos.

## **SITUACIÓN ACTUAL**

Para el análisis de este problema es importante conocer el proceso de fabricación, específicamente el proceso de llenado de aceites en la línea de ensamble vehículos Toyota.

## **RAZONES DE SELECCIÓN**

Para SOFASA es muy importante trabajar en el mejoramiento continuo de la calidad, es por esto que cada día se buscan alternativas mas sofisticadas que contribuyen al buen desempeño de las actividades de los trabajadores, en este caso es primordial para la compañía implementar un sistema que sea totalmente seguro y garantice en un 100% el proceso de llenado de aceite en los vehículos Toyota, esto por las siguientes razones

El defecto afecta el funcionamiento del vehiculo

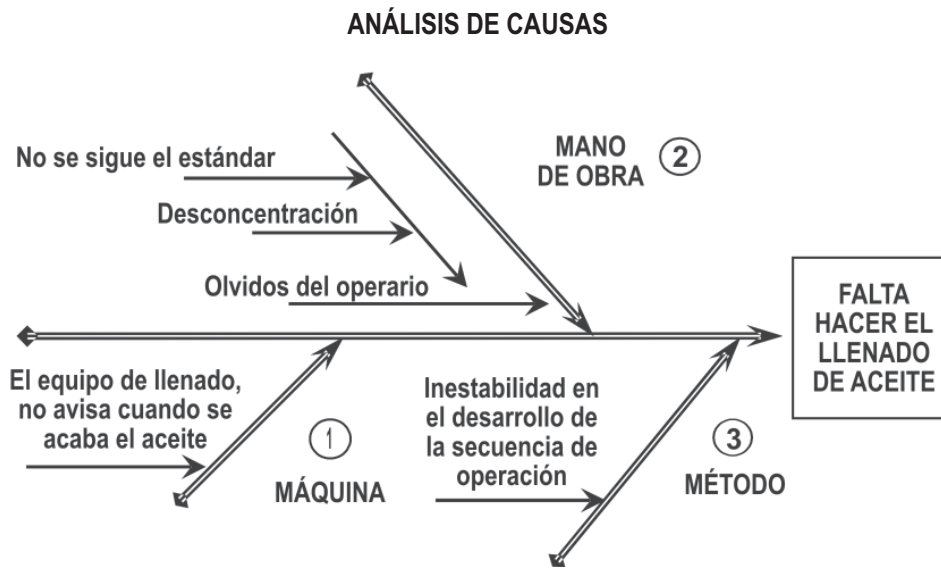
El defecto genera “varada” del vehículo entre 0 y 50 Km, además tiene riesgo de volcamiento en caso de alta velocidad, ya que los piñones cónicos del diferencial sufren un aumento de temperatura por causa de la fricción generada por la falta de aceite, este aumento de temperatura puede soldar las piezas entre si generando un bloqueo de las ruedas.

Los altos costos de reparación que son asumidos por la compañía, Se han presentado 4 casos en la postventa en el 2005 y 2 caso en 2006, y las acciones desarrolladas no han surtido los efectos esperados.

Los piñones de los diferenciales y de la caja no soportan la fricción y se revientan.

## **ANÁLISIS DE CAUSAS**

Según la metodología Kaizen el paso siguiente es analizar las causas del problema y para esto se utilizó la herramienta causa efecto y de los cinco porque, utilizada en TPM que garantiza un excelente análisis a un problema, llegando así a la siguiente espina de pescado.



### MÁQUINA

El equipo del llenado no es confiable, ya que no avisa cuando se acaba el aceite, por lo tanto mientras el operario efectúa el llenado, el aceite que se surte desde una caneca se puede acabar y como la manguera esta dentro de la pieza el operario no se da cuenta y puede enviar un vehículo sin haber realizado el llenado o un llenado incompleto.

Los tanques de aceite no permiten visualizar el contenido real que se encuentra dentro de este

### MANO DE OBRA

El operario tiene una Tack-Time en el puesto de trabajo, esto implica que el tiempo para realizar un estándar está conformado por los tiempos de cada operación, si el operario se distrae y se demora mas realizando otra actividad se le puede olvidar la operación del llenado, esta es una debilidad de cualquier proceso manual, ya que si el operario no realizó la operación simplemente por que sufre un descuido, esta enfermo, o se le olvido ,el proceso como esta diseñado le permite continuar con sus operaciones sin percatarse del error, para citar un ejemplo suponga que el operario genera un defecto, cuando va a ser retroalimentado y le muestran el problema, inmediatamente la angustia o la preocupación le genera una distracción que hace que se le olvide

la secuencia que llevaba, dejando así un carro con la cantidad de volumen de aceite no especificado.

### MÉTODO

El proceso de llenado de diferencial delantero no es el mas adecuado, ya que se realiza en una mesa externa a la línea y se efectúa por lotes de 5 vehículos, el operario debe realizar otros procesos debido a la variabilidad de la mezcla (Prado SUMO, Prado 5 puertas mecánica , Prado 5 puertas automática y 6 versiones del camión Delta, por lo tanto como los vehículos delta ya traen suministrado el aceite, en el momento que pasa por la línea uno de estos, el operario debe dirigirse a otro lugar mas alejado en el cual subensambla unas piezas del chasis de este mismo vehículo.

Esto hace que el operario esté en lugares diferentes o tenga que dejar trenes del lote sin llenado e ir a realizar las otras operaciones, por lo tanto cuando regresa ya pudo haber olvidado en que parte del proceso había dejado el lote y puede generar el defecto.

### LAS CONTRAMEDIDAS NO HAN DADO RESULTADO

Por ser un proceso manual, se han buscado diferentes alternativas para solucionar el problema, como ejemplo, el operario debe poner aceite por fuera del tornillo para

que se vea que si realizo el llenado, también se ha exigido al operario colocar una "pinta" con un marcador de tinta indeleble, y ninguna de estas contramedidas ha dado resultado.

Afecta la buena imagen de la marca Toyota es reconocida mundialmente por la calidad de sus vehículos lo que la ha llevado, entre otras razones a ser la segunda empresa automotriz (a nivel de ventas) en el mundo. Una de sus premisas es la seguridad del cliente fundamentada en la garantía que tiene el vehículo después de salir del concesionario, la compañía basa todos sus esfuerzos en tener un cliente totalmente satisfecho

Es un defecto de seguridad y reglamentación.

Los defectos de seguridad y reglamentación A, se definen como los defectos que pueden ocasionar un accidente grave o que atenten contra las leyes del estado y pueden ser juzgados, un defecto de seguridad por ejemplo es que los pernos de la ruedas no tengan el torque especificado o que la cojineria presente juego, y los defectos de reglamentación son por ejemplo que el motor no cumpla con las especificaciones en la emisión de gases

Con esta nueva definición del proyecto se solicita una nueva cotización a los proveedores VMA e Hidromecánica (ver anexo 2 y 3), las cuales se resumen en el siguiente cuadro comparativo.

CARACTERÍSTICA	HIDROMECAÁNICA		VMA	
A prueba de error del operario	El operario selecciona el tipo de llenado.	NOK.	Se realiza por código de barras	OK
100% de los vehículos	El operario puede olvidar hacer la operación sobre un vehículo	NOK.	Cuenta con sensor de chasis	OK
Reconocimiento del llenado	Una sirena informa si el llenado tiene problemas	OK	Un sticker se imprime cuando todos los llenados están OK	OK
Aviso de final de caneca	Sensor de final de caneca	OK.	Aunque el llenado se asegura por el sensor volumétrico	NOK
Precio	Cada llenado aproximada/ \$ 10 millones. (\$ 30 Millones)		Los 3 llenados por aprox. \$ 29 millones	

Para tomar la decisión de que proveedor seleccionar se evaluaron las dos propuestas de acuerdo a las características definidas como mas importantes por el grupo de trabajo ver tabla anterior.

El Cambio entonces consiste en descartar el llenado de dirección asistida y solo concentrarse en diferencial delantero, diferencial trasero, caja y transfer, por lo tanto se inicia un estudio el cual consistió en evaluar las diferentes alternativas

## CONTRAMEDIDAS

Las contramedidas que se plantearon para resolver el problema atacan directamente las causas de éste, estas fueron trabajadas por un grupo interdisciplinario del departamento de ensamble, y se fueron madurando con las reuniones que se desarrollaron una vez a la semana desde el mes de Mayo del 2006. Para definir estas contramedidas el grupo utilizó la herramienta de lluvia de ideas donde cada uno de los participantes, dado a su experiencia y conocimiento del problema, proponen las posibles soluciones.

Para disminuir los costos el grupo se planteo los siguientes interrogantes.

- ¿Es posible utilizar componentes de los sistemas actuales?.
- ¿Es posible utilizar un PLC para varios llenados por ejemplo tren delantero y tren trasero?
- ¿Es imprescindible el sistema en los 5 llenados?

que permitieran reducir los costos del material, ya que los puestos están muy distantes entre si y el cableado seria muy costoso, se buscan varias opciones y se concluye que la mas factible es traer el llenado de diferencial trasero que se realiza en Final hacia el puesto de Chasis, donde se realiza el llenado de diferencial delantero, con la buena organización de las piezas a montar y de los estándares modificados por parte de los RU del SPR (ver anexo 4), se logran poner los dos puestos de llenado (diferencial delantero y trasero) en un mismo lugar, permitiendo así reducir los costos porque solo se utilizo un PLC y no dos como se había cotizado inicialmente, lo mismo ocurre con el transfer y caja, todo esto permite llegar a una especificación de 2 PLC, conectados entre si para asi verificar que los llenados en los dos puestos se realizaron a cabalidad.

## ESPECIFICACIÓN DEL SISTEMA

Después de realizar los cambios se definió entonces la especificación del sistema a instalar.

## INTERFASE OPERADOR

Interfase operador Touch screen, con salida para puerto serial 232C y salida puerto bar code para conexión de lector PLC mediano marca Omron modular con las siguientes componentes El PLC mediante una señal electrónica le indica al controlador el volumen de aceite que pasa a través de él y este último dosifica la cantidad precisa de aceite para el componente en el proceso de llenado.

El PLC debe dar una señal de advertencia, indicando que el proceso no se realizó correctamente si no se han hecho los llenados, es decir, cualquier sea la causa por la cual se omita o se deje de hacer un llenado, el sistema avisará la anomalía y ésta deberá ser solucionada o tenida en cuenta para poder continuar el proceso.

También se solicitó que el PLC muestre cuanto aceite tiene la caneca, el operario puede visualizar el volumen y estar atento al cambio, el PLC también avisa en caso de que no halla aceite y detiene el flujo de este Módulo

fuelle CPU con modulo de 8 entradas de 10 a 24 VDC Modulo 16 salidas rele.

Nota: Equipo de última generación con posibilidad de integrar módulos Ethernet y seriales requeridos en comunicación.

Medidor de Sofasa, se instala modulo especial para manejo fuente 12 VDC sensor.

Sensor inductivo instalado en la cadena para informar que esta en posición el chasis para alimentarlo con aceite y tomar lectura del modelo para auto calibración.

Se instalaran dos micros de este tipo con el fin de enviar la señal al PLC la entrada y salida de cada puesto, el micro estará ubicado en la parte inferior de la línea Modulo comunicación 232 para integrar impresora serial. Módulos conversos 232C a 422 para comunicar las dos estaciones.

Las pistolas lectores de código de barras deben ser utilizadas por el mismo operario que realiza los llenados, las pistolas autorizan e indican al PLC el tipo de vehículo a inspeccionar.

También se implemento en conjunto con el área de informática un sistema automático el cual consiste en una impresora que imprime un código de barras cuando el vehículo es notificado, este sticker es pegado en el chasis y cuando el vehículo entra en zona de llenado de aceite diferencial delantero y trasero es detectado por un sensor el cual da la entrada al PLC, el operario de este puesto detecta el código con una pistola y automáticamente el PLC activa la cantidad de volumen requerido para el tipo de vehículo, el operario realiza el llenado y el sensor de salida activa el PLC para verificar si ya se realizó el llenado de la forma correcta, en caso de que el PLC encuentre un error, se activa una alarma en la cual se reporta al operario la anomalía, en el otro puesto de llenado (Caja y Transfer ocurre lo mismo), otro PLC espera la entrada del chasis a la zona y el sensor activa el sistema, el operario lee el código con la pistola la cual registra y avisa al PLC el tipo de vehículo, este programa espera la señal de salida del sensor, luego los

PLC se comunican entre si y verifican el correcto llenado de los cuatro componentes, estos datos son impresos para ser verificados por parte de calidad.

## **OPERACIÓN E IMPLEMENTACION GENERAL**

Es de gran importancia para poder cumplir con los objetivos y garantizar que el trabajo este claro, explicar como quedo el sistema después de su implementación, además de explicar como fue el montaje de este, para ello se explicara de una forma breve el funcionamiento y el montaje de este.

## **CÓMO FUNCIONA EL SISTEMA**

El proceso inicia con la notificación del chasis en el cual se corrobora la entrada del vehículo a la línea, se imprime un sticker con las especificaciones y es pegado al mismo, esto permite diferenciar los modelos.

El sticker tiene un código de barras el cual es leído cuando el chasis entra al primer puesto de llenado (llenado de diferencial delantero y trasero), de esta forma el sensor de entrada detecta el chasis y el operario chequea con la pistola el código de barras, el sistema entonces define automáticamente cuanto aceite debe enviar y autoriza el llenado, luego al pasar el chasis por el sensor de salida se envía una señal al sistema, el cual confirma el llenado de la manera correcta y en el tiempo indicado, si no es así debe avisar por medio de una alarma, para que el RU desbloquee el sistema y verifique lo sucedido.

Después el chasis entra al segundo puesto de llenado en el cual otro sensor le avisa al sistema la entrada del vehículo, en este puesto se realiza el llenado de transfer y caja y por lo tanto el sistema organiza el volumen indicado apoyándose en los datos leídos por la pistola, después de realizarse la operación, el sistema evalúa el tiempo y el correcto llenado apoyándose en el sensor de salida, en caso de alguna falla da aviso por medio de una alarma. Este llenado funciona totalmente igual que el anterior, ya que se utiliza otro PLC en una pluma, con una única diferencia, el volumen de aceite, además estos dos PLC se conectan entre si por medio

de red y así verificar que los 4 llenados se realizaron satisfactoriamente para luego imprimir la notificación que posteriormente revisara calidad.

## **IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA**

Para la instalación del sistema se construyo una pluma la cual permitió realizar los llenados de diferencial delantero y trasero a bordo de línea.

Esta implementación se realizo con el cambio de enganche, se organizo el estándar de manera que los tiempos permitieran realizar la operación de llenado diferencial trasero en este lugar. Como el sistema nuevo también tiene la posibilidad de funcionamiento manual, fue ubicado en el mismo lugar del sistema anterior pero luego y después de realizar ensayos por una semana, se organizo de una forma mas cómoda para el operario, con la pantalla hacia él, además como ya el sistema funcionaba de una forma correcta se quito el sistema que había anteriormente que estaba por si había algún problema.

Luego en conjunto con el área de informática, se programo el sistema SAP de manera que se pudiera imprimir los sticker cuando se notificara el chasis, se instalo una impresora que fue donada a la línea por parte del departamento de informática, esta implementación no tubo ningún tipo de problema.

## **CONCLUSIONES**

El sistema implementado garantizara que todos los vehículos Toyota tengan el aceite y en la cantidad especificada bajo cualquier circunstancia.

El análisis de los puestos de trabajo y el movimiento posterior de estos permitió reducir de una forma considerable los costos del Poka Yoke, volviéndolo viable.

El análisis económico que partió del ahorro que se tendrá a futuro ya que los carros nunca mas se volverán a dañar, permitió justificar el retorno de la inversión.

Los sistemas de producción cada día se vuelven más exigentes con la calidad y el costo. Es por eso que es necesario evaluar sistemas automáticos que garanticen los procesos los cuales pueden ser costosos pero muchas veces se libran en muy poco tiempo y acaban con problemas que generan pérdidas inmanejables, como en este caso la imagen de la marca Toyota.

Con lo desarrollado en este trabajo se abre un camino en la empresa a la implementación de sistemas Poka Yoke que ayuden a disminuir los problemas de calidad en las líneas de producción.

Según la metodología Kaizen, todo proceso siempre será susceptible de mejora. En la ejecución de este proyecto se pudo observar como utilizando esta metodología se puede, inclusive, lograr disminuciones importantes de costos en la implementación de sistemas electrónicos.

Los sistemas Poka Yoke garantizan la calidad desde el puesto de trabajo, esto permite eliminar todos los procesos de verificación de calidad ganando eficiencia, además se eliminan los costos de reprocesos para recuperar los defectos.

Una de las labores de la ingeniería es desarrollar sistemas que mejoren los procesos de manufactura, los Poka Yoke contribuyen a facilitar las labores de los operarios y mejorar los puestos de trabajo logrando así productividad y calidad.

La metodología Kaizen contribuye a la ingeniería, ya que permite resolver los problemas de una manera más simple y eficiente.

El mercado automotriz cada día se vuelve más exigente en términos de calidad, costo y plazo. Por esta razón la implementación de sistemas de Poka Yoke es de gran importancia dado que elimina la posibilidad de defectos graves, que dependen del riesgo de error de un operario y pueden afectar la imagen de la marca.

Los sistemas que implican inversión de tecnología en muchas ocasiones nos generan temores por el costo y manejo. Con la implementación de este Poka Yoke se demuestra que analizando y estudiando a fondo este tipo de sistemas se puede llegar a soluciones, en muchas ocasiones, mas efectivas y económicas.



# SISTEMA INMOVILIZADOR VEHICULAR VÍA UHF

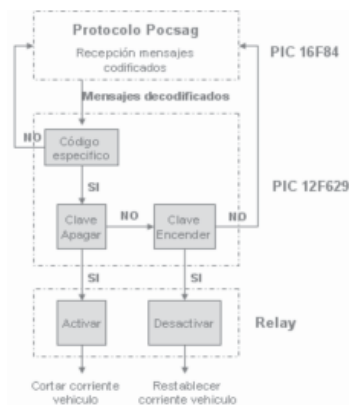
CAMILO LÓPEZ HURTADO  
[clopezhu@eafit.edu.co](mailto:clopezhu@eafit.edu.co)

PEDRO BUITRAGO BUSTAMANTE  
[pbuitrag@eafit.edu.c](mailto:pbuitrag@eafit.edu.c)  
Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS  
DISEÑO DE SISTEMAS TÉCNICOS

ASESOR PRINCIPAL  
ALEJANDRO LÓPEZ HURTADO

SECTOR BENEFICIADO  
UNIVERSIDAD EAFIT



## RESUMEN

Este artículo presenta una nueva manera de aprovechar el sistema de transmisión de mensajes a través de frecuencias UHF (beeper), una tecnología existente desde hace varios años y actualmente considerada por muchos como obsoleta. Mediante unos sencillos pasos explicativos se ilustra este método de transmisión de información, el funcionamiento del beeper y la forma en que puede utilizarse para un fin determinado, en este caso como inmovilizador vehicular.

## ABSTRACT

The following paper illustrates a new way to take advantage of the Ultra High Frequency (UHF) message transmission technology (beeper system), developed several years ago and nowadays viewed by many people as obsolete. Through simple explanatory steps, the article describes the functioning of this method for the transmission of information, the beeper operation system and the way in which it can be used for a specific purpose, namely, as a car immobilizer.

## PALABRAS CLAVES

Beeper, Microcontrolador. UHF (Frecuencia Ultra Alta), Transmisión, Dispositivos

## KEY WORDS

Pager, Microcontroller, UHF (Ultra High Frequency), Transmission, Devices.

## TECNOLOGÍA YA EXISTENTE CON GRAN POTENCIAL DE APLICACIONES

La tecnología de transmisión de información vía frecuencia UHF se ha utilizado desde hace muchos años para telecomunicaciones, fines industriales y comerciales.

Una de las formas más utilizadas desde hace unas décadas, es la transmisión de mensajes alfanuméricos para la comunicación remota entre personas (beepers).

Este sistema data de los años 70, cuando fue creado por Motorota, el cual permitía a los usuarios recibir mensajes desde una central telefónica. Con este desarrollo Motorola revolucionó la forma de comunicación entre personas y abrió diferentes puertas para la explotación o utilización de esta tecnología (Afford@, 2000).

## CONOCIENDO EL FUNCIONAMIENTO DE LA TECNOLOGÍA DE TRANSMISIÓN DE MENSAJES VÍA UHF

La tecnología de transmisión de información vía frecuencia UHF es un medio confiable que puede ser

utilizado fácilmente si se posee toda la infraestructura necesaria para esto.

Para poder utilizar esta tecnología adecuadamente, fue necesario conocerla a fondo e identificar su estructura básica de funcionamiento. Para la transmisión de mensajes se necesitan básicamente los siguientes componentes: central telefónica, controlador o decodificador, una red de transmisión y finalmente los dispositivos receptores (beepers) (Ver Figura 1).

**FIGURA 1**  
**Diagrama de bloques del sistema para envío de mensajes**



Para un mejor entendimiento de este proceso, a continuación se listan los componentes básicos y su función principal en cada uno de las etapas del proceso.

1. La central telefónica es la encargada de recibir las llamadas de los usuarios y enviar el mensaje al controlador. La recepción de los mensajes puede hacerse ya sea por un computador o una persona capacitada. Esta persona es la encargada de contestar el teléfono y recibir los datos del beeper, el código y el mensaje. La persona encargada digita estos datos en el computador para poder ser procesados mas adelante por el controlador. Los mensajes generados pueden ser numéricos o alfanuméricos, dependiendo del servicio que preste la compañía de beepers.

2 y 3. Luego de recibir la solicitud para enviar un mensaje, el controlador recibe y codifica el mensaje, para poder ser enviado a la red de transmisión. El controlador utiliza un codificador especial, el cual convierte la información enviada por la central y la empaqueta utilizando el protocolo POCSAG<sup>1</sup>. Este tipo de codificación fue inventada en los años 20 por el departamento de correos de Londres para su servicio interno. Este código es especial para este tipo de tecnología e indispensable para el funcionamiento del sistema beeper. (Braddy, 2005).

4 y 5. La red de transmisión se encarga de recibir la información empaquetada y reenviarla a través de las antenas repetidoras a toda el área de cobertura. La cobertura y penetración de la señal son un factor importante en el momento de enviar y recibir un mensaje. Las antenas repetidoras siempre deben ir ubicadas estratégicamente para ampliar el

<sup>1</sup> POCSAG: Acrónimo de Post Office Code Standardization Advisory Group lo que traduce Grupo Consejero de Estandarización de Códigos de la Oficina de Correos

alcance de la señal, entre más altas estén, más alcance visual tendrán. En el área metropolitana la ubicación más común para estos dispositivos son los cerros Padre Amaya, las Palmas y Monte Albornia.

La potencia de las antenas repetidoras es otro factor crucial para la penetración de la señal. Si la antena no tiene la suficiente potencia, el beeper no podrá recibir el mensaje, o lo recibirá incompleto, más aún si está ubicado en sitios remotos, ocultos o que tengan materiales que se interpongan en la comunicación como edificios o garajes subterráneos.

La retroalimentación se realiza a través de la red de transmisión, esto con el fin de que los técnicos puedan verificar remotamente el buen estado y correcto funcionamiento de las antenas.

6. Después de haber sido enviada la señal, el pequeño receptor (beeper) es el encargado de avisarle al portador que un mensaje ha ingresado a éste. El mensaje enviado por una central telefónica, es recibido por todos los beepers que estén afiliados a ésta, y el encargado de identificarlo es el propio beeper. Cada beeper está programado de forma tal que sólo alerte al usuario cuando ingresa un mensaje con su código.

Todos los beepers poseen una pequeña antena receptora la cual es llamada antena RX. Esta antena es preparada o calibrada con un cristal para que solo permita recibir la información que viaje a la frecuencia con que trabaja la empresa prestadora del servicio.

De esta manera funcionan todas las centrales de envío de mensaje vía beeper con sus respectivos componentes.

## **UTILIZANDO UNA TECNOLOGÍA EXISTENTE PARA ACTUAR DISPOSITIVOS REMOTOS**

El óptimo desempeño de este tipo de tecnología permite que sea utilizada para otros fines diferentes a la transmisión de mensajes o de comunicación entre personas. El fácil manejo de la información y la efectividad y velocidad de la señal, hacen que esta

tecnología pueda ser manipulada fácilmente para aplicaciones específicas.

Para poder utilizar esta tecnología fue necesario conocer el funcionamiento interno del beeper, identificar el componente clave para poder recibir la señal era indispensable. Para esto se utilizó un beeper al cual se le enviaban señales con un monitor de servicio a una frecuencia específica.

Después de muchos ensayos, se determinó que el dispositivo clave para extraer la señal y poder ser utilizada era la antena RX. Esta antena es fabricada por Motorola y se consigue en el mercado internacional fácilmente (Motorola@, 2006).

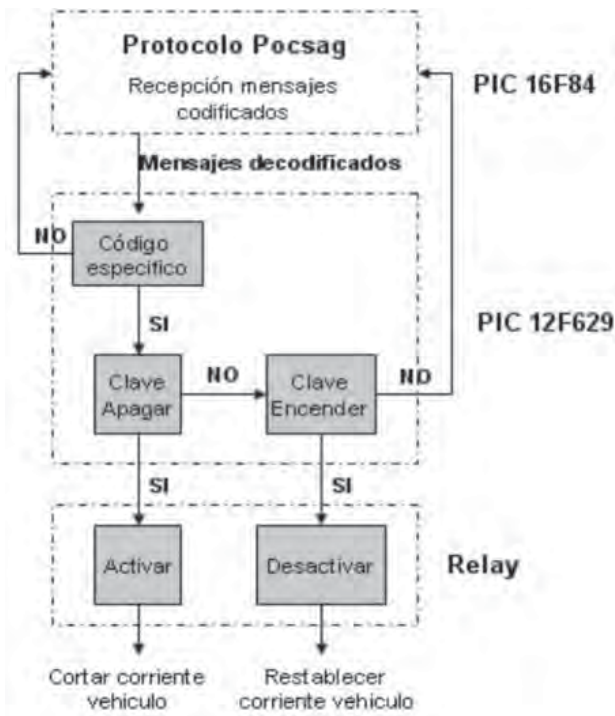
Este pequeño dispositivo es utilizado en todos los beepers del mundo y tiene la función de recibir la información que circula a una frecuencia específica. Cada una de estas antenas RX es calibrada adecuadamente con el fin de aumentar su capacidad de recepción de información.

Para poder utilizar la RX sola, sin el cuerpo del beeper, se debe utilizar un microcontrolador que permita decodificar y extraer la información proveniente. La señal que recibe la RX está codificada en sistema POCSAG, y es necesario contar con un programa especializado para poder leerla y utilizarla fácilmente. Para la decodificación de esta señal se utilizó un programa decodificador grabado en un microcontrolador (PIC 16F84), el cual permite finalmente desempaquetar el código POCSAG y entregar caracteres numéricos o alfanuméricos, iguales a los que son enviados desde la central telefónica.

Este microcontrolador debe suministrar la información para poder ser utilizada por otro microcontrolador (PIC 12F629). Este segundo microcontrolador es el encargado de recibir la señal, identificar que el código sea el programado y enviar la señal para actuar el dispositivo.

Como se muestra en la figura (ver Figura 2) el microcontrolador PIC 12F629 utiliza una secuencia lógica para identificar el código exacto y poder enviar la orden al Relay de encendido o apagado del dispositivo.

**FIGURA 2**  
**Diagrama de bloques modulo inmovilizador**



Como paso final se utilizó un Relay que será el encargado de cortar el paso de la corriente hacia el vehículo, o en sentido contrario, será el que permitirá el paso de esta para poder ser encendido.

De esta manera se puede utilizar este dispositivo para operar cualquier otro artefacto que se encuentre en un lugar remoto o que tenga difícil acceso.

## CONCLUSIONES

Por su buena cobertura y su ágil respuesta la tecnología de las radiofrecuencias puede tener muchas más aplicaciones para facilitar el control de artefactos remotos, algunas de ellas pueden ser:

- Actuación de puertas en locales o bodegas comerciales.
- Control de sistemas de riego e iluminación en sembrados y plantaciones.
- Encendido o apagado de electrodomésticos caseros o equipos de oficina.

Para utilizar satisfactoriamente este sistema de transmisión de información (vía beeper) es necesario contar con una antena receptora (Motorola RX) acompañada de un protocolo decodificador de señal, en este caso el protocolo Pocsag.

El dispositivo utilizado en este proyecto tiene la suficiente rapidez y efectividad para ser utilizado en dispositivos de seguridad que demanden estas características.

## BIBLIOGRAFÍA

Afford@

Historia de las telecomunicaciones en el mundo. La invención y lanzamiento del beeper en el medio. Estados Unidos, 2000. Disponible en Internet en:  
<http://www.affordablephones.net/pager.htm>

Braddye@

Página sobre el uso de las radio comunicaciones. Aplicaciones y usos frecuentes. Estados Unidos. Disponible en Internet en:  
<http://www.braddye.com/spocsag.html>

MOTOROLA. Advisor Message Receiver. Motorola, Inc. Paging Products Group, USA. [Citado el 17 de Octubre 2006]. Disponible en Internet en:  
<https://depts.washington.edu/uwmcdir/guides/advisor.pdf>

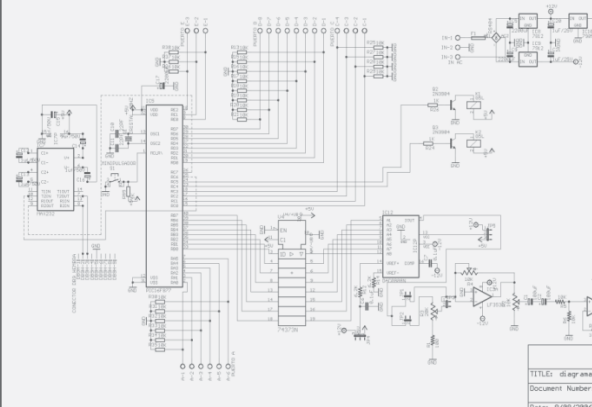
# DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN AUDIÓMETRO

JOSÉ MARÍA VÉLEZ R.  
*jvelezr1@eafit.edu.co*  
Departamento de ingeniería mecánica

ÁREA DE ENFASIS  
ÁREA DE MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

ASESOR PRINCIPAL  
ING. IVÁN DARÍO ARANGO

SECTOR BENEFICIADO  
CAMPO MÉDICO Y SALUD OCUPACIONAL



## RESUMEN

El propósito de este proyecto es documentar el diseño y la construcción de un audiómetro controlado por computador por medio de una interfaz gráfica. Un audiómetro es un aparato que se utiliza para revisar la calidad de audición que tiene una persona. El proyecto detalla los aspectos físicos, médicos, informáticos y electrónicos, que fueron tomados en cuenta para su desarrollo.

Se anexa los planos para la elaboración del circuito impreso en Eagle®, y los programas de control, desarrollado en Labview® y para el microcontrolador desarrollado en Mplab®.

## PALABRAS CLAVES

Audiómetro, electrónica, medicina, microcontroladores, envío de datos y sistematización.

## ABSTRACT

The purpose of this report is to document the design and implementation of an audiometer controlled by computer using a graphic interface. Audiometers are typically used to evaluate the audition of people. The project details the physical, medical, computer and electronic aspects, which were taken in account for the development. The planes are annexed for the making of the printed circuit in Eagle® and the programs of control developed in Labview® and for the microcontroller developed in Mplab®.

## KEY WORDS

Audiometer, electronics, medicine, microcontrollers, data send and systematization.

## INTRODUCCIÓN

Este proyecto es financiado por el laboratorio de Mecatrónica, y pretende evolucionar hacia el área de productos que puedan ser fabricados por el laboratorio y ofrecerlos al medio colombiano una vez se encuentre un producto óptimo.

El computador puede reemplazar a muchos de los instrumentos que tenemos en el laboratorio y que son indispensables en la prueba de circuitos como el osciloscopio. Se puede decir que las posibilidades del computador agregando un pequeño hardware que lo complementa, son casi ilimitadas, además de servir como herramienta de diseño y simulación, también puede ser utilizado como instrumento en el campo médico. Dentro de este gran campo, se encuentran los audiómetros y más específicamente los que son controlados por ordenador (audiómetros microprocesadores). El rasgo básico de un audiómetro de este tipo es que puede programarse para presentar tonos puros a niveles de presión sonora específicos; el sujeto responde o no a estos niveles específicos, se ajusta el nivel de audición de la siguiente presentación de la señal, hacia arriba o hacia abajo, dependiendo de la respuesta del sujeto o la ausencia de la misma.

## SITUACIÓN ACTUAL

Los médicos otorrinolaringólogos y técnicos auditivos del país y principalmente los que trabajan en la ciudad de Medellín, cuentan con unos equipos de audiometría muy costosos y con un soporte técnico muy reducido, en su gran mayoría. Por éste motivo se ha estado analizando la forma de poder adquirir unos más baratos y con buen soporte técnico para realizar su calibración y mantenimiento.

## FUNDAMENTOS FÍSICOS

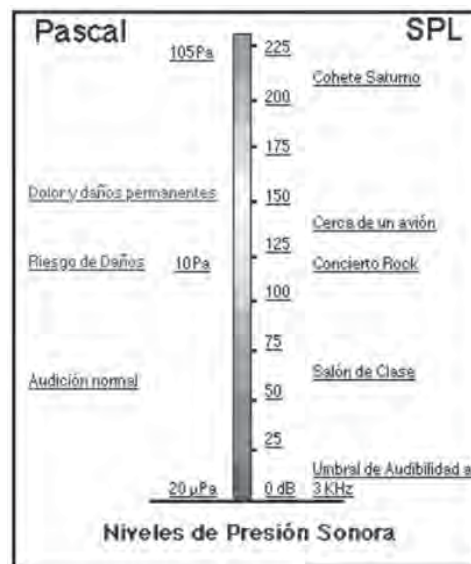
Suponiendo un medio aéreo (el normal para los seres humanos), el sonido está originado por cualquier perturbación en la presión atmosférica. Esta oscilación se propaga por el aire en lo que denominamos una onda

acústica. La velocidad de propagación de las ondas acústicas depende en gran medida de las características del medio en que se transmiten. En las películas hemos visto como pegando el oído a la vía del tren se percibe más claramente, y antes, su llegada que si esperamos a oírlo por el aire.

**FRECUENCIA.** Cuando una onda de presión sonora pasa por el proceso de compresión – rarefacción se dice que ha completado un ciclo de movimiento o vibración. El número de ciclos o vibraciones que realiza una onda de presión sonora en un lapso de tiempo de un segundo, es lo que se conoce con el nombre de frecuencia y ésta es una característica física del sonido que se mide en Hertcios.

**AMPLITUD.** Es la cantidad de moléculas desplazadas por una onda y depende de la intensidad de la vibración. A mayor intensidad mayor será el número de moléculas desplazadas. La cantidad de moléculas desplazadas determina, por tanto, el tamaño de la onda, que es lo que se conoce con el nombre de Amplitud. Esta característica física del sonido está asociada subjetivamente con la percepción de su volumen.

**ILUSTRACIÓN 1**  
Niveles de presión sonora que el oído humano percibe





## FUNCIONAMIENTO DEL OIDO

Las ondas sonoras son inducidas mecánicamente por vibraciones que se propagan como ondas de presión por el medio ambiente circundante, sea este gaseoso, líquido o sólido. Son percibidas por el oído que es un mecano receptor especializado. Las vibraciones registradas de este modo (ondas sonoras) son modificadas en el sistema de conducción antes de llegar a los receptores auditivos, las células ciliadas del órgano de Corti. La

etapa de procesamiento neural, en la cual se producen las diversas sensaciones auditivas, se encuentra ubicada en el cerebro. Así pues, se pueden distinguir dos regiones o partes del sistema auditivo: la región periférica, en la cual los estímulos sonoros conservan su carácter original de ondas mecánicas hasta el momento de su conversión en señales electroquímicas, y la región central, en la cual se transforman dichas señales en sensaciones.

**ILUSTRACIÓN 2**  
**El funcionamiento del oído**



## AUDIOMETRÍA

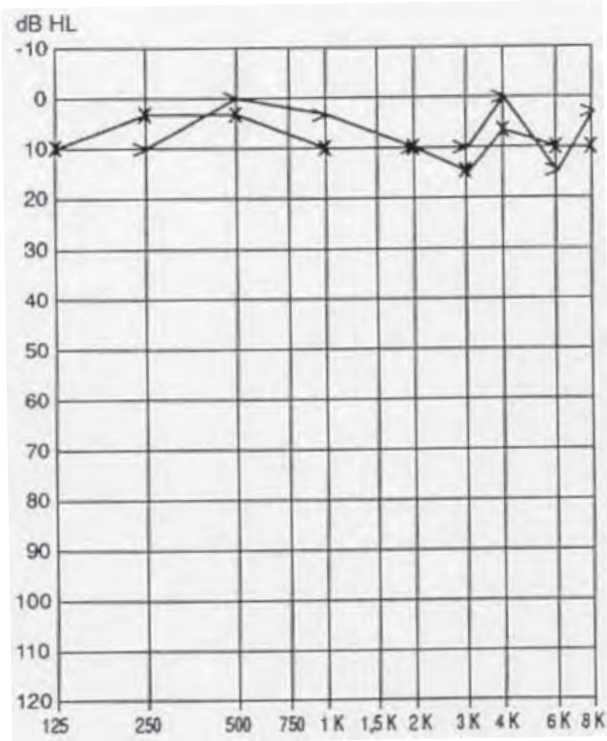
Una audiometría de tono puro compara la audición de la persona que está siendo examinada con un criterio 0 dB como referencia de nivel de audición.

En la industria, la sensibilidad auditiva se examina para las frecuencias que van desde 125 hasta 8000 Hz. Se pueden evaluar algunas frecuencias seleccionadas dentro de este rango.

Los resultados de estas pruebas se registran en un audiograma, que permite un informe y una interpretación fácil y precisa del estado de la audición del sujeto, frecuencia a frecuencia en cada oído, mediante la comparación con el nivel de audición 0 dB. En la industria, los exámenes audiométricos requeridos suelen limitarse a la conducción aérea, proceso en el cual el sonido viaja a través del aire del canal externo del oído hasta el oído interno. Si existe limitación auditiva, serán necesarias más pruebas.

### ILUSTRACIÓN 3

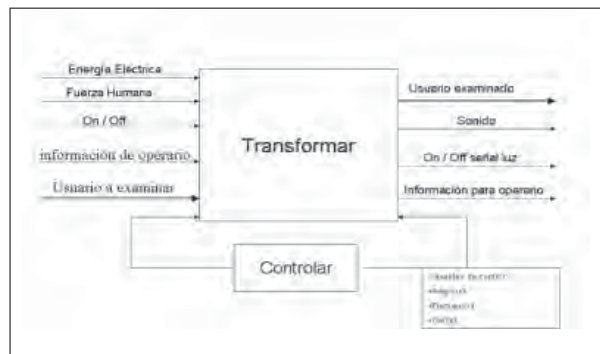
#### Audiometría de una persona con audición normal



### DESARROLLO DEL SISTEMA

El flujo del sistema muestra las entradas: energía eléctrica a 110V de corriente alterna, fuerza humana de la persona encargada de manipularlo y usuario a examinar. También las salidas: Usuario examinado, resultado del examen, luz indicadora de funcionamiento e información para el operario.

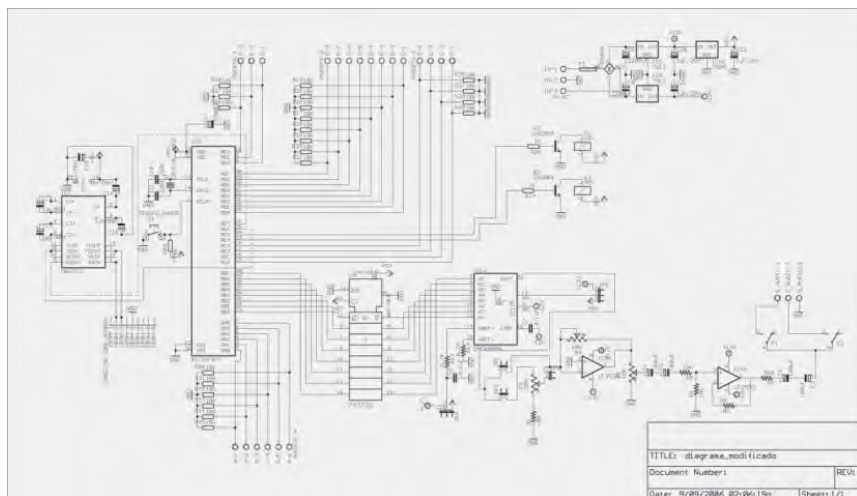
### ILUSTRACIÓN 4 Flujos del sistema



### DISEÑO DEL AUDIÓMETRO

Se necesita transformar la información enviada por el computador; que es una señal digital con valores de  $\pm 12$  voltios, a una señal también digital pero de 0 y 5 voltios que es la utilizada por el microcontrolador. Para esto se utiliza un circuito integrado MAX232. El microcontrolador se encarga de almacenar dos tipos de datos; las instrucciones, que corresponden al programa que se ejecuta, y los registros, es decir, los datos que el usuario maneja, así como registros especiales para el control de las diferentes funciones.

### ILUSTRACIÓN 5 Diagrama plano electrónico



Se utiliza un PIC 16F877A. La señal saliente de este va al convertor digital análogo, desarrollado alrededor de un DAC0808 quien transforma, como su nombre lo dice, señales digitales (PIC) a señales análogas (tono puro). Al final de esto se monta un amplificador diferencial encargado de amplificar ésta última señal.

Cada uno de estos circuitos integrados va montado según la aplicación típica de su data sheet y con los componentes complementarios que requiera (resistencias, condensadores, etc...).

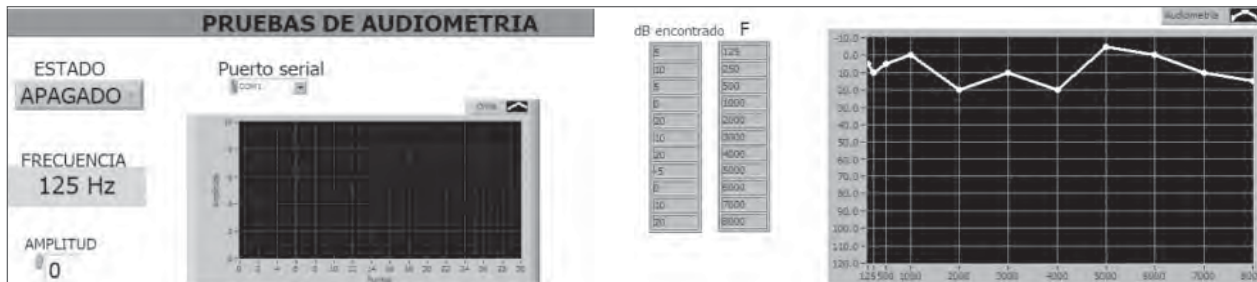
La fuente de alimentación transforma a  $\pm 12$  y 5 voltios, la corriente alterna a 110 voltios tomada de cualquier enchufe común de casa u oficina.

Todos estos componentes son ensamblados en un circuito impreso que contiene todas las conexiones necesarias entre ellos y que es diseñado en Eagle®.

## SOFTWARE LABVIEW

Se desarrollo el software "Pruebas de audiometría v1.0", que permite al operario seleccionar la frecuencia y amplitud deseada y enviarlo al puerto serial del PC.

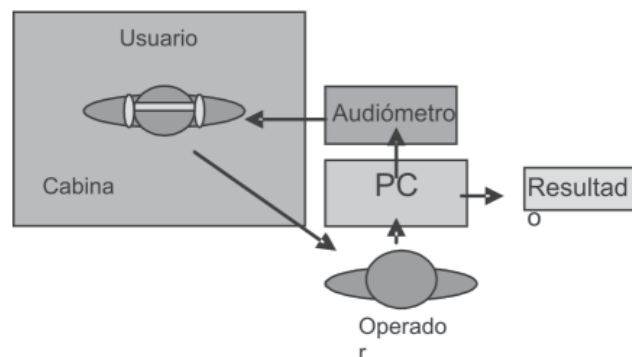
**ILUSTRACIÓN 6**  
Panel frontal Labview



## FUNCIONAMIENTO

El estado permite seleccionar entre hacer funcionar el canal para el oído izquierdo, derecho, ambos o ninguno. La amplitud está en decibelios y va de 0 a 100 con incrementos de 5. La frecuencia permite seleccionar entre 11 posibilidades que van desde los 125 Hz hasta los 8000 Hz. El comando puerto serial permite seleccionar por cual de los puertos seriales del PC se va a mandar la información al audiómetro.

**ILUSTRACIÓN 7**  
Esquema examen



## VÍAS DE DESARROLLO

El artefacto permite realizar pruebas audiométricas por vía aérea, el paso a seguir es que también permita utilizar un transductor para hacerlo por vía ósea.

Algunos audiómetros del mercado permiten enviar un sonido de enmascaramiento al oído que no se está analizando, ya que se ha comprobado que a veces se puede escuchar por este lo que se envía al otro, alterando el resultado del examen.

Someter el prototipo a personal calificado en el aspecto médico, con el fin que ellos realicen todos los pruebas que tienen acostumbradas, dando su veredicto y generando una nueva lista de requerimientos que lo retroalimenten.

## CONCLUSIONES

La invalidez auditiva conlleva grandes implicaciones sociales, más cuando se tiene en mente la importancia de la comunicación humana, en el desarrollo integral de un individuo, así como mantener la interacción con su comunidad. La persona con deficiencia auditiva es capaz de codificar y articular las palabras con eficiencia, pero no de recibirla, por lo que el proceso está anulado o reducido, limitando el desarrollo de la persona.

En la actualidad no existe tratamiento médico satisfactorio que restablezca la condición normal de audición, de aquí la importancia que adquiere la capacitación de las personas que trabajan en ambientes de alta contaminación sonora, para que protejan sus oídos y eviten tener que llegar a utilizar prótesis auditiva, que es la única forma de recuperar en cierto porcentaje la audición.

No será nada raro que dentro de algunos años sea obligatorio verificar la audición a todo el mundo, cada cierta cantidad de años, para intentar mejorar el estado auditivo de la población. Gran parte de los niños que no avanzan en sus estudios lo deben a problemas auditivos, si a esto añadimos la cantidad de gente que no puede desempeñarse en la vida como es debido por

su deficiente audición, vemos que la audiometría es muy importante, y que todavía le queda un camino muy grande por recorrer.

## BIBLIOGRAFÍA

GONZALO De, Sebastián. Audiología práctica. 5º ed. Madrid España. Editorial Panamericana, 1999. 262p. ISBN 8479035153.

HARRIS, Cyril. Manual de medidas acústicas y control del ruido. España Editorial McGraw-Hill / Interamericana, 1995 ISBN 8448116194

MOMPIN, José. Manual de alta fidelidad y sonido profesional. 2ª ed. Editorial Marcombo. España. Pags 9-25 ISBN 84-267-0542-1

ARANGO, Ramiro. Generador de funciones con PC. Colombia CEKIT. Año 1, # 5. Pags 10-15.

PÉREZ, Clara. Electrónica analógica integrada. Editorial servio de publicaciones. 1993 ISBN 84-7721-197-3

## INTERNET

MIYARA, Federico. Conversores D/A y A/D. 2ª ed. [Online]. Rosario Argentina. 2004 43p. [Citado 4 de Mayo, 2006]  
<http://www.fceia.ur.edu.ar/enica3/da-ad.pdf>

AUDIO EQUIPOS LTDA. Audioequipos. [Online]. Colombia.. Empresario.com.co, 2006. [Citado 11 de octubre, 2006] <http://www.empresario.com.co/audioequipos/01audiologia.html>

Psicoacústica [Online]. Mexico.. Rincondelvago, 2004. [Citado 4 de Mayo, 2006]  
[http://apuntes.rincondelvago.com/psicoacustica\\_oido.html](http://apuntes.rincondelvago.com/psicoacustica_oido.html)

FERNÁNDEZ, Maria Cecilia. Sonido. [Online]. Argentina.. Agora Tv, 2006. [Citado 15 de agosto, 2006]  
<http://www.revolutionvideo.org/agoratv/formacion/sonido.html>

# ESTUDIO DEL MATERIAL PARA FABRICAR UN RECIPIENTE A PRESIÓN A TRAVÉS DE SOFTWARE CAD/CAM/CAE

**SERGIO DURÁN ROJAS**  
*sduranro@eafit.edu.co*

**CARLOS A. SÁNCHEZ ZULUAGA**  
*csanch10@eafit.edu.co*  
Departamento de Ingeniería Mecánica

**ÁREA DE ENFASIS**  
XXXXXX

**ASESOR PRINCIPAL**  
GABRIEL PÁRAMO

**SECTOR BENEFICIADO**  
UNIVERSIDAD EAFIT



## RESUMEN

Las herramientas CAE permiten conocer el rendimiento del producto sin tener que recurrir a prototipos físicos. Al obtener información del comportamiento del producto al principio de la fase de diseño, puede mejorar la calidad del producto a la vez que ahorra tiempo, trabajo y dinero.

El Aluminio 3104 HO es un material nuevo en la elaboración de recipientes de presión de cierre externo. Por lo tanto, las herramientas CAE pueden ser de gran ayuda para conocer como se comporta este producto con este material, y a su vez, permite plantear alternativas de diseño después de conocer los resultados.

## ABSTRACT

CAE tools give you the power to understand product performance before resorting to physical prototyping. By gaining early insight into product behavior, you can vastly improve product quality while saving time, effort and money.

Aluminum 3104 HO is a new material in the external lock pressure cooker's manufacture. Therefore, CAE tools can be a big assistance to understand how this product behaves with the new material, in addition to the behavior, they let propose design alternatives after the results have been known.

## PALABRAS CLAVES

Software CAE, Análisis de Elementos Finitos, Cargas, Restricciones, Convección, Ebullición, Flujo de calor, Esfuerzo, Fatiga.

## KEY WORDS

Software CAE, Finite Element Analysis (FEA), Loads, Constraints, Convection, Boiling, Stress, Flux Heat, Fatigue.



## INTRODUCCIÓN

Las industrias que se dedican a la fabricación de artículos para el hogar y concretamente para la cocina y la cocción de alimentos, investigan constantemente el mercado para encontrar productos que ayuden, mejoren la calidad y reduzcan el tiempo de preparación sin deterioro de los componentes nutritivos, el sabor, el color y la apariencia, que son características que se esperan presenten los alimentos preparados.

Las empresas manufactureras que atienden la demanda de productos hogareños, tienen mucho cuidado, cautela y precaución con los parámetros de calidad que requieren sus procesos y productos, con el fin de alcanzar sus objetivos y la satisfacción de sus clientes. Además todos sus productos deben estar estandarizados bajo una normatividad nacional e internacional, para así poderse comercializar dentro del mercado local e internacional.

El proyecto consiste en estudiar el comportamiento de un recipiente de presión y proponer diferentes alternativas de diseño para este producto, llegando así a un posible diseño óptimo, teniendo en cuenta los requerimientos que debe cumplir el producto establecidos según la norma. Para dicho estudio se contará con el apoyo de un software CAD/CAM/CAE, que es una herramienta de alta ingeniería que posee tres aplicaciones: CAD (Diseño Asistida por Computador), CAM (Manufactura Asistida por Computador) y CAE (Ingeniería Asistida por Computador). Este programa permite analizar el ciclo completo de un producto, que incluye: su modelación y diseño, la programación y control del proceso de producción, y los estudios y pruebas de ingeniería para conocer el comportamiento de éste; con el fin de optimizar el desarrollo, mejorar la calidad y consecuentemente los costos de producción (se reducen los gastos en prototipos), además, permite reducir al máximo las pruebas para la obtención del producto deseado. Con la reducción de las pruebas, se logran evitar pérdidas de tiempo y de material implícitos en éstas, lo cual, beneficia a la empresa en su parte financiera. Algunas de estas pruebas, que se realizaban anteriormente y hoy en día, son las siguientes: pruebas con aceite para explosión del recipiente, resistencia del mango y los elementos de sujeción, presión de trabajo, entre otras.

La metodología que se empleará consta de diferentes etapas, tales como: la investigación y recolección de información para conocer el problema; estudio del material para conocer sus diferentes propiedades (físicas, mecánicas y térmicas); identificación de las condiciones de frontera en el recipiente, tanto para el estudio térmico como para el estructural; realización de los diferentes análisis para observar el comportamiento del producto, y así poder comparar los resultados obtenidos con lo que se puede esperar del modelo real; validación de resultados por parte de personas conocedoras del tema, con el fin, de tener seguridad y buena fiabilidad en los estudios realizados; finalmente, proponer alternativas de diseño que presenten un mejor comportamiento que el diseño propuesto actualmente.

En cuanto a la importancia del proyecto, cabe anotar el valor agregado que genera para la empresa manufacturera del producto, saber mediante el software de ingeniería como se comporta el diseño propuesto, como también, obtener un mejor diseño al realizarle unas modificaciones en algunas variables geométricas, sin afectar las propiedades mecánicas de éste y las especificaciones que exige la norma.

Como se mencionó anteriormente, este estudio produce beneficios a la empresa manufacturera del producto. Además, presenta beneficios: a las universidades que emplean estos software en las cátedras, puesto que, pueden mostrar con un ejemplo de carácter industrial la aplicación de éstos y presentar una mayor comprensión académica del comportamiento de los productos ante las situaciones en que se exponen; y por otra parte, permite conocer a las empresas que prestan servicios de ingeniería, un software integrado de gran utilidad para los diferentes proyectos que realicen éstas.

Sin embargo, se debe tener en cuenta que aunque es una herramienta poderosa con la cual se pueden hacer pronósticos, presenta un bajo porcentaje de error, ya que emplea un método de solución aproximado y no exacto. Otra limitante que se debe tener en cuenta, es un fenómeno que se presenta en el proceso de embutición del recipiente, donde ocurre una deformación generada por una combinación de fuerzas de tensión y compresión,



las cuales hacen que el espesor del material varíe y pierda su uniformidad, y esta variación en el producto no se realiza en el software de análisis, ya que allí se tiene como un valor constante. Por lo tanto, esto generará resultados con una buena aproximación a lo real, más no del cien por ciento, debido a este fenómeno.

## PREPROCESAMIENTO

Es la primera fase del FEA donde se define toda la información referente al modelo, como: geometría, condiciones de frontera (cargas y restricciones) y propiedades del material.

## MODELO

En el mundo de la modelación de los elementos finitos se simula la realidad, sin embargo, la idea es utilizar el modelo más sencillo que provea al usuario una muy buena y confiable solución, para a partir de ésta, tomar las respectivas decisiones de diseño que se requieran.

En algunas ocasiones es importante suprimir algunos elementos, componentes o detalles del modelo que no son relevantes en el momento del análisis, y mucho menos que afecta en las decisiones de diseño. Estos detalles a los que se hace referencia, son por ejemplo: algunos redondeos y chaflanes. Sin embargo, en el caso de los redondeos, es importante diferenciar el tipo de redondeo, ya que puede ser: redondeos en borde internos o filetes, los cuales sirven para aliviar concentración de esfuerzos; o redondeos en borde externo, que sirven para suavizar bordes agudos o afilados. Los redondeos en borde interno deben permanecer en el modelo al ser presentado para un análisis CAE, puesto que son relevantes en los resultados finales, mientras que los redondeos en borde externo si pueden ser suprimidos cuando se vaya a realizar el análisis, ya que no interfieren en los resultados.

El hecho de simplificar el modelo en los software CAE, no significa que éstos presenten debilidades o limitaciones, sino que ayuda al procesador del computador a resolver con mayor rapidez el problema planteado, y además evita errores, ya que si la pieza es muy compleja y no

se simplifica, el procesador no va a ser capaz de realizar todas las operaciones internas y puede sacar un error.

Otra simplificación del modelo que es comúnmente usada y recomendada por las personas que tienen suficiente conocimiento de estos programas, es trabajar las piezas simétricas a la mitad, en caso de tener simetría en un solo eje, o trabajar un cuarto de la pieza en caso de presentar simetría en los dos ejes. No obstante, se debe tener un buen conocimiento y un adecuado cuidado de esta simplificación, puesto que las condiciones de frontera (cargas y restricciones) se deben modificar. Lógicamente, si la carga se encuentra distribuida en un modelo que se va a analizar la mitad por tener simetría con respecto a un eje, el valor de la carga debe disminuir a la mitad. Pero con las restricciones si se debe tener mayor precaución, puesto que los grados de libertad de una pieza partida a la mitad no van a ser los mismos que los presentes en un modelo entero.

El recipiente bajo estudio se presenta al módulo CAE como un modelo entero, es decir, no se realizó ninguna simplificación de éste.

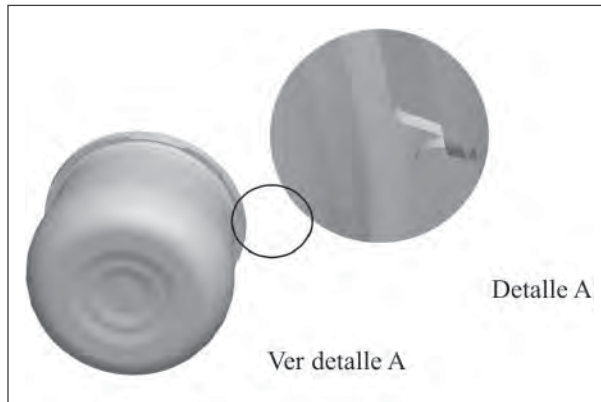
### MODELO GEOMÉTRICO DEL RECIPIENTE DE CIERRE EXTERNO



Sin embargo, para analizar el recipiente se debe tener en cuenta la tapa, puesto que ésta es parte del sistema. La tapa es la que se encarga de cerrar el recipiente dándole la característica de hermeticidad. Además, como es un recipiente de presión de cierre externo, el contacto

entre la tapa y el recipiente ocurre entre las pestañas de ambos, donde se presenta una fuerza de reacción generada por la presión interna.

### CONTACTO ENTRE LAS PESTAÑAS DEL RECIPIENTE Y LA TAPA



### MATERIAL

El aluminio es el segundo material más abundante en el planeta, exhibe una gran variedad de aplicaciones en diferentes sectores (doméstico, químicos, automotriz, aeroespacial, entre otros) y presenta muy buenas propiedades: térmicas, eléctricas y mecánicas.

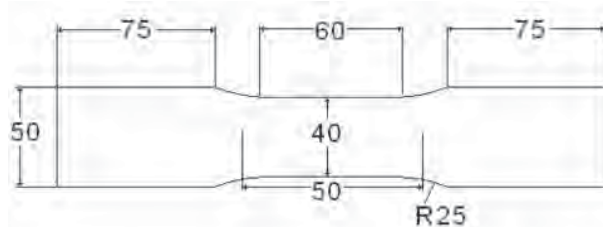
El aluminio tiene una densidad aproximada de 2,70 g/cm<sup>3</sup>, sin embargo, entre las diferentes aleaciones de aluminio puede variar ésta entre 0,01 y 0,02 g/cm<sup>3</sup>. Aunque las aleaciones de aluminio presenten propiedades a la tensión relativamente bajas en comparación con las del acero, su resistencia específica (relación resistencia-peso) es excelente. Se caracteriza también por: buena maleabilidad y ductilidad, ser apto para el mecanizado y la fundición, la alta conductividad eléctrica y térmica, comportamiento no magnético, y excelente resistencia a la oxidación y a la corrosión. Además, por su baja temperatura de fusión (660° C), no trabaja bien a temperaturas elevadas.

El material del recipiente de presión es un aluminio 3104 H 0. Éste pertenece a la aleación de aluminio de la serie 3000. El primer número (tres) indica que los

principales elementos de la aleación son: el aluminio (Al) y el manganeso (Mn), el resto de números indican la composición específica de la misma. La letra que sigue después de los números indica el grado de endurecimiento, que en este caso es la letra H, que significa endurecida por deformación, es decir, mediante un trabajo en frío.

Las propiedades térmicas se determinaron con la ficha técnica del material, mientras que las propiedades mecánicas se determinaron realizando un paralelo entre la ficha técnica del material y ensayos de tracción con probetas maquinadas según la norma ASTM E 8M.

### PROBETAS PARA ENSAYOS DE TRACCIÓN



### PROPIEDADES DEL ALUMINIO 3104

ALUMINIO 3104			
Propiedades	Valor		
<b>Físicas</b>			
Densidad	2.72 g/cc	0.0983 lb/m <sup>3</sup>	
<b>Mecánicas</b>			
Esfuerzo de Cedencia	55, 158 MPa	8000 PSI	
Esfuerzo último	151,68-200 MPa	22000-29000 PSI	
Modulo de elasticidad	69 GPa	10000 KSI	
Relación de Poisson	0,34		
<b>Térmicas</b>			
Capacidad de calor específico	0.88 J/g-C	0.21 BTU/lb-F	
Conductividad Térmica	170W/m-K	1180 BTU*IN/hr-pie <sup>2</sup> -F	

En la tabla anterior se presentaron las propiedades de este aluminio, según la ficha técnica suministrada por el proveedor.

La siguiente tabla presenta el paralelo entre la ficha técnica y los ensayos de tracción realizados en tres probetas.

### COMPARACIÓN ENTRE VALORES TEÓRICOS Y VALORES REALES

Propiedades	Valor Teorico	Valor Real	% De Error
Esfuerzo de cedencia, MPa	55,158	60,94	
Esfuerzo máximo, MPa	167,64	164,375	1,948%
Modulo de elasticidad, GPa	69	67	2,899%

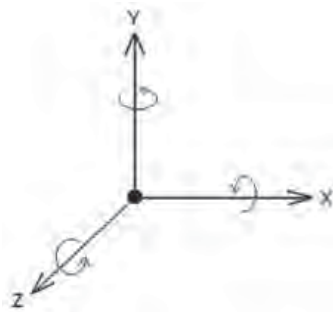
### CONDICIONES DE FRONTERA

Las condiciones de frontera están conformadas por: las restricciones y las cargas.

### RESTRICCIONES

Se encargan de evitar la libertad de movimiento de alguna entidad geométrica (superficie, curva o punto) del modelo, fijándola en uno o más de los grados de libertad, ya sean traslacionales y/o rotacionales. En total son seis grados de libertad, tres traslacionales y tres rotacionales, en cada uno de los ejes de un sistema coordenado cartesiano (x, y, z).

#### SEIS GRADOS DE LIBERTAD

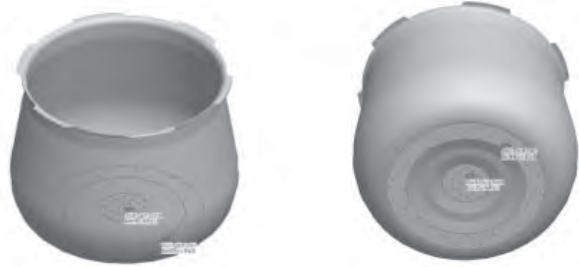


Para poder realizar un análisis estático en un software CAE, el modelo debe estar restringido en los seis grados de libertad, no necesariamente en una sola entidad geométrica, sino que se tiene la posibilidad de restringirlo en diferentes entidades pero que en la totalidad no quede ningún grado de libertad sin restringir. Cabe aclarar, que en algunas ocasiones al restringir un grado de libertad en una entidad tiene como efecto la prevención de movimiento en otros dos grados, por ejemplo: cuando se restringe una superficie en el grado traslacional normal a la superficie, consecuentemente se restringen los dos grados rotacionales paralelos a la superficie.

Uno de los mejores métodos para revisar si las restricciones del modelo fueron las apropiadas, es realizando una animación de los resultados y observar como se deforma y se desplaza el modelo, de esta forma, se compararía con un comportamiento esperado en la realidad, y si es razonable, se puede afirmar que el modelo está correctamente restringido.

Para el análisis estático las restricciones en el modelo son las siguientes: la superficie inferior que se apoya sobre la parrilla eléctrica o de llama de gas se le restringe el grado traslacional en la dirección Y, y como se explicó en párrafos anteriores, por efecto de esta restricción también se restringen los dos grados rotacionales paralelos a esta superficie, que corresponden a los rotacionales en los ejes X y Z. Sin embargo, aún queda faltando por restringir dos grados traslacionales (X y Z) y uno rotacional (Y), para que el software CAE permita realizar posteriormente el análisis. Debido a esto, se debe seleccionar una entidad y asumir que se encuentra restringida en los grados de libertad faltantes. No obstante, debe ser una selección precavida que no altere los resultados y los aleje del comportamiento esperado en la realidad. Entonces se tomó la decisión de escoger la superficie inferior central, ya que se consideró la más conveniente para dichas restricciones. La siguiente ilustración presenta en el modelo las restricciones mencionadas para el análisis estático.

## RESTRICCIONES PARA EL ANÁLISIS ESTÁTICO



En los análisis estáticos, como se ha dicho, las restricciones se encargan de impedir el movimiento del modelo; para un análisis térmico, la analogía de esto, son: temperaturas prescritas, que son temperaturas con valor constante, y/o condiciones de convección, que son controles del flujo de calor de una superficie sólida a un fluido (líquido o vapor).

La transferencia de calor por convección depende directamente del coeficiente de transferencia de calor por convección, que se designa con la letra  $h$  ( $W/m^2.K$ ). Y éste a su vez, depende de las condiciones en la capa límite, en las que influyen la geometría de la superficie, la naturaleza del movimiento del fluido y una variedad de propiedades termodinámicas del fluido y de transporte. Esto muestra, que en cualquier estudio donde esté presente la transferencia por convección se deben investigar los medios para determinar el valor de  $h$ .

Para el estudio térmico del recipiente, se deben tener en cuenta dos condiciones de convección que son: el aire del ambiente que rodea externamente al recipiente y el cambio de fase (ebullición) que ocurre en el interior de éste.

En el aire del ambiente la naturaleza del movimiento del fluido es libre o natural, puesto que no es inducida por ningún medio externo, por lo tanto, se espera que el coeficiente de convección se encuentre dentro del siguiente rango: 2 - 25  $W/m^2.K$ . Sin embargo, como este rangos expuesto es tan amplio, lo mejor, es calcular este coeficiente basándose en unos modelos matemáticos que gobiernan las condiciones de la capa límite, los cuales, presentan un alto grado de complejidad por la dependencia de una variedad de propiedades,

por consiguiente, se simplifican y se aproximan con parámetros adimensionales. Por otra parte, la geometría del modelo es relevante en estas ecuaciones, ya que no es lo mismo analizar una placa plana horizontal que una placa plana vertical, o un cilindro o una esfera. Cada geometría presenta diferentes ecuaciones simplificadas de los modelos originales, por este motivo no se puede asumir cualquier ecuación. En el caso del recipiente, las condiciones de geometría y comportamiento del fluido a las que más se puede asemejar son las que ocurren con una placa vertical o cilindro vertical corto, ya que el recipiente cuando se analiza se encuentra en posición vertical y cumple con la relación

$$\frac{D}{L} \geq \frac{35}{Gr_L^{1/4}}$$

Después de realizar los cálculos apropiados para este coeficiente de convección, se determina su valor, el cual corresponde a 6,85  $W/m^2.K$ .

Al igual como se calculó el coeficiente de convección del aire ambiente, se debe calcular el coeficiente de la ebullición, aunque este cálculo se basa en otro modelo matemático por ser una convección con cambio de fase de un fluido. Además, los efectos del calor latente asociados con el cambio de fase son significativos. A causa de los efectos combinados del calor latente y del flujo impulsado por empuje, los coeficientes y las transferencias de calor por ebullición son por lo general mucho mayores que los característicos de la transferencia de calor por convección sin cambio de fase, teniendo en cuenta, que esto se puede presentar con pequeñas diferencias de temperaturas ( $\Delta T$ ).

El coeficiente de convección en este proceso, depende de la diferencia de temperaturas entre la temperatura de la superficie y la temperatura de saturación ( $\Delta T = |T_s - T_{sat}|$ ), el calor latente  $h_{fg}$ , las propiedades termofísicas del líquido o del vapor y otras variables que se mostraran en los diferentes cálculos.

Es de esperar, que la temperatura de la superficie sea superior a la temperatura de saturación que corresponde al líquido, ya que el calor se transfiere de la superficie sólida al líquido, y de esta forma ocurre la ebullición.

La temperatura de saturación del agua en un recipiente de presión se encuentra alrededor de  $120^{\circ}\text{C}$ . En cuanto a la temperatura de la superficie interna del recipiente se determina midiendo la temperatura inferior externa de éste, ya que la diferencia de temperaturas entre ambas es despreciable debido a la buena conductividad del aluminio y al espesor delgado de la lámina (2mm.).

El coeficiente de convección por ebullición se puede encontrar mediante un método gráfico o cálculos matemáticos, sin embargo, para este caso fue mejor el método gráfico. El valor de este coeficiente es  $10.000\text{ W/m}^2\text{ K}$ , el cual se encuentra dentro del rango común de este tipo de coeficientes.

Cargas. Existen diferentes tipos de cargas: las fuerzas que actúan a lo largo de la línea de acción y las que se derivan de ésta, como son: la presión, que es una cantidad de fuerza sobre un área; y el momento, que es una fuerza aplicada por la distancia perpendicular a ésta.

Al igual que las restricciones, las cargas se pueden encontrar sobre cualquier entidad geométrica (superficie, curva o punto), exceptuando la presión que sólo se puede ejercer sobre una superficie.

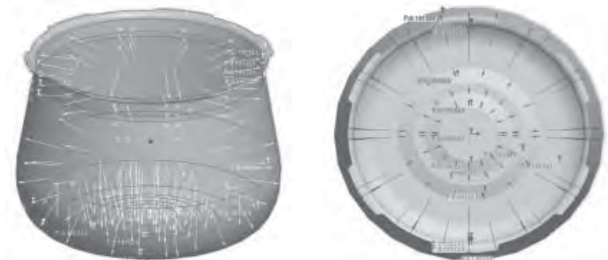
Las propiedades del material, que se mencionaron en numerales anteriores, describen las características de elasticidad del modelo, o también como se deformará cuando se someta a la aplicación de una carga. Bajo condiciones estáticas, la deformación es proporcional a la carga que está siendo aplicada.

Cuando se introducen las cargas a las cuales está sometido el cuerpo, es fundamental, ser consistente con el mismo sistema de unidades que se está trabajando, ya sea SI (Sistema Internacional), CGS (Sistema Cegesimal), sistema inglés, u otro. Anteriormente, cuando se introdujo el material, el sistema de unidades se definió previamente, puesto que los valores de las propiedades difieren entre los diferentes sistemas de unidades, y aunque las medidas derivadas y los cálculos que se realicen con las diferentes medidas lleven el mismo cálculo matemático, el resultado variará entre los diferentes sistemas de unidades.

Para el recipiente de presión se tienen las siguientes cargas estáticas: una presión interna, que es la suma de la presión del aire que quedó contenido al momento de cerrar el recipiente, y el vapor de agua; y una fuerza que se genera por el contacto que ocurre entre los pliegues, tanto del recipiente como de la tapa.

La presión interna se midió con un manómetro en un laboratorio de pruebas, y el resultado promedio fue de  $80\text{KPa}$  manométricos, es decir, que la presión total es  $181,325\text{ KPa}$ .

## PRESIÓN INTERNA



Y la otra carga estática que es la fuerza en los pliegues, se calcula a partir de esta presión recién hallada. Esto es, porque cuando el recipiente de presión de cierre externo se encuentra funcionando a esta presión anterior, los componentes de la presión en la dirección X y Z se anulan, mientras que la componente en Y genera una fuerza sobre la tapa que tiende a moverla hacia arriba, y en este instante, los pliegues del recipiente no permiten que esto suceda porque obstaculizan el ascenso de los pliegues de la tapa, por esta razón, se genera esa fuerza de contacto que se mencionó. El valor de esta fuerza es  $7082,02\text{ N}$  en total y en cada pliegue corresponde a  $1180,33\text{ N}$ .

Al igual que en el ítem anterior correspondiente a las restricciones, donde se mostró la analogía entre las restricciones estáticas y las térmicas, con las cargas sucede lo mismo. La equivalencia de una carga estática en el estudio térmico es una carga térmica, medida en Watts.



En este caso, únicamente se presenta una carga térmica, que corresponde, a la fuente de calor que se le aplica al modelo, que puede provenir de una parrilla eléctrica o térmica.

Esta carga térmica se aplica en la superficie inferior exterior del recipiente y el valor promedio de la temperatura en esta superficie es 130 °C.

## **SELECCIÓN DE ELEMENTOS**

Los elementos son las pequeñas piezas que pueden ser de diferentes formas geométricas, tridimensionales o bidimensionales, para dividir al modelo en una cantidad finita.

El último paso del preprocesamiento es la selección de elementos. Para este estudio se requiere un alto nivel detalle en los resultados y una malla muy fina de elementos, con el fin de tener una alta veracidad y confiabilidad en los resultados de los análisis.

Se escoge el elemento sólido, puesto que se encuentra en el mayor rango de la jerarquía y no presenta desventajas frente a los otros elementos simplificados. Aunque este estudio se hubiera podido realizar con elementos Shell, puesto que es apto para la geometría del modelo, sus desventajas los excluyen de la selección.

## **PROCESAMIENTO**

Esta es la fase donde se soluciona el problema. Se construyen las matrices de comportamiento para cada elemento, se ensamblan las ecuaciones generales y se resuelven. En esta fase se muestran los resultados y en el postprocesamiento, fase final del proceso FEA, se analizan, se concluye y se toman decisiones sobre el diseño del producto.

Lo más importante en esta fase es definir un tipo de estudio que tenga una muy buena aproximación y un porcentaje de error pequeño en los resultados que son más relevantes para los posteriores análisis.

Para este estudio se hicieron inicialmente análisis sencillos con un porcentaje de error alto en los resultados, con el fin de conocer: los rangos entre los que se encontraban los resultados, las zonas afectadas en el recipiente y la coherencia del comportamiento cuando el modelo se somete a las diferentes cargas y restricciones. Luego de tener conocimiento de lo anterior y no se requieran realizar más modificaciones en los diferentes requerimientos del preprocesamiento, se procede a realizar los estudios con un mejor tipo de análisis, donde se tenga una convergencia a un porcentaje de error muy pequeño, lo que deduce la confiabilidad en los valores de los resultados.

## **POSTPROCESAMIENTO**

Es la fase final del proceso FEA, donde se gráfica y realizan animaciones del comportamiento en los diferentes estudios realizados (estructural y térmico), para observar los resultados según el tipo de estudio. Se analiza y se concluye sobre los resultados, para poder así, tomar decisiones en cuanto al diseño del producto.

## **ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL ESTUDIO TÉRMICO**

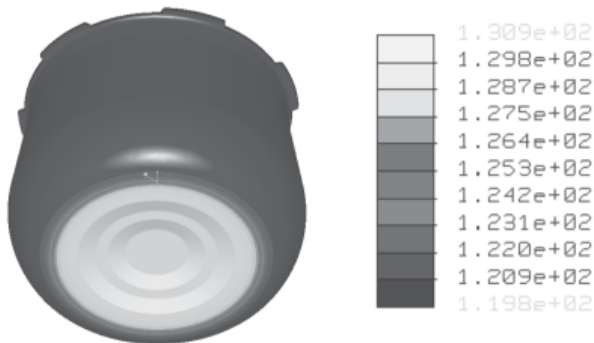
Las tres variables más importantes a considerar en un estudio térmico son: la temperatura, los gradientes de temperatura y el flujo de calor.

Resultados de temperatura. La temperatura se encuentra entre un rango de 119,8 °C y 130 °C. La temperatura máxima (130 °C) se encuentra en la superficie inferior externa del recipiente, puesto que ésta es la que se encuentra en contacto con la fuente de calor, que es la parrilla (eléctrica o de gas). En la superficie interior inferior del recipiente se presenta un rango de temperatura entre: 127,5 °C y 129,8 °C, esto se debe, a que la lámina del recipiente es de un espesor muy delgado, y además como ésta es de aluminio, la transferencia de calor por conducción es muy alta, presentando así, una pequeña diferencia de temperaturas entre la superficie inferior externa y la superficie inferior interna. Finalmente, el



resto del recipiente presenta una temperatura que se encuentra en un rango de 120,9 °C y 119,8 °C, que se debe al vapor de agua interno que se encuentra a una temperatura de 120 °C, y como se explicó recientemente, debido al espesor y a la buena conductividad del aluminio, tanto las paredes internas como las externas se encontraran alrededor de esta temperatura.

### Resultados de temperatura



Resultados de gradientes de temperatura. En estos resultados se percibe lo que se explicó en los resultados anteriores, donde se expresaba que la temperatura de las paredes del recipiente era muy pareja, por lo tanto, los gradientes de temperatura en estas zonas son demasiado bajos (el valor que predomina del gradiente de temperatura en las paredes es  $3,865 \times 10^{-3}$  °C/mm). En la zona inferior se presentan gradientes con valores más altos que los anteriores, sin embargo, siguen siendo gradientes muy pequeños que se encuentran dentro de un rango de:  $5,50 \times 10^{-1}$  y  $5,59 \times 10^{-1}$  °C/mm. El valor mayor de los gradientes de temperatura se presenta en la transición entre la superficie inferior externa y las paredes externas del modelo, debido a que las anteriores no se encuentran en contacto con la fuente de calor.

### ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL ESTUDIO ESTRUCTURAL

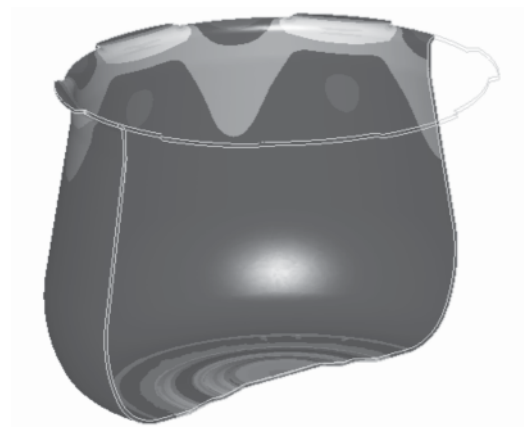
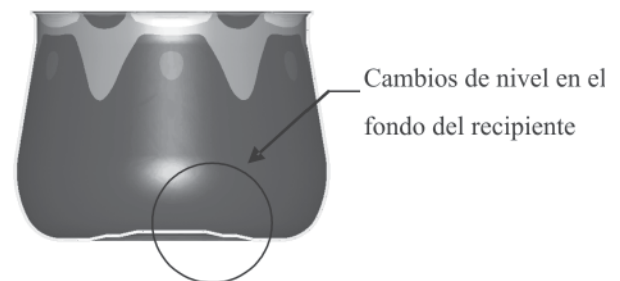
Esfuerzos Von Mises. Es un criterio de fluencia ampliamente aceptado para materiales isotrópicos dúctiles que se basa en los conceptos de energía y se utiliza con frecuencia en aplicaciones de diseño.

La fluencia es la zona límite a partir de la cual el material se comienza a deformar plásticamente. Ésta ocurre cuando los esfuerzos presentes en un material superan el esfuerzo de cedencia del mismo.

Para el caso del recipiente, el esfuerzo de cedencia del material bajo estudio se presentó en capítulos anteriores. Su valor teórico es 8000 psi (55,158 MPa) y calculado mediante ensayos presentó un valor promedio de 60,94 MPa, el cual, es superior al valor teórico, y esto se demostró con las tres probetas ensayadas. El esfuerzo de cedencia que se introdujo en el software CAE fue el valor real de éste.

La zona de mayor esfuerzo se encuentra en el fondo del recipiente en los lugares donde cambia de nivel. Esto se debe, a la concentración de esfuerzos que se presenta en los cambios bruscos de nivel a nivel, puesto que éstos son un obstáculo para el flujo de energía.

### Esfuerzos máximos en el fondo del recipiente



Por otra parte, en las paredes del recipiente se presentan pequeños esfuerzos comparados con los del fondo de éste y se encuentran en un rango de: 6MPa a 11MPa, exceptuando las zonas aledañas a las pestañas, donde se incrementan un poco los esfuerzos debido a la fuerza de contacto que ocurre con las pestañas de la tapa. En esta región los esfuerzos oscilan alrededor de: 11 MPa a 30 MPa. Por la misma razón anterior, en el radio que está entre el borde y los pliegues del recipiente, se presentan también unos esfuerzos con valores altos, que están entre: 30 MPa y 45MPa, siendo los esfuerzos más altos después de los localizados en el fondo.

El índice de falla en el estudio estático determina únicamente si el recipiente falla o no falla. El criterio de falla lo determina el esfuerzo de cedencia, ya que para el software, cuando los esfuerzos calculados superan el esfuerzo de cedencia se considera que ha fallado, aunque esto en realidad no es cierto, ya que cuando el material supera el esfuerzo de cedencia sobrepasa la zona elástica y entra en la zona plástica, donde hay una deformación plástica pero no se ha fracturado el material. La fractura ocurre cuando los esfuerzos son superiores al esfuerzo máximo.

El recipiente presenta un índice de falla inferior a la unidad (0,945), lo que indica que aún el material no ha entrado en la zona plástica y toda su deformación será recuperable cuando se remuevan las cargas. Para el software el material ha fallado cuando el índice de falla es igual a la unidad, o si la sobrepasa.

### **ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL ESTUDIO ESTÁTICO REALIZADO CON LA DISTRIBUCIÓN DE TEMPERATURA DEL ESTUDIO TÉRMICO**

Cuando se realiza el estudio térmico se obtiene la distribución de temperaturas en el modelo, sin embargo, es importante analizar, como estas temperaturas afectan la estructura del modelo, por lo tanto se procedió con dicho estudio.

Los esfuerzos generados en este estudio son esfuerzos despreciables con respecto a los esfuerzos que se generan en el estudio estático, debido a la presión interna y la fuerza en los pliegues. Como se puede observar los esfuerzos se encuentran entre:  $4,569 \times 10^{-13}$  a  $1,088 \times 10^{-6}$  MPa, mientras que en el estudio estático anterior, se tenían esfuerzos cercanos al esfuerzo de cedencia del material. Por ende, con esto se puede concluir que un análisis combinado arrojaría prácticamente los mismos esfuerzos que arroja el estudio estático por fuerzas y presiones.

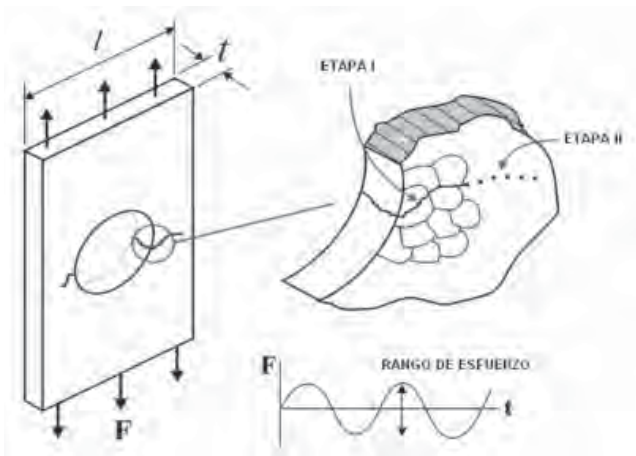
### **FATIGA**

Se puede definir como la disminución de la resistencia mecánica de los materiales al someterlos a esfuerzos repetidos. La fatiga se visualiza con el paso del tiempo, puesto, que las cargas variadas a que se somete cualquier componente nunca alcanzan un nivel suficiente como para causar la falla en una simple aplicación.

Es más factible, que la fatiga se ocasione por cargas dinámicas cíclicas que por cargas estáticas. Se requieren menos fuerzas para provocar rotura con cargas dinámicas que con cargas estáticas. La principal razón de esto es que la aparición de grietas y el aumento de éstas, propenden a que el material falle por fatiga, sobretodo cuando éstas con el paso del tiempo alcanzan un tamaño crítico. Por lo tanto, es normal que con cargas dinámicas las grietas aumenten su tamaño en menor tiempo que con cargas estáticas.

La vida total de un componente o estructura, se encuentra representado por el tiempo que demora en aparecer una grieta, más el tiempo que necesita ésta, para propagarse por la sección transversal.

## Aparición y aumento de una grieta



Las aleaciones no ferrosas, como el aluminio, no presentan límite a la fatiga. El límite a la fatiga ( $Se'$ ) indica el mayor esfuerzo fluctuante que no causará la falla para un número infinito de ciclos. Para el aluminio, la resistencia a la fatiga continúa disminuyendo con el incremento de los ciclos. De esta manera, la fatiga ocurrirá sin importar la amplitud de los esfuerzos. La resistencia a la fatiga para estos materiales es el nivel de esfuerzo en el cual se presenta la falla para un número determinado de ciclos, por ejemplo 105 ciclos. Como las aleaciones de aluminio no presentan un límite de fatiga, éstas no pueden ser diseñadas para un tiempo de vida infinito, por lo tanto requiere, que el diseñador estime un tiempo de vida para el producto.

Fatigue Advisor es un módulo de PROENGINEER® que permite: entender claramente la durabilidad del producto, y visualizar y comprender el impacto que tiene los cambios de diseño sobre la vida del componente. Además, provee herramientas que permiten un diseño con durabilidad y calidad, ya que permite estimar el inicio de la grieta.

Es un módulo optimizado, en el cual se puede obtener una rápida indicación sobre la sensibilidad del modelo a la fatiga.

El recipiente de presión se diseñó para 2000 ciclos de vida y después de realizar el análisis de fatiga, se concluye lo siguiente: La vida del recipiente supera los ciclos deseados por el diseñador, ya que se requiere como mínimo la aplicación de 8.069 ciclos para que falle en la superficie inferior. Sin embargo, el resto del modelo demuestra que puede llegar hasta 20.000 ciclos de vida para presentar el inicio de una grieta, exceptuando el lugar de doblez interno de los pliegues y los radios de éstos. Además los resultados adquiridos en el análisis de fatiga, expresan que el recipiente no ha presentado síntomas de daños en los 2000 ciclos de vida proporcionados por el diseñador. Para el caso del recipiente todas las regiones presentaron números negativos en el resultado de Log Damage, lo cual demuestra que ni siquiera se ha afectado el mínimo de porcentaje en la vida útil de éste.

Por otra parte los resultados del factor de seguridad indican que la amplitud de la carga a la que trabaja el recipiente de presión es supremamente segura, ya que ésta puede ser incrementada sin comprometer la vida para el cual fue diseñado el producto. El rango de incremento de la carga se encuentra entre 4,74 y 1.522 veces la amplitud de la carga, sin embargo, este valor máximo únicamente aplica en una pequeña región de la olla (zona inferior), por lo cual, en una interpretación adecuada de resultados se debe seleccionar el valor mínimo (4,74 veces), ya que cumple con todas las regiones del recipiente.

Finalmente analizando los resultados obtenidos en la confiabilidad, se puede concluir que el recipiente presenta en su totalidad un color verde, lo cual significa que la vida de éste es superior al triple de ciclos para el cual se diseñó. Por lo tanto, se presenta una alta confiabilidad en la vida del recipiente en cuanto a su funcionamiento, lo cual, es una excelente noticia para el diseñador y el fabricante, que garantiza con certeza su calidad en el mercado.

## Confiabilidad de vida

Fatigue Confidence of Life (WCS)  
LoadSet1:LoadSet2



Fatigue Confidence of Life (WCS)  
LoadSet1:LoadSet2



## ALTERNATIVAS DE DISEÑO

Realizados los diferentes estudios y analizando los resultados obtenidos, se observa que los resultados más críticos en el modelo se obtuvieron en el estudio estático, ya que los esfuerzos que se presentaban se encuentran muy cerca al límite elástico. Los estudios de fatiga y el estático que se realizó por las diferencias de temperatura, arrojan muy buenos resultados para el diseñador y el fabricante. Como consecuencia de esto, es necesario tomar decisiones en el diseño que reduzcan los esfuerzos presentes, y así de esta manera alejarse del límite elástico.

En capítulos anteriores se identificaron las zonas críticas en el modelo, por consiguiente, estas son las regiones en las que se procede a proponer cambios alternos en el diseño del producto.

### Primera alternativa de diseño

Para esta primera alternativa, el enfoque se realizó esencialmente en la parte inferior del recipiente, que es hasta el momento la zona más crítica, donde se tienen los mayores esfuerzos. En este rediseño, se analizó con sutileza las posibles mejoras que se podrían realizar, llegando a la conclusión que se debía modificar el fondo del recipiente, ya que al ser escalonado, presenta concentraciones de esfuerzos en los quiebres de los escalones.

Para mejorar esta influencia de los esfuerzos, se le hizo una reforma al fondo del recipiente, la cual, consiste en eliminar los escalones de éste, buscando de cierta forma una geometría redondeada que cumpliera tanto con las alturas de los escalones como con los diámetros exteriores del recipiente.

Con esta modificación, se busca suavizar el fondo para aliviar las concentraciones de esfuerzos, y así de esta manera, permitir un mejor flujo de energía. Igualmente, se mejora la estética de la geometría externa del producto.

Después de realizar este cambio, se pudo encontrar una mejora significativa en el fondo del recipiente demostrado por los resultados, donde se observa una diferencia entre los esfuerzos máximos del diseño original y la nueva alternativa, de 6,34 MPa, alejándose de esta forma, del esfuerzo de cedencia del material.

### Segunda alternativa de diseño

La segunda alternativa se centraliza en la pestañas, obviamente siguiendo el modelo del primer rediseño, donde se disminuyeron los esfuerzos del fondo. Para este caso se pudo observar, como las pestañas sufrían concentraciones de esfuerzos en los radios existentes

entre éstas y el borde del recipiente, por lo cual, se procede a realizar un cambio mínimo en la geometría de las pestañas que suavice el radio, de tal manera, que alivie los esfuerzos y permita un flujo de energía con mayor libertad.

Con este rediseño se logro mejorar significativamente el esfuerzo máximo que se generaba en el recipiente, logrando así una reducción de 20,8 MPa con respecto al diseño original, que garantiza un buen comportamiento del producto cuando se coloca en funcionamiento.

Reduciendo los esfuerzos presentes en el radio de los pliegues, el esfuerzo mayor se trasladó de zona, ubicándose en el radio de la superficie externa de la pared y del pliegue.

## CONCLUSIONES

En los resultados y análisis del estudio térmico, se muestra una distribución muy pareja de la temperatura con reducidas diferencias en los gradientes de temperatura. El recipiente, en su mayoría, se mantiene a la misma temperatura del vapor de agua (120 °C), y esto se debe al espesor delgado de la lámina del recipiente (2mm) y a la alta conductividad térmica que caracteriza a las aleaciones de aluminio.

En el recipiente la mayor parte de transferencia de calor es a través de la superficie en contacto con el líquido, y no a través de las burbujas de vapor que se elevan de esta superficie.

Los resultados y análisis del estudio estructural, indican que el recipiente únicamente presenta deformación elástica cuando se coloca en funcionamiento, por lo tanto, toda su deformación es recuperable, sin embargo, en el fondo del recipiente se presentan esfuerzos muy elevados que tienen una mínima diferencia con respecto al esfuerzo de cedencia del material, significando que con un aumento de los esfuerzos puede alcanzar a entrar en la zona plástica donde el material fluye y no recupera toda su deformación.

Obteniendo los resultados de ambos estudios estáticos, tanto el generado por las presiones y las fuerzas como el ocasionado por las diferencias de temperatura, se puede afirmar que los esfuerzos generados por las diferencias de temperatura son despreciables, puesto que se encuentran en un rango del orden de: 10-13 a 10-6. Por lo tanto, el estudio combinado prácticamente arroja los mismos resultados que el estudio estático debido a las fuerzas y presiones.

Los resultados y análisis del estudio de fatiga, muestran evidentemente como el recipiente no falla por este criterio, ya que se calculó un mayor número de ciclos que los propuestos por el diseñador y se presenta una confiabilidad de vida alta en el producto. La razón de esto, se debe a que los esfuerzos calculados en el estudio estático ni siquiera superan el esfuerzo de cedencia (60,94 MPa), es decir, no sobrepasan el límite elástico, por lo tanto, no hay deformación plástica del material. Además, el inicio de una grieta se da cuando un esfuerzo supera el esfuerzo máximo del material (167,64 MPa), que se encuentra muy alejado del esfuerzo de cedencia y los esfuerzos calculados.

Realizados todos los diferentes estudios que analizan el comportamiento del recipiente (estático, térmico y fatiga), se tienen los resultados más críticos en el estudio estático realizado con la presión interna y la fuerza que se encuentra en los pliegues del recipiente. Por esta razón, las decisiones en cuanto a los cambios de diseño se deben soportar en estos resultados. La zona crítica en el diseño original, se halla en el fondo del recipiente, debido a la concentración de esfuerzos que allí se presentan, por lo tanto, la primera propuesta de diseño es modificar éste por un fondo con geometría elíptica, que suaviza el fondo y alivia la concentración de esfuerzos. Sin embargo, aún se sigue presentando un esfuerzo alto, en el radio entre el borde y cada pliegue, por lo tanto, en la segunda alternativa de diseño, se pretende disminuir los esfuerzos, que se consigue, suavizando los radios del pliegue. De esta manera se redujeron significativamente los esfuerzos en 20,8 MPa, y consecuentemente, los desplazamientos en 0,102mm.

Finalizado todo el proceso de estudio del recipiente y con la propuesta de las diferentes alternativas de rediseño, se demuestra el potencial de los software de ingeniería, evitando desperdicios de tiempo y realización de pruebas que conducen a gastos en prototipos. Y aunque no se tienen resultados exactos, la aproximación de éstos es lo suficientemente buena para apoyarse en ellos, ya que únicamente se presentan errores entre: 2% y 5% de las variables más importantes a analizar, como: esfuerzos, desplazamientos, temperaturas y flujos de calor.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- ASKELAND, Donald R. (1998). Ciencia e ingeniería de los materiales. 3 ed. México: Internacional Thomson Editores.
- INCROPERA, Frank P. y DEWITT, David P. (1999). Fundamentos de transferencia de calor. 4 ed. México: Prentice Hall.
- HAMROCK, Bernard J.; JACOBSON Bo O. y SCHMID, Steven R. (2000). Elementos de máquinas. 1 ed. México, D.F.: McGraw Hill. Interamericana Editores, S.A. de C.V.
- Entrenamiento ProE: MECHANICA STRUCTURE. PTC (2006). The Product Development Company. Biblioteca de recursos de formación. <http://www.ptc.com/> (20 sept. 2005).
- MATWEB (2006). Material Property Data. Propiedades del Aluminio 3104 <http://www.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum=MA3104H19/> (03 sept. 2006)
- WIKIPEDIA (2006). Wikipedia la enciclopedia libre. Olla a presión [http://es.wikipedia.org/wiki/Olla\\_a\\_presi%C3%B3n/](http://es.wikipedia.org/wiki/Olla_a_presi%C3%B3n/) (02 ago. 2006)
- WIKIPEDIA (2006). Wikipedia la enciclopedia libre. Definición de CAD, CAE y Fatiga <http://es.wikipedia.org/wiki/CAD>  
<http://es.wikipedia.org/wiki/CAE>  
<http://es.wikipedia.org/wiki/Fatiga/> (28 sept. 2005)
- WIKIPEDIA (2006). Wikipedia la enciclopedia libre. Definición de calor latente [http://es.wikipedia.org/wiki/Calor\\_latente/](http://es.wikipedia.org/wiki/Calor_latente/) (15 sept. 2006)



# **ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL SERVICIO DE SUMINISTRO DE GAS NATURAL VEHICULAR EN UNA ESTACIÓN DE GASOLINA**

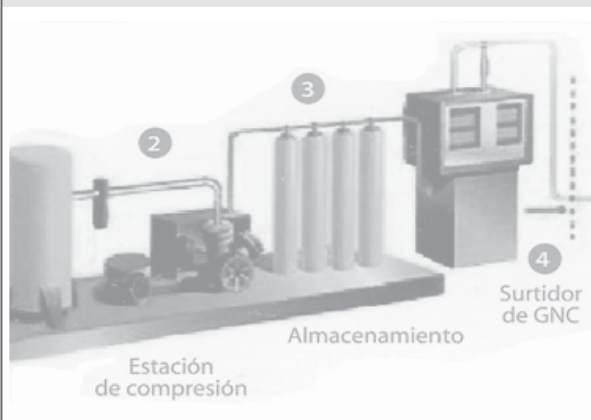
**JUAN DAVID HENAO CALDERÓN**  
*jhenaoca@eafit.edu.co*

**JAIRO ANDRÉS ÁNGEL ÁRIAS**  
*jangelar@eafit.edu.co*  
Departamento de Ingeniería Mecánica

**AREA DE ÉNFASIS**  
GESTIÓN DE PROYECTOS

**ASESOR PRINCIPAL**  
ING. JAIRO ÁNGEL DÍAZ

**SECTOR BENEFICIADO**  
UNIVERSIDAD EAFIT



## **RESUMEN**

La necesidad de buscar una pronta solución al grave problema del incremento indiscriminado de los precios de los combustibles, justifica la evaluación de viabilidad en proyectos de este tipo. Nadie desconoce que el GNV representa un ahorro importante para los propietarios de vehículos automotores, pero por el contrario son muy pocos los que conocen los beneficios que el uso de este combustible genera, además de la oportunidad de negocio que representa el incorporar la prestación de este nuevo servicio en una estación de llenado.

Para la evaluación de proyectos industriales realizan 5 estudios principales que permiten evaluar adecuadamente cada uno de los factores que influyen directamente en la consecución del proyecto como tal.

Estos estudios son:

- Estudio de Mercado
- Estudio Técnico
- Estudio Legal
- Estudio Administrativo
- Estudio Económico y Financiero

## **PALABRAS CLAVE**

Factibilidad, Demanda proyectada  
Análisis de sensibilidad, Punto de equilibrio, TIR Y VPN

## **ABSTRACT**

The need to seek a quick solution to the serious problem of the increment of the cost of the fuels, justified the evaluation of viability in projects of this type. Nobody does not know that the GNV represents an important savings for the owners of vehicles, but on the contrary are very few the ones that know the benefits that the use of this fuel generates, besides the opportunity of business that represents the installment of this new service in a existing gas station.

For the evaluation of industrial projects they carry out 5 main studies that permit to evaluate adequate each one

of the factors that influence directly in the evaluation of the project.

These studies are:

- Market research
- Technical Study
- Legal Study
- Administrative Study
- Financial and Economic Study

**KEYWORDS**

Feasibility, Projected Demand, Sensibility Analysis, Point of equilibrium, TIR and VPN.

**1. INTRODUCCIÓN**

El gas natural vehicular (GNV) es una alternativa de combustible que actualmente en el país cuenta con poca infraestructura (comparada con la de los combustibles líquidos), con poca demanda y poca oferta debido a lo nuevo de este combustible dentro del país y a los mitos que en la actualidad existen alrededor de este combustible.

El gobierno nacional desde el año 2000 empezó a incentivar el uso del GNV, promocionando el ahorro de combustible y los beneficios ecológicos que este ofrece, además de otorgar algunos beneficios tributarios para los que hagan uso de esta alternativa.

**TABLA 1**  
**Conversiones Vehículos a GNV**

CIUDAD	ACUMULADO A DIC. 31/2005	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	TOTAL AÑO 2006	TOTAL PROGRAMA
Medellin	9906	380	411	436	401	716	717	3061	12967

**MINMINAS@, 2006**

Con los anteriores datos se proyectan el resto de meses del año utilizando series de tiempo, con el fin de conocer cuantas conversiones se realizaran durante el 2006.

Para una estación de gasolina es importante empezar a evaluar la opción de incorporar este nuevo servicio, pues fundamentándose en el ahorro que representa el uso de este combustible (GNV) se puede prever a corto y mediano plazo un aumento significativo en la demanda de este y una disminución en el consumo de los combustibles líquidos.

**2. ESTUDIO DE MERCADO**

La obtención del mercado objetivo del proyecto, se fundamenta en los datos suministrados por ejecutivos de EPM y la empresa GNC, y en los datos históricos y actuales de la cantidad de vehículos convertidos a GNV.

Como datos de apoyo se hace un estudio de tráfico del sector, se proyecta el crecimiento del parque automotor del departamento, la evolución histórica de los precios de los combustibles y los beneficios que suministra el gobierno para el uso de este combustible.

**Procedimiento utilizado para estimar la demanda**

Como punto de partida se utiliza la cantidad de vehículos convertidos a GNV durante el año 2006.

**TABLA 2**  
**Proyección de conversiones mediante el uso de series de tiempo durante el 2006**

ENERO	380
FEBRERO	411
MARZO	436
ABRIL	401
MAYO	716
JUNIO	717
JULIO	611,3333333
AGOSTO	681,4444444
SEPTIEMBRE	669,9259259
OCTUBRE	654,2345679
NOVIEMBRE	668,5349794
DICIEMBRE	664,2318244
<b>TOTAL AÑO 2006</b>	<b>7010,705075</b>

Suponiendo que en el 2006 se realizan 7011 conversiones, se proyecta este dato durante los seis años de duración del proyecto arrojando como resultado unos 58000 vehículos convertidos a GNV en el año 2012.

**TABLA 3**  
**Proyección de conversiones hasta el 2012**

	Conversiones/ Año	Acumulado
2006	7.011	16.917
2007	7.000	23.917
2008	7.000	30.917
2009	7.000	37.917
2010	7.000	44.917
2011	7.000	51.917
2012	7.000	58.917

El promedio de consumo por vehiculo es de 11 m<sup>3</sup> de GNV por día, al multiplicar este dato por el numero de vehículos convertidos se obtiene la cantidad de metros cúbicos de consumo por día y mes, que se pueden vender en todo el área metropolitana.

La meta que tiene EPM es masificar el consumo de este combustible y facilitar el montaje de 60 estaciones de GNV en el corto plazo pero de manera gradual; al finalizar el año se tiene presupuestado tener funcionando alrededor de 24 estaciones aumentando cada año un promedio de 12.

**TABLA 4**  
**Proyección de Consumos**

Año	Consumo M <sup>3</sup> /Mes	Cantidad estaciones	Ventas/ estaciones
2006	5.582.512,67	24	232.604,69
2007	7.892.512,67	36	219.236,46
2008	10.202.512,67	48	212.552,35
2009	12.512.512,67	60	208.541,88
2010	14.822.512,67	60	247.041,88
2011	17.132.512,67	60	285.541,88
2012	19.442.512,67	60	324.041,88

**TABLA 5**  
**Potencial de consumo**

Año	Vehiculos Convertidos	Consumo M <sup>3</sup> /Día	Consumo M <sup>3</sup> /Mes
2006	16.917	186.083,76	5.582.512,67
2007	23.917	263.083,76	7.892.512,67
2008	30.917	340.083,76	10.202.512,67
2009	37.917	417.083,76	12.512.512,67
2010	44.917	494.083,76	14.822.512,67
2011	51.917	571.083,76	17.132.512,67
2012	58.917	648.083,76	19.442.512,67

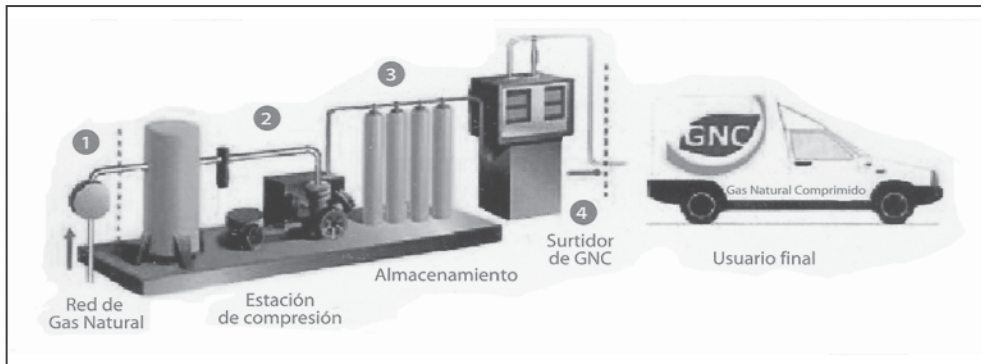
Promediando las ventas anuales durante los seis periodos se puede decir que cada estación tiene la oportunidad de vender 247.080,1453 m<sup>3</sup> de GNV.

Para efectos de la estimación de la demanda durante los seis años de duración del proyecto y por recomendaciones de agentes externos (Asesores de EPM y GNC ya nombrados), es preferible contar con una demanda de 200.000 m<sup>3</sup>/mes.

### 3. ESTUDIO TÉCNICO

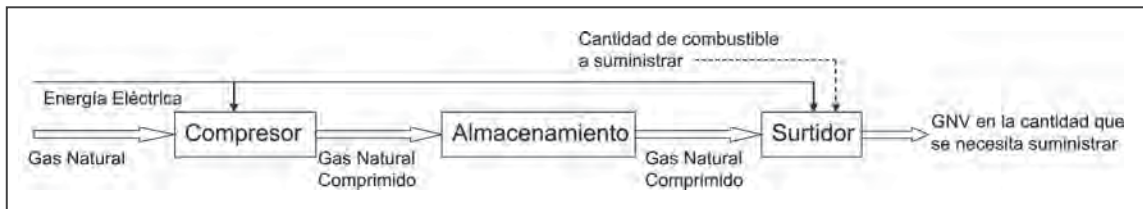
Equipos necesarios para el suministro de GNV en la estación.

**ILUSTRACIÓN 1**  
**Funcionamiento de una estación de GNV**



GASEPM@, 2006

**ILUSTRACIÓN 2**  
**Diagrama de Flujo**



#### Descripción del diagrama de flujo

El gas natural viene directamente por el gasoducto, es el mismo gas que se utiliza en el sector residencial. Luego se comprime hasta 3000 PSI y se almacena para mantener constante la presión en el momento de la entrega, listo el proceso ya se puede disponer del gas en el consumidor final, en las cantidades que se requieran.

Lo más importante de este estudio es determinar los costos de la inversión inicial, que en este caso son:

**TABLA 6**  
**Total Inversiones**

Resumen	Precio
Maquinaria y equipos	\$ 804.250.842
Acometida	\$ 175.000.000
Obras civiles	\$ 300.413.190
Otros	\$ 21.500.000
<b>Total</b>	<b>\$ 1.301.164.032</b>

#### 4. ESTUDIO ORGANIZACIONAL

Luego de realizar un detallado análisis de la estación donde se realizara el proyecto se determina la siguiente estructura organizacional desprendiendo una nueva cantidad de mano de obra que se muestra en la ilustración 3.

Además se cuentan con otros costos de operación que ascienden a la suma promedio de 1'422.304 \$ por mes.

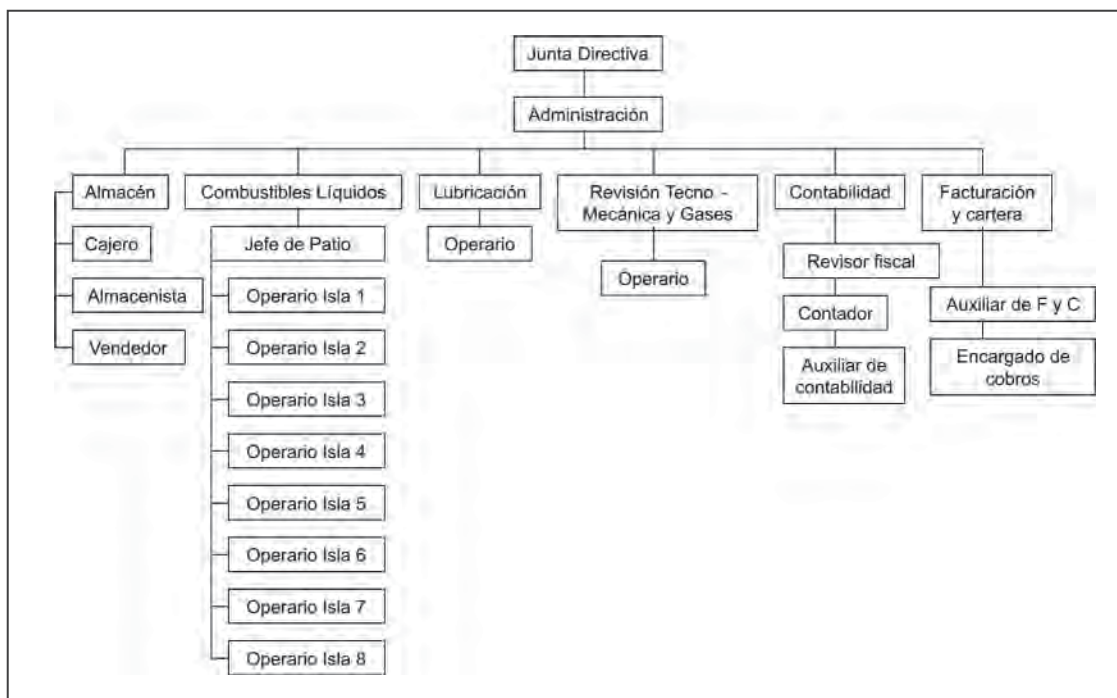
#### 5. ESTUDIO LEGAL

Se revisan las normas que reglamentan el proyecto estimando la forma como estas lo afectan técnica, organizacional y económicamente. Las más importantes son:

Decreto 1605 de 2002, por el cual se define el esquema de vigilancia y control al que están sometidas las actividades relacionadas con el Gas Natural Comprimido para uso vehicular.

Resolución 8-0582 de 1996, mediante se reglamenta técnicamente las estaciones de GNV.

**ILUSTRACIÓN 3**  
**Estructura organizacional existente en la estación**



**TABLA 7**  
**Salarios**

	Horas Trabajadas	Salario Base	H R N	H R F	H R N F	Recargas	1+FP	Auxilio Trans.	Costo Mano Obra Mes
Operario A Turno Mañana	240	408.014,00	0	16	0	20.400,70	1,5022	47.700,00	699.688,38
Operario B Turno Mañana	240	408.014,00	0	16	0	20.400,70	1,5022	47.700,00	699.688,38
Operario A Turno Tarde	240	408.014,00	0	16	0	20.400,70	1,5022	47.700,00	699.688,38
Operario B Turno Tarde	240	408.014,00	0	16	0	20.400,70	1,5022	47.700,00	699.688,38
Operario Turno Nocturno	240	408.014,00	192	0	32	174.085,97	1,5022	47.700,00	930.554,40
<b>TOTAL</b>									<b>3.729.307,93</b>



## 6. ESTUDIO FINANCIERO

Inicialmente se definen las variables que intervienen en el flujo de caja, A continuación se desarrolla el flujo de caja del inversionista y del proyecto, Luego se realiza el análisis de sensibilidad alterando las variables más riesgosas del flujo de caja y se halla el punto de equilibrio de dichas variables.

### 6.1. Flujo de caja del proyecto y del inversionista

Luego de realizar el flujo de caja del proyecto arroja los siguientes indicadores de TIR y VPN:

TIR: 13,95%

VPN: 1'319.315.573\$

Con el flujo de caja del inversionista los resultados son los siguientes:

TIR: 17,97%

VPN: 1'275.255.882\$

### 6.2. Análisis de sensibilidad

Variación del volumen de ventas con respecto al VPN: El volumen de ventas es el factor que representa más riesgo de todas las variables, como se puede observar en el análisis DOFA, la amenaza y debilidad mas notoria es la competencia la cual incide directamente sobre el volumen de ventas.

**TABLA 8**  
Variación del volumen de ventas con respecto al VPN

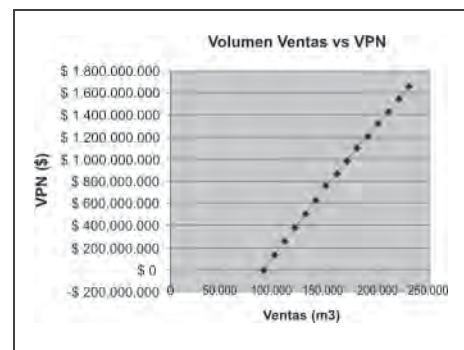
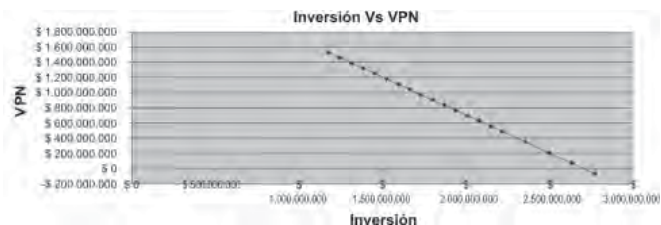
Ventas(m3)	TIR	VPN
230.000	16,219%	\$ 1.658.022.963
220.000	15,4831%	\$ 1.545.120.500
210.000	14,7265%	\$ 1.432.218.037
200.000	13,947%	\$ 1.319.315.574
190.000	13,14347%	\$ 1.206.413.110
180.000	12,31320%	\$ 1.093.510.647
170.000	11,45406%	\$ 980.608.184
160.000	10,56335%	\$ 867.705.721
150.000	9,63800%	\$ 754.803.258
140.000	8,52376%	\$ 629.192.421
130.000	7,36835%	\$ 503.581.583
120.000	6,16699%	\$ 377.970.746
110.000	4,91397%	\$ 252.359.909
100.000	3,60244%	\$ 126.749.072
90.000	2,07846%	-\$ 11.851.156

Variación de la inversión con respecto al VPN: En este caso se varia la inversión desde un punto inferior (-15%) del valor de esta, aumentando (lo mas critico es que aumente la inversión) con un rango de (5%) hasta encontrar el punto donde el VPN se vuelva negativo.

**TABLA 9**  
Variación de la inversión con respecto al VPN

Inversión	TIR	VPN
(-) 15%	17,4311%	\$ 1.527.256.714
(-) 10%	16,1707%	\$ 1.457.943.001
(-) 5%	15,0141%	\$ 1.388.629.287
(+) 0%	13,9472%	\$ 1.319.315.574
(+) 5%	12,9586%	\$ 1.250.001.860
(+) 10%	12,0387%	\$ 1.180.688.147
(+) 15%	11,1796%	\$ 1.111.374.434
(+) 20%	10,3746%	\$ 1.042.060.720
(+) 25%	9,6179%	\$ 972.747.007
(+) 30%	8,9048%	\$ 903.433.293
(+) 35%	8,2309%	\$ 834.119.580
(+) 40%	7,5925%	\$ 764.805.866
(+) 45%	6,9866%	\$ 695.492.153
(+) 50%	6,4103%	\$ 626.178.439
(+) 55%	5,8611%	\$ 556.864.726
(+) 60%	5,3368%	\$ 487.551.012
(+) 70%	4,3554%	\$ 348.923.586
(+) 80%	3,4529%	\$ 210.296.159
(+) 90%	2,6187%	\$ 71.668.732
(+)100%	1,8440%	-\$ 66.958.695

**ILUSTRACIÓN 4**  
Inversión vs. VPN





## CONCLUSIONES

Las conclusiones que se derivan del presente estudio consideran aspectos de tipo económico, técnico, social y ambientalmente, siendo, indiscriminadamente, las siguientes:

El proyecto es viable financieramente como se demuestra a través de los análisis que se realizaron por los diferentes medios de evaluación y los escenarios posibles: desde el punto de vista del inversionista y desde el punto de vista del proyecto. La tasa interna de retorno es mayor que la tasa de descuento y el valor presente neto, considerado como ganancia extraordinaria, es ampliamente significativo.

La sensibilización del proyecto corresponde a la determinación de hipótesis y estimaciones sobre el comportamiento financiero del proyecto al cambio de variables fundamentales tales como: el volumen de ventas y la inversión del proyecto; que definen su viabilidad en el tiempo. El proyecto en condiciones desfavorables, mas no extremas, continua siendo viable; lo que implica una alta probabilidad para su puesta en marcha.

El punto de equilibrio es relativamente bajo, lo que permite obtener utilidades a niveles de ventas fácilmente alcanzables en el corto plazo.

Para la estación de servicios, como empresa, es de gran importancia la implementación de la venta de GNV por que ello hará posible la prestación de otros servicios, complementarios, que hacen parte de su portafolio; incrementando sus ingresos en forma integral.

Para realizar el estudio de mercado es muy difícil definir un modelo con todas las variables que se deben tener en cuenta, además estas no son directamente funcionales, por es necesario partir de una suposición a nivel macro (Proyecciones de EPM) para estimar la demanda en esta estación, las otras variables sirven solamente para justificar en cierta medida la demanda, el crecimiento de las conversiones de vehículos están en ascenso

debido a el aumento del parque automotor, los precios de los combustibles líquidos están en constante alza, la estación se encuentra en un sector de buen flujo vehicular, son justificaciones de peso para sustentar esta demanda.

## BIBLIOGRAFÍA

### CLÁSICA

CADENA, Fabio y ESPITIA, Juvenal. Avances en la preparación de los nuevos reglamentos técnicos para la industria del GNV. En: Gas vehicular:

Revista especializada del GNV. No. 16 (feb. – abr. 2004); Pág. 11 – 13

GAS NATURAL EMPRESAS PÚBLICAS DE MEDELLÍN. Manual técnico del Gas natural vehicular y el gas por red residencial. Medellín: Gas natural EPM.

GIRALDO, Nicolás et al. Evolución de una muestra de vehículos convertidos a GNCV al servicio de la MEBOG. En: Gas vehicular: Revista especializada del GNV. No. 16 (feb. – abr. 2004); Pág. 26 – 30

MIRANDA, Juan José, Proyectos Factibles, Santa Fé de Bogotá, Colombia, Nueva Colombia Industrial, 1996, ISBN 958-33-0336-4, 548 p.

SAPAG, N, SAPAG, R. Preparación y Evaluación de Proyectos, Tercera Edición, Santa Fé de Bogotá, Colombia, Mc - Graw Hill, 1995, ISBN 958- 600-338-8, 404p.

### INTERNET

ESTTRIB@ ESTÍMULOS TRIBUTARIOS HICIERON DUPLICAR MAQUINARIA EN LEASING. [En línea], Citado el 17 de Agosto de 2006. Disponible en Internet: [http://www.presidencia.gov.co/prensa\\_new/sne/2005/febrero/19/03192005.htm](http://www.presidencia.gov.co/prensa_new/sne/2005/febrero/19/03192005.htm)

**GALILEO@**

PRODUCTOS GALILEO. [En línea], Citado el 7 de Octubre de 2006. Disponible en Internet:

<http://www.galileoar.com/2005/castellano/compresion/>

**GASEPM@**

EMPRESAS PÚBLICAS DE MEDELLÍN E.S.P. [En línea], Citado 30 de Marzo de 2006. Disponible en Internet:

<http://www.eppm.com/epmcom/contenido/acercade/infraestructura/distribucionga.htm>

**GNVCOL@**

EN MEDELLÍN, GNC LA RED DE ESTACIONES DE GAS VEHICULAR. [En línea], Citado el 13 de Agosto de 2006. Disponible en Internet:

[http://www.elcolombiano.com.co/BancoConocimiento/E/en\\_medellin\\_gnc/en\\_medellin\\_gnc.asp](http://www.elcolombiano.com.co/BancoConocimiento/E/en_medellin_gnc/en_medellin_gnc.asp)

**HGASLACPM@**

PRECIOS HISTÓRICOS GASOLINA Y ACPM. [En línea], Citado el 3 de Septiembre de 2006. Disponible en Internet:

<http://www.minminas.gov.co/minminas/sectores.nsf/2a84e89f4d73f13005267be0052c75a/ce965cf26ab97e0b05257141006af207?OpenDocument#PRECIOS%20E%20GASOLINA%20MOTOR%202006>

**HISTGN@**

Historia del gas natural. [En línea], Citado el 25 de Agosto de 2006. Disponible en Internet:

<http://gasnaturalperu.pe.tripod.com/elgasnatural/id3.html>

**MINMINAS@**

CONVERSIONES GAS VEHICULAR AGOSTO 2006. [En línea], Citado el 14 de Agosto de 2006. Disponible en Internet:

[http://www.minminas.gov.co/minminas/sectores.nsf/870e3d03e406864905256def0072494c/a554c3bac57f0c9305256def0070bd14/\\$FILE/Conversiones%20Gas%20Vehicular%20Agosto%202006.pdf](http://www.minminas.gov.co/minminas/sectores.nsf/870e3d03e406864905256def0072494c/a554c3bac57f0c9305256def0070bd14/$FILE/Conversiones%20Gas%20Vehicular%20Agosto%202006.pdf)

**MINTRANSPORTE@**

VEHÍCULOS MATRICULADOS EN EL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA.

[En línea], Citado el 18 de Agosto de 2006. Disponible en Internet:

[http://www.mintransporte.gov.co/Servicios/Estadisticas/Transporte\\_Automotor/Vehiculos\\_Matriculados\\_en\\_Depto\\_Antioquia.pdf](http://www.mintransporte.gov.co/Servicios/Estadisticas/Transporte_Automotor/Vehiculos_Matriculados_en_Depto_Antioquia.pdf)

**MUNSAB@**

MUNICIPIO DE SABANETA. [En línea], Citado el 7 de Agosto de 2006. Disponible en Internet: <http://www.sabaneta.gov.co>

**MXM@,**

COMO PLANIFICAR PROYECTOS DE INGENIERÍA. [En línea], Citado el 5 de Abril de 2006. Disponible en Internet:

[http://www.mailxmail.com/curso/empresa/proyectos\\_ingenieria/capitulo2.htm](http://www.mailxmail.com/curso/empresa/proyectos_ingenieria/capitulo2.htm)

**PETROGAS@**

PETROGAS VEHICULAR LTD. [En línea], Citado el 30 de Marzo de 2006. Disponible en Internet: <http://www.petrogasvehicular.com/ventajas.htm>

**RESPCIVIL@**

RESPONSABILIDAD CIVIL EXTRA CONTRACTUAL. [En línea], Citado el 25 de Septiembre de 2006. Disponible en Internet:

[http://www.suramericana.com/producto\\_534.aspx](http://www.suramericana.com/producto_534.aspx)

**REVMOTOR@**

LA VERDAD SOBRE EL GAS NATURAL VEHICULAR. [En línea], Citado el 13 de Agosto de 2006. Disponible en Internet:

[http://www.motor.com.co/noticias\\_precios/herramientas/consejos/consejos1/ARTICULO-WEB-NOTA\\_INTERIOR\\_MOTORV2-2549009.html](http://www.motor.com.co/noticias_precios/herramientas/consejos/consejos1/ARTICULO-WEB-NOTA_INTERIOR_MOTORV2-2549009.html)

**PORTAFOLIO@**

REVISTA PORTAFOLIO. [En línea], Citado el 16 de Agosto de 2006. Disponible en Internet:

<http://www.portafolio.com.co>

# **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 FLEXIBLES**

**JUAN ESTEBAN GONZÁLEZ**  
*dpalaci8@eafit.edu.co*

**DAVID PALACIO RAIGOSA**  
*jgonza21@eafit.edu.co*

Escuela de Ingeniería  
Departamento de Ingeniería Mecánica – 2006

**ÁREA DE ÉNFASIS**  
MEJORAMIENTO CONTINUO

**ASESOR PRINCIPAL**  
MARGARITA MARÍA JARAMILLO

**SECTOR BENEFICIADO**  
XXXXXX



## **RESUMEN**

Este artículo muestra el planteamiento de un 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 flexibles. En el se describe un modelo real de los equipos traslapados a manera de sistemas y la ejecución de cada paso a manera de flujograma, llegando al detalle de tareas para lograr cada actividad con sus responsables.

## **PALABRAS CLAVE**

TPM, planeado, flujograma, plan maestro, sistemas, pilares, 5S

## **ABSTRACT**

This article shows an approach of a implementation model of the first three steps from the planned maintenance pillar of the TPM methodology starting from the 5S philosophy in a flexible packing company. In it is described a real model of the overlapped teams in a systems manner and the execution of each step in a flowchart way, reaching to the detail the tasks to achieve each activity whit his responsible.

## **KEY WORDS**

TPM, planned, flowchart, master plan, systems, pillars, 5S

## **INTRODUCCIÓN**

Desde la visión de los sistemas de mejoramiento continuo, el TPM tiene que ser planteado como una estrategia metodológica que tenga como objetivo maximizar los recursos e involucrar a todo el personal, para que produzca los beneficios y se convierta en una importante herramienta que lleve a ser más competitivos.

El TPM permite diferenciar una organización en relación a su competencia debido al impacto en la reducción de los costos, disminución en los tiempos de respuesta, el conocimiento que poseen las personas, aseguramiento de la calidad y servicios finales.

“El mantenimiento planeado o planificado es uno de los pilares más importantes en la búsqueda de beneficios en una organización industrial. El propósito de este pilar consiste en la necesidad de avanzar gradualmente hacia la búsqueda de la meta “cero averías” para una planta industrial.” (Suzuki, 1995, 1-20).

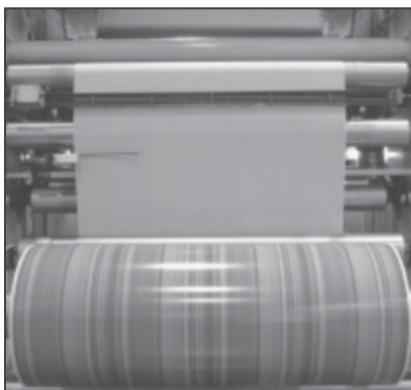
En este artículo, el lector podrá conocer a grandes rasgos un modelo para la implementación de los pasos 1, 2 y 3 del pilar de mantenimiento planeado de la metodología TPM en una planta manufacturera.

## **1. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA Y NECESIDADES**

La compañía de empaques flexibles es una empresa líder en la producción de este tipo de empaques en el medio, se especializa en empaques que permitan generar mayor valor agregado, es decir, responder a mayores exigencias; por esto se inclina hacia los mercados alimenticios y de productos de higiene, adicionalmente, buscan clientes en el negocio alimenticio que pertenezca a la gama alta, es decir, que tengan un alto grado de industrialización.

Actualmente no existen barreras geográficas y los mercados están envueltos en una competencia mundial. La industria alimenticia y de higiene no es ajena a esta situación, por lo cual buscan optimizar sus recursos y diferenciar sus productos.

**FOTO 1**  
**Proceso de impresión**



@aluflexpack, 2006

Por otra parte las características de los ordenes y pedidos que los clientes realizan son por volúmenes mucho menores, existe un variado número de referencias, los tiempos de entrega son cortos, ocurre un alto número de cambios y modificaciones en el diseño, el arte gráfico es mucho más complejo, con medios tonos, tramas y registros mucho más exigentes.

El elevado precio del petróleo y de todos sus derivados en los últimos años, ha hecho que las materias primas que son necesarias para la manufactura del tipo de productos en la industria de empaques flexibles sean más costosas.

Estas condiciones hacen necesario que se deba ser más competitivos en el medio, reducir pérdidas, incrementar y beneficiar la productividad en las máquinas, desarrollar habilidades y conocimientos en las personas que trabajan en ellas para que puedan hacer gestión directamente en la máquina y el proceso.

## **2. LA FILOSOFÍA DE LAS 5S Y LA METODOLOGÍA DEL TPM**

Se puede relacionar las 5S con TPM debido a que comparten objetivos comunes, que a la hora de implementar la filosofía de las 5S se convierte en un trabajo previo al TPM que le abona el terreno para su implementación.

Algunos de los objetivos o logros en común que comparten son: reducción de inventarios o stocks de repuestos, alto grado de motivación, aumento de la capacidad de la planta, entre otros.

## **3. EL TPM Y EL PILAR DE MANTENIMIENTO PLANEADO**

El TPM se orienta a crear un sistema corporativo que maximiza la eficiencia de todo el sistema productivo, estableciendo un sistema que previene las pérdidas en todas las operaciones de la empresa. Esto incluye “cero accidentes, cero defectos y cero fallos” en todo el ciclo de vida del sistema productivo (Suzuki, 1995, 1-20).

“El mantenimiento planificado normalmente se establece para lograr dos objetivos: mantener el equipo y el proceso en condiciones óptimas y lograr la eficacia y la eficiencia en costes” (Suzuki, 1995, 145).

Para que el desarrollo del pilar de mantenimiento planeado sea llevado a cabo de manera eficaz y ágil, es necesario desarrollar sus actividades de forma ordenada y secuencial. Estas actividades, también conocidas como pasos, facilitan la preparación y se enfocan en el logro de los objetivos del pilar.

El primer paso del pilar de mantenimiento planeado llamado “evaluar el equipo y entender la situación de partida” pretende decidir que equipos serán objeto de mantenimiento planificado, es necesario preparar o crear sus registros y priorizar estos de acuerdo con criterios preestablecidos. El segundo paso titulado “restaurar el deterioro y corregir debilidades” busca apoyar las actividades de mantenimiento autónomo de los operarios, restaurando el deterioro acelerado, corrigiendo las debilidades de diseño y restaurando el equipo hasta su condición óptima. Y el tercer paso del pilar de mantenimiento planeado denominado “desarrollar un sistema de administración de información” se enfoca en obtener un correcto manejo de la información de mantenimiento.

#### **4. MODELO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LOS PASOS 1, 2 Y 3 DEL PILAR DE MANTENIMIENTO PLANEADO EL PROCESO DE CAMBIO**

##### **4.1 Antecedentes**

Para el planteamiento del modelo se parte de una situación en la cual se tiene una filosofía de 5S ya implementada y operando de manera eficiente en toda la planta.

Se parte de la decisión gerencial de implementar el TPM, contando con una oficina para la promoción y desarrollo del TPM, la conformación de un comité de dirección para el programa y un plan maestro definido en pilares y tiempos de duración para cada paso de estos pilares.

##### **4.2 Plan maestro de los pasos 1, 2 y 3 del pilar de mantenimiento planeado**

La creación del plan maestro ocurre en dos etapas; en la primera el líder del proyecto del TPM define los pilares y la duración de cada paso de estos. Luego de ser aprobado por la dirección de la compañía, pasa a una segunda etapa, donde el líder del TPM acuerda con los líderes de pilares las actividades, su duración y peso dentro del plan maestro inicial.

##### **4.3 Sistemas del pilar de mantenimiento planeado**

Los sistemas de mantenimiento planeado se proponen como un conjunto de pequeños grupos de trabajo que buscan ordenadamente contribuir al desarrollo y sostenimiento del pilar de mantenimiento planeado.

Para la conformación de los sistemas se propone considerar las responsabilidades y perfiles de cada integrante del proceso, con el fin de asignar el sistema más compatible a las responsabilidades y aptitudes de cada individuo. Cada sistema deberá contar con un líder, el cual será el encargado de dirigir y responder por el cumplimiento de las responsabilidades que el sistema adquiera.

Los sistemas propuestos y su función dentro de la metodología son listados a continuación:

Manejo de Herramientas e Instalaciones: este sistema reúne un grupo de integrantes de mantenimiento alrededor de un objetivo común: mantener en óptimas condiciones de operación y seguridad todas las herramientas necesarias para efectuar las labores de mantenimiento con los tiempos asignados para cada actividad. Cada miembro del sistema tiene una responsabilidad: buscar que los equipos de mantenimiento autónomo y planeado tengan a disposición las herramientas necesarias para efectuar sus tareas de mantenimiento.

Soporte a Mantenimiento Autónomo: Su objetivo es generar un puente de comunicación entre los pilares de



mantenimiento autónomo y mantenimiento planeado, con el fin de que los integrantes del pilar de mantenimiento autónomo adquieran habilidades técnicas en inspección, mantenimiento y atención a fallas.

**Control de Partes y Proveedores:** El propósito de este sistema es el de mantener disponible todas las partes y suministros que afecten directamente las actividades de mantenimiento. El sistema busca Identificar las partes críticas de los equipos, identificar proveedores calificados con alta calidad y bajo tiempo de respuesta. Mantener todos los repuestos de los equipos disponibles en el momento de la intervención, y crear o eliminar repuestos del Stock de almacén con base en el análisis de movimientos de partes en el tiempo.

**Documentación Técnica:** Su finalidad es la de establecer un sistema que garantice que la información generada por el pilar de MP y los proyectos tanto liderados como ejecutados por el pilar de MP, sea adecuadamente almacenada de modo que pueda ser consultada de manera fácil y rápida.

**Proceso de Eliminación de Fallas:** Busca la eliminación de las fallas mayores y menores repetitivas a través del reporte e investigación de cada una de ellas.

**Manejo de Costos de Mantenimiento:** Su finalidad es la de reducir y conservar el costo de las actividades de mantenimiento analizando las frecuencias de las actividades programadas, reduciendo las tareas correctivas y fortaleciendo las predictivas.

**Procedimientos y Estándares de Mantenimiento:** Este sistema busca mediante la documentación escrita de las actividades o procedimiento de mantenimiento, una estandarización de las mismas, con lo cual se obtengan reducciones de tiempos y errores por inexperiencia o falta de conocimiento e información.

**Métodos de Mantenimiento:** El sistema tiene como finalidad que los equipos productivos tengan una prioridad y cuenten con un razonable sistema de mantenimiento planificado.

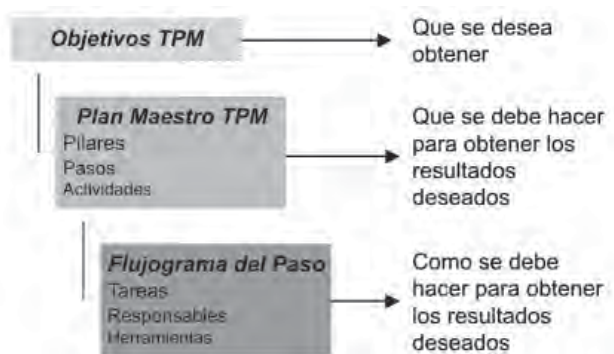
**Planeación y Programación del Mantenimiento:**

El objetivo de este sistema es optimizar los recursos de mantenimiento y al mismo tiempo aumentar la disponibilidad de los equipos, coordinando estos con los repuestos, las herramientas y el personal para realizar las actividades de mantenimiento.

**4.4 Metodología propuesta para el desarrollo de los pasos 1, 2 y 3 del pilar de mantenimiento planeado**

Para la implementación del TPM se partirá del plan maestro desarrollado por la oficina del TPM y de la propuesta de Tokutaro Suzuki para la implementación de mantenimiento planeado, para lo cual se organizarán todas las actividades en un método denominado “flujograma”.

El flujograma, o diagrama de flujo, es creado a partir del plan maestro del TPM. Es una explicación ordenada y detallada de las tareas que deben ser llevadas a cabo para la realización de las actividades de cada paso de cada uno de los pilares. Para cada uno de los pasos, se tiene un flujograma, que cuenta con las tareas, con la definición de los responsables y las herramientas para darle desarrollo a las mismas. Además sobre una línea de tiempo determina cuando y en que orden se debe realizar cada tarea.



La creación del flujograma es responsabilidad del líder de pilar y el comité o integrantes de pilar, en compañía de la oficina del TPM. Debe ser diseñado en concordancia con el tiempo y recursos disponibles para la implementación de la metodología TPM. Cada responsable de sistema o



integrante de pilar debe hacer seguimiento al flujograma, mientras que cada líder de pilar y líder del TPM debe hacer seguimiento al plan maestro.

#### **4.5 Paso 1: Evaluar el equipo y entender la situación de partida**

La evaluación de la prioridad de los equipos en una compañía es el punto de partida para darle enfoque al pilar de mantenimiento planeado, definiendo en cuales unidades productivas se debe desarrollar la metodología. De acuerdo a los valores corporativos, estructura organizacional y con base en las características de los procesos realizados en la empresa. Se plantea adoptar la metodología definida en el anexo C, tomando como criterios de evaluación la seguridad e impacto ambiental, la producción y la calidad, factores de retraso, la operabilidad y la mantenibilidad, definiendo como equipos a incluir en la metodología los clasificados como A o B.

Con los equipos definidos como A y B, se propone llevar a cabo una actividad de registro y actualización de información; conocer a un nivel de referencia más detallado los equipos y así facilitar su mantenimiento

Para comprender la situación inicial se hace necesaria la definición de índices de medida, de los datos que conforman estos índices y de las fuentes de información de los datos. Con base en las medidas se conocerá el estado preliminar del cual se parte. Luego de conocer la situación de partida se deben fijar objetivos de mantenimiento, definiendo metas para los índices contenidos en el tablero de comando, para que de esta manera se promueva el mejoramiento continuo.

#### **4.6 Paso 2: Revertir el deterioro y corregir debilidades**

El segundo paso del pilar de mantenimiento planeado ocurrirá a lo largo de los pasos 1, 2 y 3 del pilar de mantenimiento autónomo, durante los cuales se brindará asesoría y soporte a los operarios miembros de los pequeños equipos de trabajo “para comprender y

superar los efectos del deterioro en sus equipos”, para abolir los entornos que causan el deterioro acelerado y para establecer las condiciones básicas del equipo” (Suzuki, 1995, 168).

Para darle soporte al pilar de mantenimiento autónomo, se propone acompañar de forma directa y de manera permanente durante todas las jornadas del TPM a los equipos de trabajo con personal técnico del proceso de mantenimiento productivo, que se ocupen de validar las normas que los equipos generen, ayudar a resolver los defectos que no puedan solucionar los equipos, identificar necesidades de conocimiento y suplirlas. Poner en práctica a través de los técnicos de mantenimiento, actividades de mejora orientada para corregir debilidades y ampliar los periodos de vida de los equipos y sus componentes. El planteamiento para estos técnicos es que hagan parte del equipo de mantenimiento autónomo, se involucren activamente a el desarrollo del pilar y se conviertan en entrenadores expertos.

#### **4.7 Paso 3: desarrollar un sistema de administración de información**

En este paso se pretende desarrollar un sistema en el cual se genere un proceso de datos de información. Las razones para llevar a cabo el desarrollo de un sistema de información son que “En las industrias de proceso necesitan mantenimiento una enorme variedad de equipos, y diferentes procesos requieren diferentes regímenes de mantenimiento” (Suzuki, 1995, 172). Toda esta diversidad de equipos y multiplicidad de procesos genera una cuantía de información tal, que no es posible de manejar de forma manual, es necesario contar con un sistema de gestión de información.

Un sistema de gestión de información de datos de fallos debe incluir: fechas de paros, tiempo de paro, clasificación de fallos, componente del equipo que ha fallado, responsable del trabajo, persona que evidencio el fallo, descripción del fallo, descripción de la solución del fallo. El sistema creado debe ser capaz de entregar datos por medio de los cuales se pueda determinar: frecuencia de fallos, tiempo de fallo, medidas para la

prevención de los fallos, además de datos que puedan servir a otros procesos de la empresa (producción), datos con los cuales se puedan crear reportes los cuales sirvan de análisis para tomar acciones de mejora.

El sistema de datos de equipos debe asegurar que los datos sean auténticos y estén actualizados, de manera tal que conduzcan a la acción y a la utilización de los resultados de cualquier labor, para revisar los estándares con relación a otros procesos. El sistema debe ser conformado de manera tal que este a la par con el nivel de control realmente existente en los equipos y desarrollado de forma escalonada, hasta cubrir todos los equipos competentes a mantenimiento. Y el sistema de gestión de equipos debe ser planteado de forma tal que el personal de mantenimiento y aun los operarios lo puedan utilizar de manera eficaz.

El sistema de gestión de presupuestos deberá ser generado con el fin de totalizar los gastos presentados por mantenimiento, como son el número de pedidos al mes, proyección del uso mensual esperado de artículos, entre otros desembolsos. Igualmente se necesitan registros de pedidos y de recepción de los materiales y suministros. Además son indispensables cuadros de uso de los artículos o servicios contratados, con lo cual se calculan totales para el periodo.

Por último se debe formar un sistema para el manejo de artículos e información técnica de estos; donde se puedan analizar las causas por las cuales se mantienen inventarios de repuestos de larga duración, como también busca mantener un seguimiento de los pedidos y recepciones de materiales que no requieran mucho tiempo. Para llevar a cabo la creación del sistema es necesario contar con listas de inventario con puntos de pedido, en las cuales se incluya toda la información relevante de los artículos, como puede ser el modelo del componente, especificaciones técnicas. Se debe contar con una estructura para el manejo de planos y diagramas.

## CONCLUSIONES

TPM es en términos generales una manera de organización. Al entregarle metodologías a todos los integrantes de la organización, TPM está velando porque todos estén orientados a unos mismos objetivos uniendo fuerzas.

El modelo propuesto logra ordenar de una manera más específica las ideas que propone el JIPM, por que si bien tienen una propuesta muy clara organizada en fases, pasos y actividades, a la hora de llevarlas a la práctica siempre se enfrenta la dificultad de como ejecutar estas actividades. El modelo propuesto logra tangibilizar de una manera más real los equipos traslapados a manera de sistemas y la ejecución de cada paso a manera de flujograma, llegando al detalle de tareas para lograr cada actividad con sus responsables.

Desde el punto de vista de visión corporativa, para una empresa de empaques flexibles de talla mundial que quiere expandirse en exportaciones, tener departamentos con indicadores de estandarizados comparables en cualquier sistema internacional es una gran ventaja, sobre todo a la hora de comparar sus tiempos de producción y de paros y sus sistemas de costos frente a otras empresas de su mismo tipo, además que la optimización de sus sistemas productivos permiten mejorar tiempos de entregas a la vez que se pueden mejorar los costos y por ende las utilidades. El modelo propuesto de mantenimiento Planeado, ataca en una manera ordenada y participativa la eliminación de todas las pérdidas incurridas por falta de conocimiento, práctica, exceso de defectos, falta de organización y estructuración.

Para el departamento de Mantenimiento de la compañía donde se realizó este proyecto, una herramienta como mantenimiento Planeado vuelca sus funciones, generando la suficiente confianza en su parte administrativa para delegar funciones, es decir, generar conocimientos en cascada, y empoderar a todos los miembros del departamento con funciones concretas, medidas y con seguimiento. Esto logra que se optimice

el tiempo de todo el personal y que los líderes planeen y ejecuten actividades más especializadas que antes de TPM no se pueden realizar por falta de tiempo.

Es un hecho dentro de la planta que el empoderar a los operarios supervisados por los técnicos en mantenimiento en funciones no solo operativas sino técnicas en la máquina alarga la vida de los equipos a su vez que ha logrado generar un sentido de pertenencia mayor al que se había logrado con 5S. Si bien las 5S lograron que los operarios se preocupen más por sus equipos y los cuiden, TPM logra que no solo los quieran cuidar sino que también los quieran mantener, prevenir su deterioro y conocer con certeza como funcionan y porque se les presentan problemas. Esto inicialmente es una tarea extra de Mantenimiento que genera tiempos de trabajo extensos y consume recursos, pero en el largo plazo logrará una vida útil más larga para las máquinas y un esquema planta-taller más eficiente.

El diseño del plan maestro para la implementación debe ser realizado de forma conjunta entre los líderes de pilar y la dirección del TPM de la compañía, por parte de los líderes de pilar se aporta el conocimiento de la situación real de la compañía y por parte de la dirección del TPM se brinda la asesoría para coordinar la forma de implementación de todos los pilares del TPM y constituye el documento más importante dentro de la metodología del TPM, porque en él se definen las actividades, el peso o la importancia de estas y su duración en cada uno de los pasos para la implementación.

Los sistemas son la estructura básica del pilar, no necesariamente están ligados a los pasos, pero los pasos sí se encuentran ligados a los sistemas; las actividades o tareas que son desarrolladas por los sistemas, son aquellas que el pilar debe de asegurar que sean implementadas para que el propio pilar pueda existir de manera funcional.

Los sistemas facilitan la comunicación vertical en ambos sentidos y horizontal, en dirección vertical desde la dirección hacia los dirigidos, y desde los integrantes de los sistemas hacia la dirección y en forma horizontal, entre todos y cada uno de los sistemas.

Los sistemas como estrategia para involucrar al personal, logran un trabajo directo y activo en el desarrollo de la metodología del TPM.

Mediante una metodología clara sobre la estratificación de prioridades entre procesos y equipos productivos, es posible lograr un mejor manejo de los recursos y mejores resultados del proceso de mantenimiento productivo.

El saber priorizar los equipos dentro de cada proceso productivo es una responsabilidad de primer orden, esta función debe ser efectuada por una persona con amplio conocimiento de los equipos y de los procesos, que además este en constante comunicación con el proceso productivo.

Los indicadores del pilar de mantenimiento planeado son la herramienta a través de la cual se hace evidente el mejoramiento continuo y permite identificar las áreas de oportunidad para plantear y desarrollar planes de acción.

Un seguimiento permanente por parte del personal de mantenimiento productivo hacia los pequeños equipos de trabajo del pilar de mantenimiento autónomo, trae como resultado una asistencia efectiva para las necesidades que no puedan ser ejecutadas por los operadores, una transferencia clara y rápida del conocimiento técnico de mantenimiento hacia estos y un responsable directo por parte de mantenimiento productivo.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- ÁLVAREZ LAVERDE, Humberto. Estrategia de las "5S". Manual electrónico producido por Advanced Productive Solutions, S.L, Barcelona – España. 2003.
- HIRANO, Hiroyuki, El JIT Revolución en las fabricas. Tecnologías de Gerencia y Producción S.A. Madrid – España. 1990. ISBN: 84-87022-62-6.
- 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. Universidad EAFIT. 2005.

NAKAJIMA, Seiichi. Introducción al TPM. Madrid: Tecnologías de gerencia y Producción S.A., 1993. 127 p. ISBN 84-87022-10-3.

NAKAJIMA, Seiichi. Programa de desarrollo del TPM: Implantación de Mantenimiento productivo total. Madrid: Tecnologías de producción y gerencia S.A. 1991. 423 p. ISBN 84-87022-82-0

SALORT BIZAMA, Heriberto. ¿Qué es la Estrategia de las Cinco S?. En: Revista Ingeniería de Planta. Santiago de Chile. Julio del 2003. Pág. 18-19. Edición 48.

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.

TSUCHIYE, Seiji. Mantenimiento de la Calidad. Producido por Productivity Press y traducido por TGP – Hoshin. Madrid - España. 1995. ISBN: 84-87022-16-2.

# **REDISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO EXPERIMENTAL DE UN MOLINO DE VIENTO TIPO SAVONIUS**

**JUAN CARLOS CHAVES P.**  
*jchavesp@eafit.edu.co*  
Departamento de Ingeniería Mecánica

**AREA DE ÉNFASIS**  
DISEÑO DE SISTEMAS TECNICOS

**ASESOR PRINCIPAL**  
DAVID COCK

**SECTOR BENEFICIADO**  
UNIVERSIDAD EAFIT



## **RESUMEN**

Los molinos de viento se convirtieron en la mejor opción de aprovechamiento de la energía eólica, aumentando el uso de energías renovables en el mundo. El molino de viento fue inventado hace cientos de años, por consiguiente se han formulado diversas configuraciones para usos específicos.

El estudio del molino de viento Savonius han generado muy buenas expectativas por parte de los amantes de la investigación de energías limpias, creando una expectativa frente a este sistema de generación de movimiento, la cual puede ser aprovechada para el bombeo de agua y la generación de energía a baja escala. Muchos de los estudios que se han realizado, apuntan a buscar la mejor disposición de los alabes para obtener la mayor eficiencia posible.

## **ABSTRACT**

The wind mills have been turned the best option to take advantage of the Aeolian energy, by increasing the use of renewable energies in the world. The wind mill was invented hundreds years ago; therefore diverse configurations for specific uses have been formulated. The wind mill Savonius study has generated very good expectations on the part of the lovers of the investigation of clean energies, by creating an expectation with this movement generation system, which can take advantage of the pumping water and the energy generation on low scale. Many of the studies that have been made aim to look for the best disposition of praise to obtain the greater possible efficiency.

## **PALABRAS CLAVE**

Alabes, Energía renovable Y Energía limpia.

## **KEY WORDS**

Renewable energy, Drooping and Clean energy

## INTRODUCCIÓN

El hombre por décadas a buscado diferentes formas de reemplazar la fuerza humana para la realización de tareas de la vida diaria. En este camino han aparecido una multitud de opciones, algunas más eficientes que otras, y algunas que han acompañado a los hombres en todo el transcurso de su desarrollo.

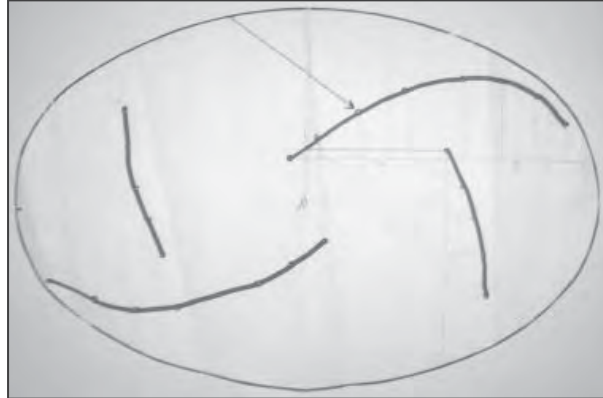
Después de la fuerza animal, está el uso del viento; inicialmente se utilizó como medio de transporte en los barcos de vela que transitaban por en Nilo, pero ya para el año 600 AC, se descubrió el gran potencial de este recurso para proveer de ayuda extra en las molienda de grano y bombeo de agua mediante el empleo de turbinas eólicas. Las turbinas eólicas llevaron un lento pero constante desarrollo hasta que la aparición de la máquina de vapor y el empleo de los combustibles fósiles la relegaron a un segundo plano.

Las principales aplicaciones de energía eólica se localizan en las líneas costeras, donde la velocidad y dirección del viento permiten la explotación a gran escala, utilizando aerogeneradores de eje vertical y de gran diámetro.

Las turbinas eólicas de eje vertical fueron las primeras en aparecer, su desarrollo se ha visto disminuido por el auge de los sistemas de eje horizontal. El desarrollo experimental de un equipo se ha convertido en una opción inviable debido a los altos costos y a los bajos resultados en su desarrollo, haciendo que sea necesario buscar modelos matemáticos, técnicas de modelación avanzadas por computación. etc., para obtener una mejor solución. Los métodos tradicionales presentan dificultades a la hora de solucionar este tipo de problemas debido a los niveles de turbulencia, a los campos de velocidad cambiantes, posición angular y a su geometría levemente compleja.

## DISEÑO DE LOS ALABES MODELO 1

El modelo que se tomó del estudio realizado por Cardona y Jiménez para darle continuidad al estudio del molino de viento Savonius. Se muestra en la figura.



Para lograr un modelo funcional, se acoplo un eje de aluminio de  $\frac{1}{4}$ " unido por dos rodamientos al molino de cartón, así se obtuvo el modelo a escala del molino de viento savonius con difusor.

Se realizaron los ensayos preliminares con el modelo funcional, se detecto que a una velocidad de 2 a 3 m/s, se presenta un desbalance debido a que el torque no era constante y se aprecia en un instante de tiempo ya que la maqueta absorbe la mayor cantidad de aire y produce su máximo torque.

En un instante de tiempo en el que los alabes y los difusores no están enfrentados directamente al caudal de viento, se crea un tiempo muerto el cual el molino pierde velocidad. Esta es la razón por la cual se decidió disminuir estos tiempos muertos para tratar de que la velocidad del molino sea constante y nos genere un torque más parejo.

Se analizó la geometría inicial del modelo, se encontró con que las tapas de forma elíptica puede influir en el balanceo del molino, no obstante, se tomó le decisión de modificar el modelos de tal forma que el (Par-torsor) disminuya al máximo construyendo tres maquetas iguales, unidas entre si con un desfase de 60 grados entre cada molino.



Se busca que en cualquier instante de tiempo, cualquiera de las tres caras del molino esté enfrentada al flujo de aire, esto con el fin de disminuir los tiempos muertos que me ocasionan el desbalance.

## DISEÑO DE LOS ALABES MODELO 2

En la figura se muestra el acople de las secciones del molino, se instaló un tubo de aluminio como eje con el fin de lograr una mayor rigidez del modelo y para hacerlo funcional en el momento de hacer las pruebas.



Se realizó un proceso de sellado al molino ya que el cartón absorbió humedad del ambiente y estaba perdiendo su rigidez, a partir de este momento se continuó con la fabricación de una base, la cual soportaría el molino en movimiento.

El modelo que se muestra en la figura, consta de un tubo de aluminio de 22 milímetros de diámetro por 2500 milímetros de largo, está pegado a las tapas del molino por medio de una pega epóxica. Los alabes y los difusores están pegados con silicona.



El diseño inicial está compuesto por un eje de aluminio como elemento autosoportado que va unido a dos chumaceras, la ventaja de esta configuración es la ausencia de marcos o vientos para sujetar el molino en la parte superior. Las chumaceras por tener la capacidad de autoalinearse, nos garantiza una perfecta movilidad el eje respecto a la base.

Se realizó la etapa experimental con las herramientas disponibles y se generó energía eléctrica por medio de un sistema de generación compuesto por un alternador, una fuente de 12 voltios y un banco de resistencias.

Se obtuvo como resultado una potencia de 48W, con una velocidad de 300RPM y un promedio de viento de 2.7Mts/Seg.

## CONCLUSIONES

Se presentó un desbalance debido a que el torque no era constante y se optó por acoplar tres molinos exactamente iguales y desfasados 60 grados respecto a su eje, corrigiendo así el desbalance debido al torque.

Los molinos de viento tipo savonius son muy ineficientes comparados con otros molinos, como se muestra en la figura 8, sin embargo son una buena alternativa ya que son sencillos de fabricar porque tienen pocos elementos y se pueden utilizar para el bombeo de agua.

Debido a la falta de recurso eólico, se utilizó una fuente de viento no muy acertada, un ventilador industrial y un sistema de medición de viento no muy preciso por el estilo de corriente de aire que genera diversas velocidades a lo largo del prototipo, esto refleja la poca disponibilidad de recursos para realizar un estudio más profundo y obtener datos más precisos a nivel experimental.

Es importante realizar el estudio del molino de viento Windside, que puede ser la evolución del molino savonius en múltiples segmentos, de tal forma que el área permanece constante en todo momento y a su vez el torque generado es más constante durante cada periodo de giro, evitando el desbalanceo del molino.

En el momento de diseñar un molino de viento, es importante tener en cuenta que la curva del mismo, a la velocidad promedio de la región, se busca que nos genere la máxima eficiencia.

## BIBLIOGRAFÍA

CARDONA, Velásquez Luís Javier y JIMÉNEZ. (1984). Análisis matemático y modelo experimental de un molino de viento Savonius de alta eficiencia. Medellín: 4-50 p.

CHAVES, Juan C. (2006). Rediseño y construcción de un modelo experimental de un molino de viento tipo savonius. Medellín. Universidad Eafit.

MORENO, Carlos E. (1974). Aprovechamiento de la energía eólica. Medellín. Universidad Pontificia Bolivariana. Pág. 92-94.

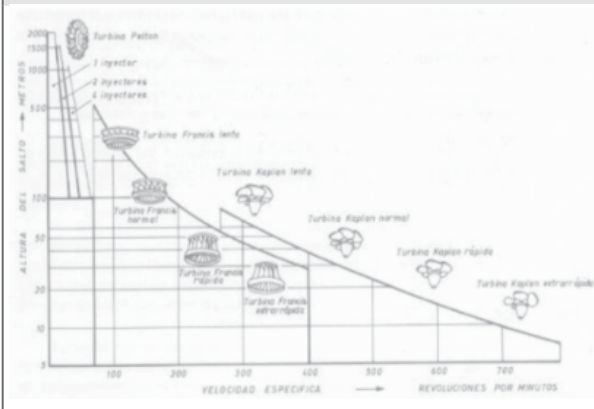
# CARACTERIZACIÓN DE UNA TURBINA DEL TIPO FRANCIS UTILIZADA POR UNA EMPRESA LOCAL DE GENERACIÓN DE ENERGÍA

JUAN ESTEBAN GALLEGO BETANCUR  
*jgalle10@eafit.edu.co*  
Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS  
DISEÑO DE SISTEMAS TÉCNICOS

ASESOR PRINCIPAL  
FRANCISCO JAVIER BOTERO

SECTOR BENEFICIADO  
UNIVERSIDAD EAFIT



## RESUMEN

La energía eléctrica se ha tornado en un elemento de primera necesidad tanto a nivel tecnológico como de subsistencia humana, por tal motivo, es importante el estudio de los elementos utilizados para su generación, es el caso del presente artículo, donde se caracteriza una turbina hidráulica Francis. De forma introductoria el artículo presenta las principales características de las turbinas tipo Francis en cuanto al estado del arte de las mismas, posteriormente se indaga en diferentes técnicas de monitoreo y su aplicación en turbinas hidráulicas, finalmente se caracteriza un modo de falla crítico presente en turbinas hidráulicas como lo es la cavitación. El estudio tuvo como objeto, entre otros, aportar elementos de primera línea a la investigación de una turbina Francis, investigación adelantada por el grupo GEMI de la universidad EAFIT en conjunto con una empresa local de generación de energía y Conciencias.

## ABSTRACT

The electrical energy had became in a first necessity element for technology development and the human survival, therefore, is pretty important the study of the elements used for its generation, is the case of the present article were a Francis hydraulic turbine is distinguished. As introduction, the article presents the mainly characteristics of Francis hydraulic turbines, later different kind of monitoring techniques and its application in hydraulic turbines are investigated, finally, a critical failure mode of hydraulic turbines, as the cavitation, is distinguished. One of the objectives of the study was bringing basic elements to the investigation of a Francis turbine, the investigation is developed by the GEMII group of the EAFIT University, a local company of energy generation and Colciencias.

## PALABRAS CLAVE

Turbinas Francis, Técnicas de Monitoreo, Cavitación, Reducción de eficiencia en turbinas Francis, Modo de falla crítico en turbinas Francis, Principales características de turbinas Francis, Monitoreo de la cavitación en turbinas Francis.

## KEY WORDS

Francis turbine, Monitoring techniques, Cavitation, Efficiency reduction in Francis turbines, Critical failure mode in Francis turbines, Mainly characteristics of Francis turbines, Cavitation monitoring in Francis turbines.

## INTRODUCCION

La generación de energía en una represa o central hidroeléctrica consta de tres elementos principales: una cantidad de agua represada, una turbina y un generador. El agua represada se conduce hacia la turbina que es accionada gracias a la presión y caudal del agua; la turbina esta conectada al generador. La turbina y el generador se deben situar en un nivel por debajo del nivel del agua represada, para así garantizar que el agua represada llegue a la turbina con las condiciones necesarias para el accionamiento.

Las turbinas utilizadas por las centrales de generación tienen como función principal transformar energía hidráulica en mecánica rotacional, esto es, a partir del agua proveniente del embalse, que entra a la turbina con determinada velocidad y presión, se acciona la turbina. Las turbinas son maquinas, que como todas, sufren deterioros, desgastes y averías, por tanto requieren de mantenimiento y monitoreo, se consideran maquinas bastante criticas ya que de ellas depende la disponibilidad de energía eléctrica para todo un país, estas se ven afectadas por diversos fenómenos que ocurren durante su funcionamiento y que constituyen la causa de diferentes modos de falla.

## CONCEPTOS GENERALES DE TURBINAS

Las turbinas se pueden dividir en: hidráulicas, a vapor y a gas dependiendo el fluido que provoque el movimiento. Las turbinas hidráulicas, caso de las turbinas Francis, convierten la energía del fluido hidráulico, en energía mecánica, gracias al trancito del fluido a través de la misma y aprovechando la energía del salto (Wikipedia @ 2006) (CIPRESS @ 2006).

El funcionamiento de las turbinas Francis consiste en el paso del agua a través del rodete o rotor, principal componente de la turbina, este gira conectándose al generador a través de un eje de rotación. Entre los principales componentes de las turbinas Francis se tiene la tubería forzada (que conduce el agua desde el embalse), la cámara espiral o caracol (que estabiliza el flujo de agua antes de alcanzar el rodete), los alaves distribuidores (que se encargan de regular el flujo de agua que entra al rodete), el rodete (que gira al contacto con el agua y transmite la rotación al generador, a través de un eje) y el tubo de aspiración (que se encarga de evacuar el agua proveniente del rodete), el recorrido del agua a través de la turbina se da en el orden que se enuncian los principales componentes, esto es, iniciando su cauce a través de la tubería forzada.

### Clasificación de turbinas

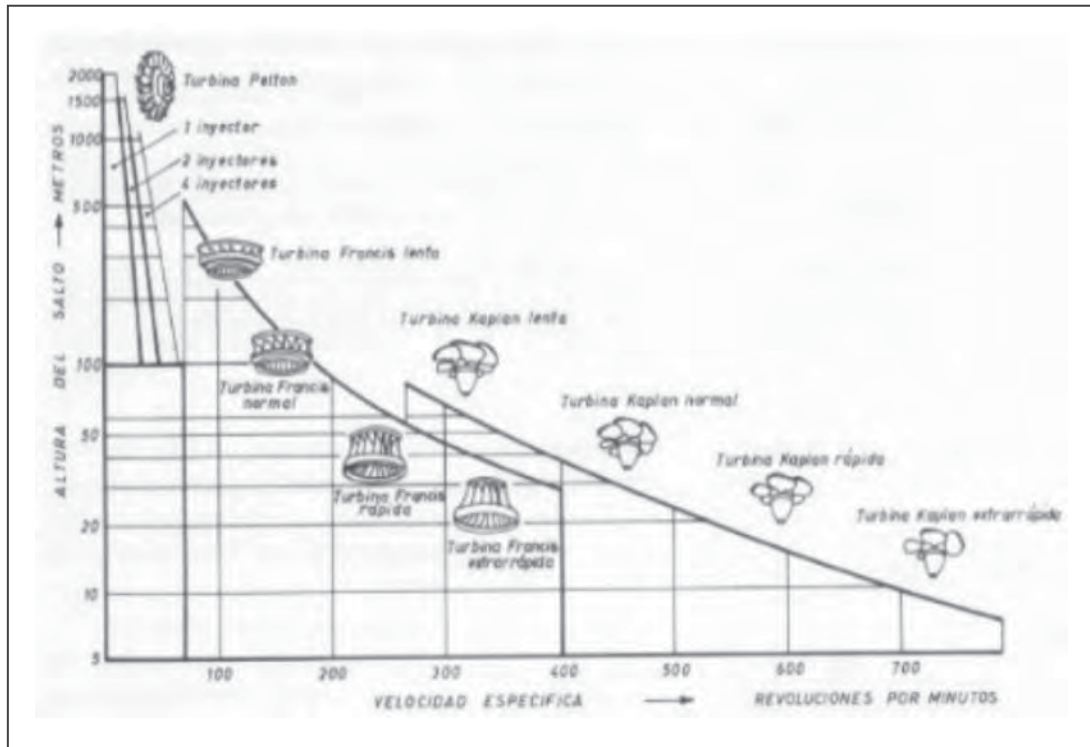
Las turbinas se dividen en dos grupos principales: turbinas de acción o impulso, caso de las Pelton, y de reacción, caso de las Francis y las Kaplan, ello de acuerdo a la forma en que el agua actúa sobre ellas, en las primeras, la energía del agua a la salida del distribuidor es toda cinética y en las segundas esto ocurre solo en parte. Asimismo también se pueden dividir las turbinas en axiales o radiales, según que la columna de líquido se desplace en el rodete con respecto al eje de rotación, o bien normalmente al mismo, es decir, de forma radial; en este caso, las turbinas Francis se clasifican en ambos grupos, es decir flujo mixto pues a medida que el agua se mueve a través del rodete, su radio de giro disminuye (CIPRESS @ 2006).

### Número específico de revoluciones

El número de revoluciones (ns) llamado específico, es un parámetro imprescindible a la hora de diseñar instalaciones hidráulicas pues da indicaciones precisas que permiten determinar las turbinas más adecuadas para un salto de altura y caudal conocidos. A demás todos los tipos de turbinas se dividen según su número específico de revoluciones y ello constituye la base para establecer series de rodetes y catálogos con todas las características que interesan en la construcción de las turbinas (CIPRESS @ 2006).

Un salto que puede oscilar entre los 18 - 520 metros.  
Caudales medios (de 1 a 700 m<sup>3</sup> / s).  
Potencia: 0,1 - 80 MW.

**FIGURA 1**  
**Rango de operación de turbinas (rpm Vs h del salto)**



UPC – CAVITACIÓN @ 2004

La utilización de turbinas Francis es recomendable cuando los valores de las instalaciones fluctúan entre los siguientes datos (UPC– CAVITACIÓN @ 2004):

### Margen de funcionamiento

El tipo de turbina más conveniente para ser utilizado en una central hidroeléctrica, ubicada en una zona con determinadas condiciones, viene dado por dos parámetros básicos de la instalación: H (la altura de salto) y  $n_s$  (la velocidad específica). Como se puede observar en la Figura 1, la turbina tipo Francis se usa en plantas de altura media.

### TÉCNICAS DE MONITOREO

Las técnicas de monitoreo constituyen elementos específicos de orden técnico; la cantidad de alternativas que se pueden usar en este campo es amplia y diversa. A continuación se listan algunas de estas metodologías que tienen gran aplicación y gran difusión en el medio internacional, de estas se encuentra gran cantidad de información, folletos catálogos y aplicaciones comerciales e industriales.

Las técnicas de monitoreo pueden ser clasificadas en tres grandes áreas: térmica, tribológica y de vibraciones, el conocimiento atribuido a estas áreas constituye el principio de funcionamiento de muchas de las técnicas de monitoreo.



**TABLA 1**  
**Características de las técnicas de monitoreo y diagnóstico**

Método	Subdivisión del método	Estado de la máquina		Especificación de la avería de la falla	Habilidades del Personal	Condiciones complementarias
		Parada	Operación			
Por sentidos de visión, tacto o auditivo		X		Superficie	Alta Experiencia	Amplo rango de métodos
			X	Componentes internos o exterior del equipo	Baja experiencia	Revisiones periódicas y usada especialmente en motores de aviones
Térmicos			X	Superficial o interna	Variadas	Usa diferentes instrumentos; desde termómetros hasta escáner infrarrojos
Tribológicos - Revisión			X	Sistemas lubricados como medio de extracción magnética, filtro o muestra evaluativa de aceite	Entrenamiento para diferenciar entre partículas normales y de materiales por desgaste.	Análisis espectral y espectrográfico o de ferrogafia para definir elementos extraños en la muestra
Fugas		X	X	Diversos elementos sometidos a presión interna	Entrenamiento previo en el medio usado	Ninguna
Detección de grietas	Líquidos penetrantes *	X	X	Superficies planas, rugosas, etc. pero limpias	Entrenamiento básico y baja experiencia	Muestra solo grietas que afloran en la superficie exterior
	Partículas magnéticas *	X	X	Cerca de superficies planas, lisas y limpias	Entrenamiento básico y baja experiencia, capaz de percibir fisuras	Solo sirve para materiales magnéticos, es muy preciso para orientar la dirección vectorial de las grietas
	Resistencia eléctrica	X	X	Superficies planas y limpias, sin rugosidades fuertes	Entrenamiento básico y baja experiencia	Sirve para orientar la dirección vectorial de las grietas. Muy utilizado para medir profundidad de las fisuras
	Corrientes inducidas *	X	X	Superficies exteriores a cerca de ella. La distancia de la sonda a la grieta afecta los resultados.	Alta experiencia y entrenamiento medio especializado.	Sirve para encontrar un amplio rango de discontinuidades de los materiales, elementos, grietas, fuerzas, esfuerzos, tensiones superficiales, durezas, temple, etc.
	Ultrasonidos	X	X	Requiere acceso a una superficie plana y limpia, sin rugosidades fuertes.	Para fisuras ocultas se requiere una alta experiencia y un entrenamiento medio especializado. En otras grietas visibles no requiere tanto.	Sirve como estudio complementario a otras técnicas.
	Radiografía	X	X	Debe ser posible acceder por ambos lados	Entrenamiento avanzado y alta experiencia en realización, lectura y análisis de radiografías, con alta capacidad de diagnóstico a partir de resultados	Se recomienda en superficies hasta de 50 milímetros en acero. Requiere de tener en cuenta la seguridad por exposición a la radiación. Sirve para grandes áreas de chequeo y estudio.
Análisis de vibraciones	Espectro de frecuencia, o pico a pico	X	X	Ductos, tubos o recipientes, elementos especiales.	Entrenamiento acorde al caso y a la criticidad de la falla o de la evaluación, la experiencia y el conocimiento depende de los elementos y las circunstancias a analizar.	Permite tomar medidas en tiempos cortos durante la operación. Monitorea situaciones permanentemente. Va desde medidas sencillas hasta casos complejos y difíciles
Corrosión	Corrosimetro. Elementos		X	Ductos, tubos o recipientes, elementos especiales.	Entrenamiento medio y alguna experiencia básica	Mide tpm de pérdida de corrosión
	Resistencia de polarización y potencial de corrosión		X	Ductos, tubos o recipientes, elementos especiales.	Entrenamiento medio y alguna experiencia básica	Únicamente manifiesta si ocurre la corrosión, su valoración es débil
	Probeta de hidrógeno		X	Ductos, tubos o recipientes, elementos especiales.	No requiere ninguna práctica	El hidrógeno penetra y se espesa en las paredes delgadas de la sonda, lo que provoca aumento de presión
	Perforaciones con taladros		X	Ductos, tubos o recipientes, elementos especiales.	Necesita saber la precisión de hasta donde se debe taladrar	Mide en qué momento se llega a la cantidad de corrosión previamente fijada
	Probetas de corrosión	X	X	Ductos, tubos o recipientes, elementos especiales.	Entrenamiento bajo y poca experiencia, sólo lo básico para el manejo de probetas	Se comprueba cuando la planta se detiene
	Ultrasonidos	X		Ductos, tubos o recipientes, elementos especiales.	Para fisuras ocultas se requiere una alta experiencia y un entrenamiento medio especializado. En otras grietas visibles no requiere tanto.	Es capaz de percibir 0.5 milímetros de erida de espesor e incluso menos



En la Tabla 1. se presenta de manera resumida algunas especificaciones de diferentes técnicas de monitoreo, para el caso de turbinas hidráulicas Francis, la aplicación de las técnicas es totalmente válida, aun que en la investigación realizada solo se encontró publicación de resultados a nivel de análisis de lubricantes como apoyo a la detección de un problema en el rodamiento guía de la turbina monitoreado a través de tratamientos térmicos.

Debido a la naturaleza de funcionamiento de las turbinas Francis, maquinas de alta velocidad rotacional, las técnicas de monitoreo basadas en la detección de vibraciones, son de gran aplicación. Las turbinas Francis durante su funcionamiento soportan esfuerzos dinámicos de origen hidráulico, mecánico y eléctrico que inducen vibraciones y establecen un estado de tensiones variables que provocan el envejecimiento y el desgaste de sus componentes. El nivel de deterioro de una máquina rotativa se refleja en las amplitudes de las vibraciones. Los niveles de vibraciones excesivos son peligrosos para el funcionamiento de las máquinas y están limitados por algunas normas vigentes (UNESP/FEIS – CAVITACIÓN @ 2006).

### **PRINCIPALES CAUSAS DE AVERÍA Y REDUCCIÓN DE EFICIENCIA EN TURBINAS FRANCIS**

Las principales causas de avería en turbinas hidráulicas son debidas a la cavitación, la erosión por arena, por defectos de materiales en los componentes y fatiga de los mismos. En saltos mayores de 250m, las turbinas empiezan a presentar problemas, estos son consecuencias esencialmente de las altas presiones, las variaciones de presión y las altas velocidades del agua. Para hacer frente a estos problemas, se realizan actualmente estudios e investigaciones de los fenómenos y los materiales de los componentes de las turbinas (TEV.CAP.14@2001).

#### **La cavitación como factor crítico en la reducción de la eficiencia y la vida útil de turbinas Francis**

La cavitación y la eficiencia están relacionadas de forma directa, esto es, mientras se optimizan parámetros

relacionados con la eficiencia de la turbina, como por ejemplo el perfil de los alabes, la cavitación en la turbina aumenta, un ejemplo de ello es la mejora realizada por la empresa generadora de energía para Canadá Hydro-Quebec, quien a través de una mejora al perfil de los alabes (específicamente al borde de salida del alabe) utilizando un CFD8, para analizar turbulencias en los flujos del tubo de salida, genero ganancias por cinco millones de dólares anuales, ello aumentando la eficiencia de sus turbinas en un 1.6%. El efecto del nuevo diseño, mas eficiente, respecto a la erosión por cavitación, fue negativo pues respecto al diseño antiguo se incremento la cavitación a la entrada "inlet cavitation" en un 30% a la máxima eficiencia y en un 85% a máxima potencia (JOURNAL – CAVITATION @ 1998).

No solo las investigaciones adelantadas por la central hidroeléctrica canadiense Hydro-Quebec y los creadores del software CFD Fluent, donde se adelantaron los análisis, afirman la relación entre la cavitación y la eficiencia, tal relación es confirmada también por instituciones como la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC) y el Politécnico Federal de Lausanne, Suiza, con su laboratorio de maquinas hidráulicas (LMH-IMHEF) quienes en su investigación conjunta de detección de cavitación en turbinas hidráulicas afirman que la cavitación afecta el funcionamiento y la eficiencia de las maquinas hidráulicas (SCIENCE DIRECT – CAVITACIÓN @ 2004).

De lo mencionado anteriormente se puede deducir que al realizar acciones para minimizar o eliminar la cavitación de las turbinas, se afectan los niveles de eficiencia y máximo rendimiento, un ejemplo practico de ello es la turbina Francis objeto de estudio de este proyecto. Su fabricante describe unos puntos limites de operación para que no ocurra el fenómeno de cavitación (Salto de 225m y descarga de 4.3 m<sup>3</sup>/s para obtener una potencia de 8855KW) con estos parámetros se obtiene una eficiencia del 93.5%; el obtener una eficiencia mayor implica modificar los parámetros especificados por el fabricante y por lo tanto dar las condiciones para la aparición del fenómeno cavitante.

La cavitación, como se mencionó anteriormente, a demás de ser un factor relevante en la reducción de la

eficiencia, es un factor crítico en cuanto la reducción de la vida útil de una turbina; este hecho lo confirma la investigación realizada en diferentes documentos, institutos y bases de datos internacionales consultadas, donde dicho fenómeno es frecuentemente tratado y estudiado; es por ello que a continuación se profundiza en la caracterización de tal fenómeno como un modo de falla crítico para dar cumplimiento al objetivo específico descrito al respecto.

### **Definición del Fenómeno.**

La cavitación es la formación y actividad de burbujas (cavidades) en líquidos. La formación, de estas cavidades tiene lugar cuando la presión de un líquido baja por debajo de la tensión de vapor ( $P_v$ ) (U OF MINNESOTA – CAVITACIÓN@ 2006).

Cuando la presión de un líquido disminuye lo suficiente, comenzará a evaporarse; esto es: una parte del mismo sufrirá una transformación de fase, pasando del estado líquido al gaseoso, ver Figura 7 La presión a la que este fenómeno tiene lugar es la denominada presión o tensión de vapor de saturación ( $P_v$ ), valor que depende fuertemente de la temperatura del fluido, incrementándose rápidamente con el aumento de la temperatura.

Los flujos o las corrientes cavitantes pueden erosionar las superficies sólidas al colapsar las burbujas como consecuencia de un nuevo aumento de la presión por encima de la presión de saturación del fluido (y siempre que estas burbujas se encuentren lo suficientemente cerca de las superficies: “colapso no es sinónimo de erosión”) Esta es la razón fundamental por la que conviene evitar, en la medida de lo posible, la presencia de flujos cavitantes en máquinas hidráulicas.

### **Fases del Fenómeno de la Cavitación**

La formación de la cavitación se divide en dos fases:

- a. La aparición y crecimiento de cavidades llenas de vapor en el interior del líquido que son arrastradas por la corriente, pudiendo aparecer junto al contorno

del sólido en contacto con el líquido. La velocidad de crecimiento será función de varios parámetros: el radio inicial de la cavidad, la presión exterior, etc.

- b. Una vez formadas y arrastradas las cavidades “burbujas”, estas colapsan, ya que la presión exterior a la cavidad es superior a la presión de vapor, y las burbujas colapsan violentamente, condensándose casi instantáneamente y pudiendo martillar la pared sólida con elevada amplitud que puede alcanzar valores instantáneos de 500 atm. (Presión) y temperaturas de 800° C debido a las ondas de choque. El colapso propiamente dicho es muy rápido: del orden de nanosegundos.

La intensidad de la implosión de la burbuja es función del tamaño de la misma y del gradiente local de presión.

### **Clasificación de la Cavitación en Turbinas Francis**

La cavitación puede ser clasificada de varias formas: según la forma en que se produce (por reducción de tensiones en el líquido, por introducción de energía), según su grado de desarrollo (incipiente, desarrollada, supercavitación y cavitación desinente), según el lugar donde se produce, según la forma en que empíricamente se ha observado que esta sucede, esto es: cavitación de burbujas separadas (bubble cavitation), cavitación de lámina (sheet cavitation) o cavitación de vórtice (vortex cavitation).

Las variaciones del punto de funcionamiento de las turbinas, tanto de salto como de caudal, hacen posible que se puedan producir diferentes tipos de cavitación en las mismas.

### **Características de la Cavitación en Turbinas Hidráulicas**

La cavitación en turbinas hidráulicas se caracteriza por un coeficiente adimensional llamado Thoma ( $\sigma$ ), este depende de factores como  $H_a$  (altura barométrica),  $h_s$  (altura de aspiración)  $h_v$  (altura de vapor) y  $H$  (salto neto).

Existen varias formas de determinar el coeficiente de Thoma, pero en general este se relaciona con la potencia  $W$ , salto neto  $H_n$  y el caudal  $Q$  de la central. Por lo tanto el coeficiente varía constantemente y la existencia o no de cavitación se determina por comparación con un coeficiente crítico de cavitación obtenido a partir de fórmulas experimentales para turbinas Francis, mientras dicho coeficiente sea menor al valor crítico, se evitara la cavitación (CARTIF – CAVITACIÓN @ 2006).

### **Efectos de la cavitación en máquinas hidráulicas**

Los efectos de la cavitación en máquinas hidráulicas son negativos, como se ha mencionado anteriormente, esta influye desfavorablemente tanto para el rendimiento de la turbina como para su vida útil, algunas de las consecuencias de su presencia son:

La formación de inestabilidades de carga parcial, consecuencia de trabajar con caudales inferiores al de diseño (cavitación de antorcha).

La formación de antorchas por sobrecarga (caudales de funcionamiento superiores al de diseño).

### **Presencia de ruido y vibraciones**

Disminución de prestaciones de la máquina hidráulica (caída del rendimiento), reduciendo la fiabilidad de las instalaciones.

Aumento en los gastos de mantenimiento (no solo el costo asociado de la(s) pieza(s) afectada(s), sino también los efectos asociados a parámetros de la producción).

### **Detección de Cavitación en Turbinas Francis**

La detección de la cavitación en turbinas Francis se realiza a partir del monitoreo de las vibraciones, esto debido a las altas frecuencias que se registran cuando se da el fenómeno. El monitoreo de la cavitación a partir de la medición de las vibraciones es un método bien difundido y utilizado por diferentes institutos internacionales, es el caso de la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC), España, la Escuela Politécnica Federal De Lausanne

(EPFL), Suiza, entre otros, estos utilizan equipos destinados al monitoreo de vibraciones, los sensores que emplean para el monitoreo son principalmente de presión, aceleración y ultrasonido, entre las principales conclusiones de tales institutos esta la consideración de la cavitación de burbuja y la de borde de entrada como las más erosivas, además se afirma que los resultados obtenidos a partir del monitoreo con sensores menos sensibles son análogos con los de mayor sensibilidad, esto permite disminuir los costos del monitoreo al poder utilizar sensores más económicos. La observación de varios estudios referentes a la detección de cavitación permite concluir que las condiciones de medición dependen del tipo de cavitación a monitorear, ello en cuanto a la ubicación de los sensores, además se puede concluir que los parámetros especificados en las diferentes normas internacionales para monitoreo de la cavitación, no se cumplen a cabalidad sino que dependen principalmente de las condiciones físicas propias de cada equipo y central hidroeléctrica a monitorear.

## **CONCLUSIONES**

Las turbinas Francis son turbinas de reacción gracias a al comportamiento del flujo sobre el rodete, este constituye el principal componente de la turbina en cuanto al cumplimiento de la función principal del artefacto, esto es, convertir la energía hidráulica del agua en energía mecánica rotacional. Un elemento importante a tener en cuenta a la hora de diseñar o seleccionar una turbina hidráulica Francis, es el número específico de revoluciones, que permite seleccionar diferentes elementos de la turbina que ha de trabajar bajo un salto y caudal conocido.

Los principales parámetros que influyen en la eficiencia de la turbina Francis son:

La altura efectiva: busca ser máxima en los casos que el agua abandona el rodete axialmente.

El perfil de los alabes del rodete: es diseñado teniendo en cuenta, principalmente, el caudal y los ángulos de entrada y salida del agua.

El perfil de los alabes del distribuidor.

La operación a velocidad variable y constante.

La cavitación como turbulencia.

El tamaño, en cuanto a las pérdidas por fugas (menores en turbinas grandes).

Las pérdidas por choque a la entrada del rodete.

Las pérdidas por fricción del fluido.

Las pérdidas de energía cinética debido a la velocidad absoluta del agua en la descarga del rodete, entre otras.

Las técnicas de monitoreo pueden ser clasificadas en tres grandes ramas de aplicación general: térmica, tribológica y de vibraciones.

La aplicación de las técnicas de monitoreo descritas pueden ser aplicadas a diversos componentes de las turbinas hidráulicas Francis, dependiendo de que elemento, sección de la máquina, comportamiento, modo de falla, entre otros se quiera analizar, un ejemplo de ello pueden ser los rodamientos de la misma, los cuales pueden denotar anomalías por calentamiento (provocado por desalineamiento, desgaste, etc.), tal calentamiento puede ser rastreado por técnicas de monitoreo de las temperaturas; como esta situación se presentan muchas más que admiten el uso de técnicas de medición y monitoreo en su tratamiento, debido a ello se hace necesario conocer y tener claro los aspectos pertinentes de la máquina a monitorear, para así poder decidir que técnica de medición y monitoreo se ha de utilizar, ello obliga a su vez a conocer que técnicas existen y que resultados permiten obtener, para así elegir la más adecuada en cada situación.

La realización del actual proyecto da como resultado la consideración de la cavitación como modo de falla crítico en turbinas hidráulicas del tipo Francis, coincidiendo con lo planteado por diferentes institutos internacionales, esto se determina gracias a la investigación llevada a

cavo a través de las consultas electrónicas realizadas en Internet, donde además de páginas en general, se consultó institutos de renombre en el tema de máquinas hidráulicas y en especial de turbinas Francis, como por ejemplo el Laboratorio de Máquinas Hidráulicas (LMF) de la Escuela Politécnica Federal de Lausanne (EPFL), Suiza, la Universidad Politécnica de Catalunya (UPC), España, el Instituto de Investigación de la central hidroeléctrica de Canadá, HydroQuebec, entre otros y se halló que los temas centrales de investigación, tanto actuales como los ya consolidados en estudios anteriores, giran en torno a la cavitación, enfocándose a modos específicos de formación de la misma, sus consecuencias, su monitoreo, entre otras.

La aparición de la cavitación y sus consecuencias son función de factores como el diseño y tamaño de la máquina, la velocidad específica o el punto de funcionamiento, entre otros, su presencia en una máquina hidráulica obliga a determinar si esta puede o no continuar operando, dependiendo de los niveles tolerados por la turbina.

El método de medición y monitoreo más utilizado para la detección de cavitación en turbinas Francis, de acuerdo a las experiencias de los institutos internacionales consultados a lo largo del actual trabajo, es el de vibraciones, el trabajo con este método se basa en la utilización de sensores principalmente de aceleración y presión, dichos sensores son óptimos para la detección del fenómeno debido a las características de su manifestación "pulsaciones generadas por el colapso de las burbujas".

Es importante tener en cuenta la información suministrada por las normas a la hora de monitorear la cavitación en turbinas pero en ocasiones es difícil acatar todos los aspectos plasmados en estas debido a las condiciones específicas de cada instalación en cuanto a la accesibilidad para la ubicación de sensores, las características de las excitaciones que se cree están excitando la máquina, los defectos en la máquina que originan tales excitaciones, entre otros, por tal razón no basta con establecer sistemas de instrumentación y monitoreo basándose tan solo en lo especificado por

las normas, si no que se debe establecer parámetros basándose en las características propias de cada central.

El mejor posicionamiento de los sensores utilizados en la medición y monitoreo del fenómeno de la cavitación en turbinas Francis, a nivel de monitoreo de vibraciones, esta dado por el tipo de cavitación que se quiere analizar.

## **BIBLIOGRAFÍA**

### **CLÁSICA**

MORAG, Alberto. (2005). Mantenimiento estratégico para empresas de servicios y/o industriales. Medellín.

### **INTERNET**

#### **CARTIF – CAVITACION @ 2006**

CARTIF (centro de automatización, robótica, tecnologías de la información y de la fabricación). Detección de cavitación en un grupo hidroeléctrico. Visitado en may 20 de 2006. Disponible en: <http://www.unizar.es/aeipro/finder/INGENIERIA%20DE%20PRODUCTOS/BB07.htm>

#### **CIPRESS @ 2006**

Temas Relevantes de Turbinas Francis. Visitado en: Mayo 20 de 2006. Disponible en: <http://cipres.cec.uchile.cl/~gvillarr/francis.html#1>

#### **SCIENCE DIRECT – CAVITACION @ 2004**

Xavier Escalera, Eduard Egusquiza, Mohamed Farhatb, Francois Avellanb, Miguel Coussirata. Detection of cavitation in hydraulic turbines. LMH-IMHEF, EPFL – UPC. Visitado en Agosto 1 de 2006. Disponible en: Base de datos internacional Science Direct, Acceso Restringido.

#### **UPC – CAVITACION @ 2004**

Pedro Ayuso, Jorge-Mauro. Detección de cavitación en turbina Francis. Tesis Ingeniería Industrial. Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) 2004. Visitado en Mayo 20 de 2006. Disponible en: [http://biblioteca.upc.es/pfc/mostrar\\_dades\\_PFC.asp?id=31091](http://biblioteca.upc.es/pfc/mostrar_dades_PFC.asp?id=31091)  
[http://biblioteca.upc.es/pfc/mostrar\\_dades\\_PFC.asp?id=31091](http://biblioteca.upc.es/pfc/mostrar_dades_PFC.asp?id=31091)

#### **TEV.CAP.14@ 2001**

Arne Kjølle. Hidropower in Norway. Norwegian University of Science and Technology. Diciembre de 2001. Visitado en Junio 24 de 2006

Disponible en: <http://www.tev.ntnu.no/vk/publikasjoner/pdf/ArneKjolle/chapter14.pdf>

#### **UNESP/FEIS – CAVITACION @ 2006**

Monitorización Y Diagnóstico Del Estado De Los Grupos Hidroeléctricos Por Análisis De Las Vibraciones. Grupo de trabajo sobre hidromecánica. Quinta reunión Montevideo Uruguay 11 a 14 de Mayo de 1999. Brasil. Visitado en junio 21 de 2006.

#### **U OF MINNESOTA – CAVITACION @ 2006**

St. Anthony Falls. Cavitation Tutorial. University Of Minnesota. Laboratory (SAFL). Visitado en Agosto 8 de 2006. Disponible en: <http://cav.safl.umn.edu/tutorial/index.htm>

#### **WIKIPEDIA @ 2006**

Definición de Turbina. Visitado en: julio 19 de 2006. Disponible en: [es.wikipedia.org/wiki/Turbina](http://es.wikipedia.org/wiki/Turbina)

#### **JOURNAL – CAVITACION @ 1998**

Bernard massé, hydraulic machines team leader hydro-québec institute of research, vareennes, québec, canada journal articles by fluent software users. simulation creates potential \$5 million revenue gain from hydropower turbines.. Visitado en agosto 8 de 2006. Disponible en: <http://www.fluent.com/solutions/articles/ja101.pdf>.



# **ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD DE UNA LÍNEA DE PUERTAS PARA VEHÍCULOS RENAULT EN LA PLANTA DE SOFASA ENVIGADO**

**JUAN CAMILO ESCOBAR NARANJO**  
*jescob12@eafit.edu.co*

**JUAN CARLOS OCAMPO RESTREPO**  
*jocampor@eafit.edu.co*  
Departamento de Ingeniería Mecánica

**AREA DE ÉNFASIS**  
PROYECTOS

**ASESOR PRINCIPAL**  
CARLOS ANDRÉS AGUILAR

**SECTOR BENEFICIADO**  
SOFASA



## **RESUMEN**

El proyecto consiste en la realización de un estudio de prefactibilidad, en el cual se evalúa la viabilidad tanto económica como técnica, de montar una línea de ensamble para las puertas de los vehículos Renault, en el taller de montaje de la planta de Envigado. El estudio comienza por establecer la situación actual del taller de montaje en términos de productividad, calidad y ergonomía.

Esta situación actual arroja diferentes hipótesis en estos aspectos, que luego se confrontan mediante la realización de ensayos sobre la línea de producción. Los ensayos arrojan la información necesaria para determinar la viabilidad técnica del proyecto. Además entregan las ganancias que puede arrojar el proyecto y las restricciones necesarias para el diseño de una solución.

En conjunto con la Universidad Nacional y la Universidad de Antioquia se realizó el proceso de diseño de una solución para las necesidades del proyecto, basados en los resultados de los ensayos que conformaron el estudio técnico. Una vez seleccionado el sistema a utilizar para suplir las necesidades se concluye el trabajo con la realización del estudio económico. Este permite completar el estudio de prefactibilidad que arroja como resultado los argumentos suficientes para decidir sobre la realización del proyecto.

## **ABSTRACT**

The project is the making of a prefeasibility study, in which the technical and economical viability of a door assembly line for Renault vehicles, in the production line of Sofasa Envigado, is tested. The study begins with the establishment of the current situation in terms of productivity, quality and ergonomics. The current situation settles different hypothesis in these three manners, that afterwards will be verified with the making of tests over the production line. The tests give the necessary information for validating the technical viability of the project under analysis. The tests also give the



earnings that the project may give and the restrictions for the design of a solution.

Based on the results obtained with the tests made in the technical study, and working together with the Universidad Nacional and the Universidad de Antioquia, generated a design of a solution for the needs of the project. Once the system that was going to be used was defined the prefeasibility closes with a economic study. This study allows to complete the prefeasibility study that gives as a result enough arguments to decide about the accomplishment of the project.

### **PALABRAS CLAVES**

Productividad, ergonomía y calidad.  
Línea de producción.  
Estudio técnico y económico.

### **KEY WORDS**

Productivity, ergonomics and quality.  
Production line.  
Technical and economic studies.

### **INTRODUCCIÓN**

En la actualidad, el entorno comercial obliga a las compañías a ser cada vez más competitivas. En el sector automotriz esta tendencia es aun mayor, ya que el mejoramiento continuo es una filosofía bandera de este gremio. Las grandes compañías aceleran día a día su desarrollo buscando optimizar sus procesos y productos. Haciendo de sus actividades, funciones cada vez más fáciles y eficientes. En el caso particular de SOFASA, desde hace 15 años se viene aplicando la metodología Kaizen cuyo objetivo es promover el mejoramiento continuo.

Los procesos en las empresas están regidos por cuatro ejes tácticos. Estos ejes son Calidad, Costo, Plazo y Recurso humano. En la búsqueda por el mejoramiento, se trabaja siempre en pro de convertir los procesos en sistemas que puedan producir con la calidad requerida, a menor costo, plazo requerido y conservando el recurso

humano. En este orden de ideas, cualquier proyecto que implique mejoramiento de cualquiera de estos cuatro ejes, será de gran valor para la compañía.

Para las ensambladoras de automóviles es bastante importante estar en constante comparación, tanto con las otras marcas, como con las demás ensambladoras pertenecientes a la misma casa matriz. En un entorno tan competitivo, lograr diferenciarse es un punto a favor al momento de decidir si una planta persiste o no. Es entonces muy importante mantener los niveles de competitividad, para así poder conseguir resultados positivos en los cuatro ejes ya mencionados.

SOFASA como ensambladora de automóviles tiene lo mismos propósitos en la búsqueda de progreso y la diferenciación. Para la evolución de la empresa en términos de productividad y tecnología es necesario realizar cambios en diferentes sistemas. En la actualidad se determino que los procesos asociados al ensamble de las puertas de los vehículos son poco eficientes y ocasionan diversas complicaciones en el flujo del proceso normal. Es por tanto una necesidad imperativa la optimización de este proceso. Con este fin se realiza la evaluación técnica y económica del proyecto que permita determinar la viabilidad de su aplicación.

### **DESARROLLO DEL TEMA**

#### **Situación actual del proceso de ensamble local y extranjera**

Sofasa como empresa productiva busca siempre mejorar sus procesos de producción. Cada día se busca mejorar los niveles de productividad en la planta. En la actualidad la empresa trabaja tres turnos de 8 horas y tiene una capacidad máxima de producción de 65 vehículos Renault por turno. Sin embargo la búsqueda de la excelencia y la mejora en los procesos es una actividad que no se detiene.

La productividad puede definirse como la Relación entre el producto obtenido y los insumos empleados. Para la industria automotriz esta, calcula la eficiencia con que se emplean en la producción los recursos de capital y de

mano de obra. La productividad es un indicador utilizado a nivel mundial para medir el desempeño de las plantas en términos de producción. En base a este se realizan calificaciones de todas las plantas y se sitúan en un ranking según sus resultados. Para Sofasa como para cualquier otra ensambladora la posición en este ranking es importante de vigilar.

El objetivo para Sofasa en el 2009 es estar entre las primeras tres posiciones del escalafón para el taller de montaje. Para esto la empresa se encuentra realizando diferentes proyectos en pro de aumentar su productividad. El propósito de mejorar la posición a nivel mundial en el taller de montaje lleva a poner en estudio diferentes proyectos como lo es la realización de una línea de puertas.

La productividad como indicador que mide la eficiencia del uso de los recursos, lleva a las plantas a trabajar sobre las pérdidas de sus procesos para optimizarlos al máximo. La metodología Kaizen especifica siete tipos de desperdicios que se presentan en los procesos. Estos siete desperdicios son sobreproducción, inventario, reparaciones, movimiento, procesamiento, espera y transporte. Trabajar sobre estos siete desperdicios tiene un efecto directo sobre el indicador de productividad, es por esto que el proyecto busca mediante la línea de puertas disminuir desperdicios a lo largo del proceso. (Gemba Kaizen. 2003)

El estudio de la situación actual arroja tres hipótesis principales, estas están asociadas a desplazamientos, calidad y ergonomía. La hipótesis de desplazamiento dice que mientras los vehículos viajan a través de la línea de montaje con las puertas sobre el vehículo generan excesivos desplazamientos para las labores de los operarios. La posición de las puertas obliga a que la distancia mínima entre el material y la línea de producción se de 1.8m, además el tener que esquivar las puertas aumenta considerablemente los pasos que tiene que realizar el operario para el montaje de cada pieza.

La segunda hipótesis asociada a calidad dice, que al estar las puertas dentro de la trayectoria de los operarios,

estas se someten a deterioros y averías. Es por esto que las puertas conforman el 17 % de los defectos detectados por calidad sobre los vehículos al final de la línea de montaje. Finalmente la tercera hipótesis dice que la presencia de las puertas incrementa el riesgo ergonómico de los puestos de operación. Además dificulta la implementación de ayudas mecánicas que faciliten la realización de operaciones de alto riesgo ergonómico como lo son las operaciones de montaje de cojinería.

A nivel mundial, la casa matriz Renault utiliza ampliamente las líneas de ensamble de puertas. Plantas en Francia, Brasil, Méjico y Marruecos utilizan actualmente estos sistemas. Plantas como Irán, Irak y Rumania están en proceso de implementar este tipo de sistemas. Es entonces una tendencia mundial de las plantas de fabricación de vehículos la instalación de líneas de puertas.

## **ESTUDIO TÉCNICO**

El estudio técnico busca mediante la realización de ensayos de validación sobre la línea de ensamble, verificar la veracidad de las hipótesis planteadas. Además pretende determinar las ganancias en términos de productividad, calidad y ergonomía que puede arrojar el proyecto. Finalmente el estudio técnico entrega diferentes restricciones particulares del proceso de Sofasa que condicionaran el diseño de una solución para una línea de puertas.

Se realizan tres ensayos sobre la línea, cuyo objetivo es determinar la viabilidad técnica de la implementación del proyecto. El primer ensayo pretende evaluar la viabilidad técnica de retirar las puertas del vehículo y de enviar la cabina sin puertas sobre la línea de ensamble. El segundo ensayo pretende evaluar la viabilidad del ensamble de las puertas por fuera de línea y de ensamblar las puertas completas de nuevo sobre el vehículo. Finalmente el tercer ensayo pretende evaluar la viabilidad técnica de ensamblar los vehículos en serie retirando las puertas.

El estudio técnico arroja resultados satisfactorios por parte de los ensayos, dando resultados positivos acerca

de la viabilidad del proyecto. Además demuestra que se pueden obtener ganancias de alrededor del 10% en productividad por reducción de desplazamientos. Ganancias en Calidad por reducción de deterioros, y ganancias en costos por reducción en daños y averías.

Finalmente el estudio técnico arroja las restricciones del proceso que condicionaran el diseño de una solución. Estas características pueden agruparse en cuatro categorías principales. La primera es el funcionamiento de los flujos de material y vehículos, la segunda es las zonas donde deben funcionar las diferentes etapas del proceso, la tercera es los elementos estructurales necesarios, y los espacios y alturas que conservan la ergonomía.

## **PROCESO DE DISEÑO**

Con el estudio técnico terminado y utilizando las restricciones entregadas por este, se procede a realizar el proceso de diseño de una solución en conjunto con la Universidad de Antioquia y la Universidad Nacional. Para este proceso se utiliza la metodología de diseño metódico para la selección de alternativas.

El proceso comienza por la identificación de las funciones principales, con estas y utilizando la herramienta de matriz morfológica se genera una lista de diferentes soluciones posibles. Teniendo esto y utilizando una matriz de evaluación cualitativa se reduce el número de alternativas basado en las restricciones definidas en el estudio técnico. Finalmente se realiza una matriz de evaluación cuantitativa que permite elegir la mejor opción de solución.

Este proceso arroja la solución que se ajusta mejor tanto a las restricciones definidas por el estudio técnico, y a los criterios definidos previamente. Ya con un modelo de solución definido puede continuarse con la evaluación económica, que permite completar la información técnica para la evaluación de la viabilidad del proyecto.

## **ESTUDIO ECONÓMICO**

Una vez terminado el proceso de diseño se procede a concluir el proceso de evaluación para lo cual se

realizo una evaluación económica utilizando un modelo de calculo que utiliza la casa matriz para todos sus proyectos.

Este modelo compara mediante un flujo de caja la situación de la empresa con y sin la realización del proyecto.

Para la evaluación económica se consideran una serie de diferentes hipótesis que rigen el modelo económico en términos de ganancias y costos. Es decir se da un valor económico a las ganancias en productividad, calidad y costos y los diferentes parámetros que regirán el modelo.

Finalmente el modelo arroja un indicador que combina el valor actual neto con la inversión inicial. Este indicador se denomina IP (Índice de profitabilite) o índice de aceptación.

El criterio para este índice es que si esta por encima de 1.5 el proyecto es viable, y si esta por debajo de 1.2 el proyecto no es viable. Proyectos con los valores intermedios deberán ser modificados para aumentar su IP y estar dentro del rango de aceptación.

Para nuestro caso el valor del IP es de 2.3, lo cual pone al proyecto dentro del rango de proyectos viables para la casa matriz.

## **CONCLUSIONES**

Las conclusiones del proyecto podrían resumirse en las siguientes:

La tendencia en el mundo de las ensambladoras es a utilizar sistemas de ensamble de puertas. Ya que sus múltiples beneficios mejoran la competitividad de las plantas.

El estudio muestra que el proyecto de puertas arroja ganancias a nivel de productividad, calidad y ergonomía, factores que se reflejan en reducción de costos. Todos factores importantes en el desarrollo de las empresas.

Consideramos que el proyecto es viable técnica y económicamente para todos los modelos Renault fabricados en Sofasa.

Y que La implementación del proyecto abre las puertas a la modernización la línea de ensamble. Que comprende la utilización de diferentes sistemas de ayuda mecánica, semi-automatizaciones y medios móviles de aprovisionamiento piezas.

## **BIBLIOGRAFÍA**

IMAI Masaaki. (1998). Gemba Kaizen. Colombia: Mc Graw Hill. pp. 54-66.

SOFASA. (1996). Sistema de gestión de calidad.  
<http://www.sofasa.com.co/> (febrero 2006)

SOFASA. (1996). Historia empresarial.  
<http://www.sofasa.com.co/> (febrero 2006)

SOFASA. (1996). Proceso de fabricación.  
<http://www.sofasa.com.co/> (febrero 2006)

RENAULT. (1994). Gama de vehículos.  
<http://www.sofasa.com.co/> (marzo 2006)

RENAULT. (2003). Plantas ensambladoras Renault.  
<http://www.intra.renault.com.> (marzo-julio 2006)

U. NACIONAL. (2006). "Preinforme Diseño línea de puertas Sofasa". pp. 56-82 .

# **IMPLEMENTACIÓN DEL PROGRAMA EVALUADOR CMD<sub>1</sub> EN EL SISTEMA DE INFORMACIÓN DE MANTENIMIENTO DE LA EMPRESA TEXTIL FABRICATO TEJICÓNDOR**

**JUAN CAMILO PÉREZ URREA**  
*jperezur@eafit.edu.co*

**MANUEL FELIPE SERNA RESTREPO**  
*msernare@eafit.edu.co*  
Departamento de Ingeniería Mecánica

**ÁREA DE ÉNFASIS**  
MANTENIMIENTO DE SISTEMAS TÉCNICOS

**ASESOR PRINCIPAL**  
ING. JUAN SANTIAGO VALLEJO JARAMILLO

**SECTOR BENEFICIADO**  
EMPRESA TEXTIL FABRICATO TEJICÓNDOR



## **RESUMEN**

Este artículo pretende desarrollar un estudio de los principios básicos del CMD , para la implementación de un programa que evalúa los diferentes indicadores de mantenimiento en la empresa textil Fabricato Teji cóndor, buscando como objetivo principal el realizar análisis y pronósticos del comportamiento de las diferentes maquinas a través del tiempo.

## **ABSTRACT**

This article tries to develop a study of the basic principles of the CMD, for the implementation of a program that evaluates the different indicators from maintenance in the textile company Fabricato Tejicóndor, looking for like primary target making analysis and prognoses of the behavior of the different machines through time.

## **PALABRAS CLAVE**

Confiabilidad, Mantenibilidad, Disponibilidad, Análisis, Pronósticos

## **KEY WORDS**

Reliability, Availability, Maintainability, Analysis, Prognoses

## **INTRODUCCIÓN**

La productividad de cualquier sistema industrial puede maximizarse con un proceso efectivo de registro, medición y evaluación de los índices básicos de la gestión del mantenimiento (Confiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad).

El proceso de evaluación propone una vía efectiva para optimizar el proceso de toma de decisiones relacionado con la disminución de las fallas de los activos dentro de un sistema de producción. En este proceso existen muchas decisiones y acciones, tanto técnicas como no técnicas, que se deben adoptar a lo largo del ciclo de vida del activo.

Las decisiones relacionadas con el proceso de mejoramiento de la confiabilidad de los activos (calidad del diseño, tecnología utilizada, complejidad técnica, frecuencia de fallas, costos de mantenimiento preventivo/correctivo, niveles de mantenibilidad y accesibilidad) son de interés particular, ya que estos aspectos tienen un gran impacto sobre el costo total del ciclo de vida del activo e influyen en gran medida sobre las posibles expectativas para extender la vida útil de los activos a costos razonables (PARRA@, 2004).

El mantenimiento tiene una participación en muchos aspectos que pueden llevar al éxito o al fracaso en una empresa. Por medio de algunos estudios comprobados se sabe que incide en:

- Costos de producción.
- Calidad del producto servicio.
- Capacidad operacional (aspecto relevante dado el ligamen entre competitividad y por citar solo un ejemplo, el cumplimiento de plazos de entrega).
- Capacidad de respuesta de la empresa como un ente organizado e integrado: por ejemplo, al generar e implantar soluciones innovadoras y manejar oportuna y eficazmente situaciones de cambio.
- Seguridad e higiene industrial, y muy ligado a esto,
- Calidad de vida de los colaboradores de la empresa.
- Imagen y seguridad ambiental de la compañía. (Molina@,2006).

## **CONFIABILIDAD**

La confiabilidad está estrechamente relacionada con la calidad de un producto y es con frecuencia considerada un componente de esta. La calidad puede ser definida cualitativamente como la cantidad de satisfacción, de los requerimientos de los usuarios de un producto. La confiabilidad se interesa por cuánto tiempo el producto continúa en funcionamiento después de entrar en

operación. Una baja calidad del producto implica una disminución de su confiabilidad, de la misma manera que una calidad alta implica una confiabilidad elevada (Mora, 2006, 69).

Los indicadores de confiabilidad utilizados son el MTBMc<sup>1</sup>, MTBmp<sup>2</sup>, MUT<sup>3</sup>, MTBF<sup>4</sup>.

## **MANTENIBILIDAD**

La mantenibilidad es una medida muy importante para la predicción, evaluación y mejora de las decisiones respecto a la facilidad, precisión, seguridad y economía de todas las tareas relativas al mantenimiento de los sistemas durante su uso (Céspedes y Toro 2001,9).

Los indicadores de mantenibilidad utilizados son el MTTR<sup>5</sup> y MP<sup>6</sup>.

## **DISPONIBILIDAD**

La disponibilidad es una característica que resume cualitativamente el perfil de funcionalidad de un equipo. La mayoría de los usuarios aseguran que necesitan la disponibilidad de un equipo tanto como la seguridad.

Hay dos métodos básicos para lograrlo, uno es construir los equipos que cuando falle sea fácil de recuperar, y el segundo es construir los equipos extremadamente confiables, y por lo tanto, costosos. De esta forma, si se tiene un equipo muy fiable y es fácil de reparar, se obtiene un sistema muy eficaz (Knezevic,1996,23).

Las disponibilidades utilizadas para los análisis son la disponibilidad inherente que es la probabilidad de que el sistema opere satisfactoriamente, cuando sea requerido en cualquier tiempo bajo las condiciones de operación especificadas y un entorno ideal de soporte logístico,

---

<sup>1</sup> Tiempo medio entre mantenimientos correctivos.

<sup>2</sup> Tiempo medio entre mantenimientos programados.

<sup>3</sup> Tiempo medio útil.

<sup>4</sup> Tiempo medio entre fallas.

<sup>5</sup> Tiempo medio para reparar.

<sup>6</sup> Mantenimientos programados.



es decir, con la disponibilidad adecuada de personal, repuestos, herramientas, equipos de prueba y demás, sin considerar ninguna demora logística o administrativa (Blanchard y otros,1994,127), y la disponibilidad alcanzada que es la probabilidad de que el sistema opere satisfactoriamente, cuando sea requerido en cualquier tiempo bajo las condiciones de operación especificadas y un entorno ideal de soporte logístico, sin considerar ningún retraso logístico o administrativo pero involucrando en sus cálculos los tiempos imputables a las actividades planeadas de mantenimiento (Mora,2006,50).

## CÁLCULOS

El programa utilizado para realizar los cálculos fue desarrollado por los ingenieros mecánicos de la Universidad EAFIT Luís Alberto Mora y Juan Santiago Vallejo, con el fin de determinar los principales indicadores de CMD a partir de los cuales realizar pronósticos y planear tácticas y acciones de mantenimiento futuras. Los pasos para el cálculo de los indicadores CMD son los siguientes:

Los datos de confiabilidad se ingresan en la columna designada para estos, luego de ser ingresados se define cuales tiempos son censurables, es decir, cuales no se tendrán en cuenta en los cálculos, debido a que estos tiempos de falla fueron generadas por factores externos.

Los datos de tiempo de mantenimiento, que incluyen los tiempos de mantenimiento programado y correctivo se deben ingresar de igual manera para el cálculo de la mantenibilidad. Es posible encontrar tiempos de mantenimiento censurables a causa de factores externos.

La distribución se debe seleccionar de acuerdo al tipo de aplicación principal, estas pueden representar el comportamiento de vida de los elementos y ocupan una parte importante dentro del análisis de fallas y los análisis de confiabilidad.

Los indicadores dependen del tipo de dato que se ingresan en el sistema, debido a que el programa no los

diferencia automáticamente, simplemente ejecuta unas funciones estadísticas.

## RESULTADOS

Los resultados obtenidos con el programa evaluador CMD VALRAMOR 4 se basan en la aplicación de los diferentes datos que se muestran en la tabla de síntesis comparativa de indicadores. Los otros resultados son obtenidos a partir de una tabla de Excel en la cual se calculan los promedios de cada indicador. Todos estos resultados se muestran en la siguiente tabla.

**TABLA 1**  
**Resultados de indicadores CMD de la Máquina**  
**Sucker Müller 3 de la empresa textil**  
**Fabricato Tejióndor**

Indicador	Programa			Diferencia
	Promedios	VALRAMOR 4	Mínimos	
Confiabilidad	MTBMc	4758	4758	0
	MTBMp	36502	34495	2006
	MUT	4194	4531	337
	MTBF	4563	4563	0
Mantenibilidad	MTTR	59	59	2
	MP	717	717	0
	MTBM	4209	4191	28
	$\bar{M}$	193	192	2
Disponibilidad		Porcentaje		
	$D_1$	96,05	96,06	0,03
	$D_2$	96,12	96,05	0,07

## ANÁLISIS

La probabilidad de que la máquina Sucker Müller 3 opere sin que presente ninguna falla por encima de 4758 minutos de funcionamiento es del 36%, lo que corresponde al tiempo medio entre mantenimientos correctivos.

El tiempo de funcionamiento óptimo que debe operar la máquina antes de realizarse un mantenimiento programado debe ser de 23.96 días, pero se esta presentando una frecuencia muy alta de fallos aproximadamente cada 3.30 días.

Los datos muestran que no hay concentración de fallos en un tiempo determinado, debido a que dichas fallas se presentan en forma esporádica.

La máquina Sucker Müller 3 se encuentra en la fase II de madurez o de vida útil, de acuerdo con la curva de la bañera o de Davies; las fallas en esta etapa se originan básicamente por operación indebida de los equipos, sobrecarga en la capacidad de producción, fallas de origen técnico ya sea por procedimientos humanos o de equipos.

Las acciones que más se adaptan a esta etapa son las de tipo correctivo, debido a que se presentan fallas esporádicas, pero ya se empieza a tener cierto control sobre las mismas, y estas empiezan a estabilizarse en su tiempo de duración.

El indicador MTBMP muestra que los mantenimientos programados en la máquina se realizan cada 34495 minutos, lo que es de igual manera que se realizan cada 23.96 días.

El indicador MUT, indica que la máquina Sucker Müller 3 tiene un tiempo de funcionamiento medio de 4501 minutos o aproximadamente 3.13 días, antes de que se presente una falla o sea intervenida por un mantenimiento programado, a lo cual le corresponde una probabilidad del 33%, este tiempo de funcionamiento es bajo, pues el intervalo de funcionamiento entre mantenimientos programados es de 23.96 días.

El indicador MTBF indica el tiempo medio entre fallas que es de 4953 minutos, este indicador presenta un valor muy similar al MUT, debido a que no se tienen en cuenta para este caso, los tiempos perdidos, generados por retrasos logísticos y administrativos.

El indicador MTTR corrobora que los mantenimientos correctivos que se están realizando en la máquina Sucker Müller 3 tienen una duración muy corta, de 97 minutos, pues son fallas fáciles de reparar y no presentan un alto grado de complejidad para los mecánicos responsables de dicho mantenimiento.

La mayor densidad de reparaciones correctivas se encuentra en el rango entre 0 y 100 minutos, lo cual se aproxima al valor del indicador MTTR que es de

97 minutos, corroborando que estas reparaciones son fáciles de realizar por el personal encargado.

La mayor densidad de los mantenimientos programados se encuentra en el rango entre 631 y 811 minutos, presentando una moda de 724 minutos, lo cual se aproxima al valor del indicador MP que es de 717 minutos.

La disponibilidad inherente es del 98.08%, lo cual indica que el 98.08 % del tiempo total se puede esperar que el equipo esté disponible para cumplir la función para la cual fue destinado. En el 2% del tiempo faltante el sistema está no disponible debido a los fallos que se presentan.

La disponibilidad alcanzada es del 96.05%. La diferencia entre la disponibilidad inherente y la alcanzada indica que el 2.03% del tiempo de no disponibilidad se utiliza para realizar los mantenimientos programados en la máquina Sucker Müller 3.

## **CONCLUSIONES**

La implementación de un programa evaluador CMD bajo lenguajes de programación, es una herramienta de gran utilidad para la generación de información del estado de los equipos de la empresa.

Los indicadores de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad son una herramienta fundamental para conocer más a fondo el comportamiento de fallas que presenta un equipo. La aplicación de cálculos estadísticos a estos comportamientos de fallas son de gran ayuda para los ingenieros de mantenimiento que buscan disminuir al máximo el tiempo improductivo en las máquinas; esto debido a que por medio de los indicadores CMD se presenta de forma clara cuál es la forma, ocurrencia y tendencia de los fallos, y con base en este análisis se pueden tomar acciones pertinentes para lograr las metas establecidas.

La implementación del programa evaluador CMD en la empresa textil Fabricato – Tejicóndor S.A, permite

observar las tendencias de manera acertada del comportamiento de los equipos industriales, permitiendo un mayor control de la capacidad operativa de los equipos, líneas de producción o de la compañía.

La metodología aplicada con distribuciones genera una información más precisa y acorde a la tendencia de los datos, comparada con la metodología por promedios, además permite visualizar las diferentes curvas facilitando una mejor interpretación. Por tal razón la viabilidad encontrada dentro de la empresa Fabricato - Tejióndor para la implementación del programa evaluador CMD es alta, siendo ésta una de las empresas pioneras en Antioquia en la aplicación de dicha metodología.

## BIBLIOGRAFÍA

- BLANCHARD, Benjamín S., VERMA, Dinesh., PETERSON, Elmer. *Maintenibility: a key to effective serviceability and maintenance management: Series Nuevas dimensiones en Ingeniería*. USA: Edit. Wiley Interscience. Wiley, John & Sons, Incorporated, 1994. ISBN: 0486438678
- CESPEDES GUTIERREZ, Pedro Alejandro, y TORO OSORIO, Juan Carlos. *Metodología para medir confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad en mantenimiento*. Medellín, 2001, 134 p. Trabajo de grado (Ingeniero Mecánico). Universidad Eafit. Departamento de Ingeniería Mecánica. Área de mantenimiento.
- KNEZEVIC, Jezdimir. *Mantenibilidad*, Madrid, España: Isdefe. 1996. 137p. ISBN: 0412802702
- MOLINA, José. (1997). *Mantenimiento y seguridad industrial*. <http://www.monografias.com/trabajos15/mantenimiento-industrial/mantenimiento-industrial.shtml> / (18 Julio 2006)
- MORA, Luis Alberto. *Mantenimiento estratégico para empresas industriales o de servicios, Enfoque sistemático Kantiano*, Medellín, Colombia: Editorial AMG. 2006. 306p. ISBN 958-338218-3
- PARRA C, Moreno A. (2004). *Semana de la Ingeniería de Mantenimiento*. <http://internal.dstm.com.ar/sites/mmnew/cap/cursos/Parra-SemanaMant.pdf> / (10 Julio 2006).

# **ELABORACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA EL SISTEMA DE BOMBEO DEL GRUPO GEMI BASADO EN EL ANÁLISIS FMECA Y EN MEDICIONES CMD**

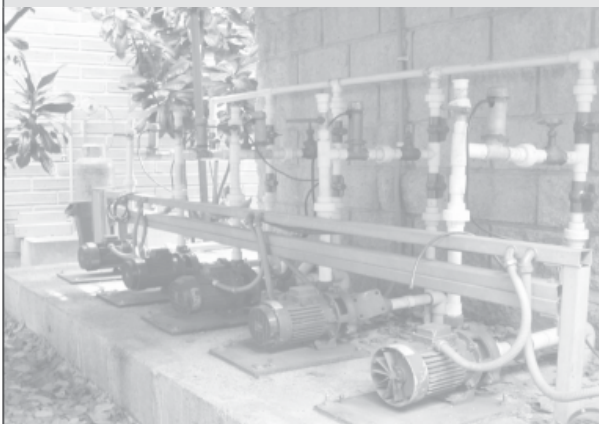
**ESTEBAN GUTIÉRREZ LAGOUEYTE**  
*egutier1@eafit.edu.co*  
Departamento de Ingeniería Mecánica

**ÁREA DE ÉNFASIS**  
MANTENIMIENTO DE SISTEMAS TÉCNICOS

**ASESOR PRINCIPAL**  
ESP. ING. JHON HARVY HENAO MARTÍNEZ

**COASESOR**  
ESP. ING. JUAN SANTIAGO VALLEJO

**SECTOR BENEFICIADO**  
Grupo de Investigación GEMI - Universidad EAFIT



## **RESUMEN**

El propósito de este proyecto es realizar un aporte en acciones preventivas para el sistema de bombeo del grupo de estudios en mantenimiento industrial (GEMI) mediante la aplicación de la metodología completa de análisis de fallas FMECA<sup>1</sup> e implementando la medición de CMD<sup>2</sup> para la jerarquización de las tareas de mantenimiento.

## **ABSTRACT**

The intention of this project is to make a contribution in preventive actions for the system of pumping of the group of study in industrial maintenance GEMI by means of the application of the complete methodology of analysis of faults FMECA and being implemented the measurement of CMD for the structuring of the maintenance tasks.

## **PALABRAS CLAVE**

Acciones preventivas, FMECA, CMD.

## **KEY WORDS**

Preventive actions, FMECA, CMD.

## **INTRODUCCIÓN**

El análisis FMECA es desarrollado en un sistema de bombeo que consta de seis bombas y motores de iguales características en paralelo. Cada equipo consta además de sus respectivas protecciones, elementos de arranque y paradas, una red hidráulica y un sistema automatizado de monitoreo continuo.

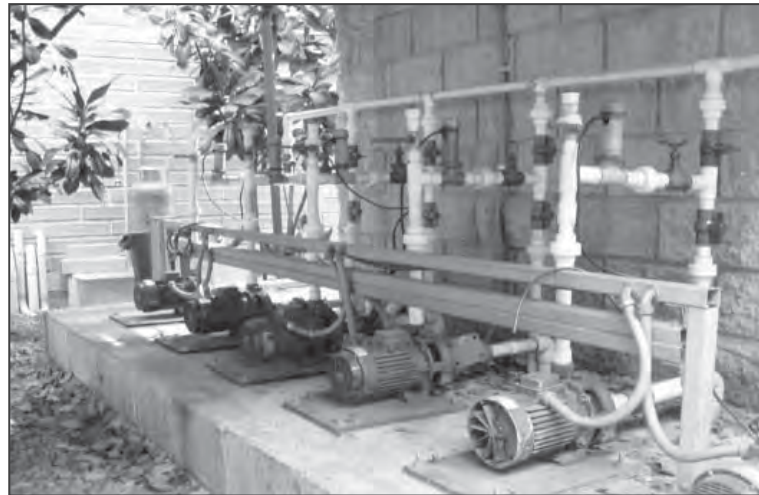
---

<sup>1</sup> FMECA Failure Mode, Effects Causes and Criticality Analysis – Análisis de los Modos, los Efectos, las Causas y las Criticidades de las Fallas.

<sup>2</sup> CMD Confiabilidad, Mantenibilidad, Disponibilidad.

## ILUSTRACIÓN 1

### Sistema de bombeo



La solución se desarrolla mediante la inspección e identificación de las áreas o ensambles en las cuales es más probable que se generen las fallas del sistema, mediante herramientas de mantenimiento preventivo, mediciones del RPN<sup>3</sup> y mediciones de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad (CMD).

El trabajo analiza la solución a este desarrollo a partir de las teorías de mantenimiento preventivo y CMD, que hacen de ésta una aplicación confiable para la persona que desee profundizar en el estudio del proyecto o como posible adaptación en sistemas de bombeo.

El estudio evalúa tres aspectos del sistema de bombeo y su operación los cuales se pueden definir como las condiciones anticipadas de operación y la falla más probable, el efecto de falla en el rendimiento, y por último, la severidad de la falla en el mecanismo evaluando la probabilidad de la falla mediante una jerarquización de cada una de las tareas a realizar en los diferentes elementos o equipos, con el fin de priorizar los esfuerzos en los equipos que más lo requieran de acuerdo con su grado de criticidad (RPN). (Mora,2005,188).

<sup>3</sup> RPN Risk Priority Number – Número de Prioridad de Riesgo.

## ANÁLISIS FMECA

El análisis de modos de falla y efectos críticos (FMECA) es una técnica empleada para cuantificar y clasificar las fallas críticas en el diseño del producto o en el proceso. El propósito de la técnica FMECA es poder conocer completamente el equipo mediante la identificación de los sistemas y de los componentes que lo conforman para aplicar el análisis integral de fallas (Harris, 1994,198).

El principal interés del FMECA es el de resaltar los puntos críticos con el fin de eliminarlos o establecer un sistema preventivo (medidas correctoras) para evitar su aparición o minimizar sus consecuencias, con lo que se puede convertir en un riguroso procedimiento de detección de defectos potenciales, si se aplica de manera sistemática (Mora,2005,190).

Las etapas de desarrollo del procedimiento FMECA son:

- Describir las funciones: primaria y secundarias de los equipos.
- Establecer todas las fallas funcionales reales y potenciales conocidas.

- Describir los modos de fallas.
- Evaluar las consecuencias y los efectos de cada modo de falla, con su falla y su función.
- Medir el RPN mediante la evaluación de la severidad, la probabilidad de ocurrencia y la posibilidad de detección.
- Establecer las acciones correctivas o planeadas.
- Realizar las tareas Proactivas.
- Medir nuevamente el RPN y replantear las acciones.

## **MEDICIÓN DE CMD**

Los autores definen en general la confiabilidad de un ítem o sistema como la probabilidad de que éste desempeñe adecuadamente su función durante un intervalo de tiempo y bajo condiciones ambientales o de entorno específicas (Bazovsky,1961,11).

La mantenibilidad está relacionada con la duración de las paradas por mantenimiento y el tiempo que toma efectuar las acciones de restauración. Las características de la mantenibilidad se determinan usualmente por el diseño del equipo, el cual establece los procedimientos de mantenimiento y la duración de los tiempos de reparación (Barringer,1996,4).

La disponibilidad es la probabilidad de que el equipo esté operando satisfactoriamente en el momento en que sea requerido después del comienzo de su operación y se usa bajo condiciones estables. El tiempo total considerado puede incluir el tiempo de operación, tiempo activo de reparación, tiempo inactivo, tiempo en mantenimiento preventivo, tiempo administrativo y tiempo logístico, de acuerdo con el tipo de disponibilidad seleccionada (Blanchard y otro,1995,127).

Los indicadores de confiabilidad son necesarios para la caracterización de la habilidad del sistema para desempeñar su operación, deben reflejar las propiedades esenciales de operación del sistema, ser entendibles

desde el punto de vista físico, simples de calcular desde el diseño y sencillos de comprobar a la hora de su uso.

Los indicadores de confiabilidad son:

- Tiempo medio para fallar.
- Tiempo medio entre fallas.
- Tiempo medio entre mantenimientos.

Las acciones de mantenimiento se clasifican en mantenimiento planeado y no planeado.

Los indicadores de mantenibilidad son:

1. Tiempo medio para reparar.
2. Tiempo medio de mantenimiento preventivo.
3. Tiempo medio de mantenimiento activo.
4. Tiempo de parada de mantenimiento.

Los indicadores de disponibilidad son:

- Disponibilidad inherente.
- Disponibilidad alcanzada.
- Disponibilidad operacional.

## **PROCESO DE DESARROLLO**

La metodología completa planteada para el análisis FMECA es aplicada al sistema de bombeo y así mismo se realiza el cálculo del RPN para los modos de falla encontrados a lo largo del desarrollo del proyecto y en el progreso de la investigación del grupo GEMI.

Para la medición del CMD se hace un análisis de la frecuencia a la cual ocurren las fallas en el tiempo observando el desempeño de las funciones para las cuales fue diseñado, de la característica inherente de los elementos asociados a su capacidad de ser recuperados para el servicio cuando se realiza la tarea de mantenimiento bajo las condiciones especificadas y de la característica que resume cuantitativamente el perfil de funcionalidad de los equipos.

Las tareas de mantenimiento pueden ser de carácter correctivo, preventivo, modificativo o predictivo. En el



sistema de bombeo lo más común es que se realicen acciones correctivas y preventivas, siendo las correctivas más frecuentes.

El análisis de fallas FMECA procesado anteriormente se utiliza con el fin de emplear los resultados obtenidos con los cuales se pretende elaborar las tareas de mantenimiento. Asimismo, también se recurre a las mediciones CMD cuyos resultados permiten determinar las estrategias y acciones de mantenimiento.

## RESULTADO

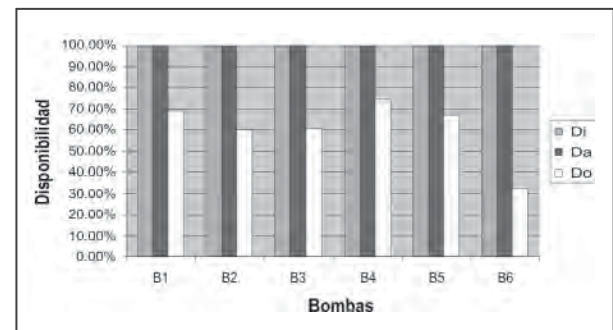
El análisis de los resultados RPN muestra los diferentes tipos de tareas con las cuales se pretende intervenir los modos de falla que generan mayor impacto en el funcionamiento del sistema de bombeo.

**TABLA 1**  
**Tareas de mantenimiento propuestas para el sistema de bombeo**

Modo de falla eliminado (E) o reducido (R)	Tareas
Descripción	
No hay agua en el sistema (E)	Modificativa
Nivel por debajo de la succión (E)	
La bomba está trabajando en vacío (R)	
Motor se dispara porque la bomba trabaja en vacío (R)	
Cavitación (R)	
Se está sobrecalentando el motor (R)	
Filtración en el tanque (E)	
El motor está apagado (R)	Modificativa
Fuga en tubería o accesorios (R)	Preventiva
Sello de la bomba defectuoso (R)	Preventiva
Disparo de sobrecarga del motor está	
Interruptor de paro de emergencia defectuoso (R)	Preventiva
La granada está obstruida (R)	Preventiva
Cuerpos extraños en el impulsor (R)	
Obstrucción en la tubería de succión o descarga (R)	
Suciedad y cuerpos extraños dentro del sistema (R)	
La bomba ha perdido eficiencia (R)	Preventiva
Las partes rotatorias rozan contra las partes fijas (R)	
Empuje excesivo ocasionado por una falla mecánica dentro de la bomba (R)	
La válvula de contraflujo está mala (R)	

Los resultados de los indicadores de disponibilidad se calculan con las fórmulas de los indicadores de disponibilidad. Aunque el objetivo consiste en medir el CMD para la disponibilidad alcanzada, se considera que es de gran importancia incluir las disponibilidades inherente y operacional ya que de esta forma se tiene un punto de comparación y se pueden sacar conclusiones.

**GRÁFICA 1**  
**Resultados de las disponibilidades inherente, alcanzada y operacional**



## CONCLUSIONES

El procedimiento FMECA es una herramienta de gran ayuda para solucionar problemas que se tengan con los equipos, que proporciona una guía para llevar a cabo un mantenimiento acertado sobre los mismos y con un orden de prioridad; es preciso anotar que es sólo una herramienta y que únicamente se pueden obtener buenos resultados si se ejecuta paso a paso y se analizan los datos antes de tomar medidas.

El análisis de fallos y efectos FMECA puede arrojar resultados muy valiosos del comportamiento de los equipos y de la forma en que se deben atacar los fallos presentados en los mismos, sin embargo, para que esta técnica presente resultados satisfactorios, es crucial que haya personal calificado que conozca plenamente los equipos y que tenga contacto directo con ellos.

El análisis FMECA muestra que los modos de falla más críticos son aquellos que requieren acciones modificativas debido a que tienen defectos de diseño o montaje del sistema. Estos modos de falla se centran en

el tanque de almacenamiento de agua y en los apagones de los motores de las bombas.

Las tareas de mantenimiento definidas para el sistema de bombeo son establecidas para intervenir las principales fallas encontradas en el análisis FMECA con el fin de reducirlas o eliminarlas, teniendo en cuenta además, las condiciones específicas del sistema de bombeo.

La medición del CMD para el sistema de bombeo permite hacer un análisis de la frecuencia con la cual se presentan las fallas para un tiempo determinado, observando las particularidades inherentes de los componentes del sistema asociados a su capacidad de ser recuperados para el servicio, y estableciendo las características que definen la funcionalidad de los equipos.

Los principales indicadores de CMD se obtienen de una manera más precisa a través de cálculos estadísticos mediante el programa Valramor y se derivan a partir de los parámetros de la distribución de Weibull.

Los resultados obtenidos de las disponibilidades inherentes y alcanzada son muy parecidos porque están basadas en un entorno ideal, pero en la disponibilidad operacional que se desarrolla en un entorno real se observa la gran influencia que tienen las demoras logísticas y administrativas.

Las acciones de mantenimiento pueden ser reorientadas a partir del estudio de los indicadores generados, incrementando o reduciendo las tareas de mantenimiento preventivo, basándose en las estrategias en función del parámetro beta representadas en la curva de Davies.

El Análisis de los Modos, los Efectos, las Causas y las Criticidades de las Fallas (FMECA) es una metodología que permite identificar los modos de falla potenciales para un equipo, máquina y proceso.

## **BIBLIOGRAFÍA**

BARRINGER H. Paul. Availability, Reliability, Maintainability, and Capability. P.E. Barringer & Associates, Inc. Humble, TX. 1996.

BAZOVSKY, Igor. Reliability theory and practice. Prentice-Hall. New Jersey. USA. 1961. ISBN: 0486438678.

BLANCHARD, Benjamin S.; VERMA, Dinesh y PETERSON, Elmer L. Maintainability: A Key to Effective Serviceability and Maintenance Management. New York, NY, USA: John Wiley & Sons, Inc. 1995.

HARRIS, Gray W. Living with Murphy's law. Research-Technology Management, Vol. 37, Iss.1 10-13. USA. 1994.

MORA, Luis Alberto. Mantenimiento estratégico para empresas de servicios y/o procesos industriales, Medellín. Colombia. 2005.

# **DISEÑO Y FABRICACIÓN DE GABINETES PARA MEDIDORES DE GAS EN POLIÉSTER REFORZADO CON FIBRA DE VIDRIO POR EL SISTEMA DE INYECCIÓN POR MOLDE CERRADO “RTM”**

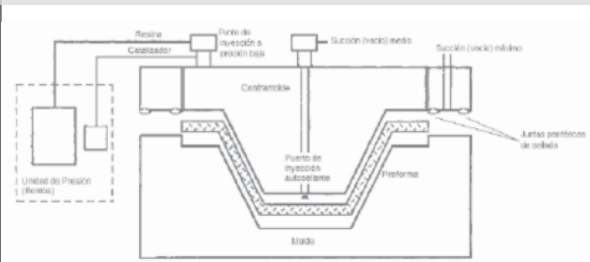
**ANDRÉS HERNÁNDEZ MEJÍA**  
*aherna21@eafit.edu.co*

Departamento de Ingeniería Mecánica

**AREA DE ÉNFASIS**  
GESTIÓN DE PROYECTOS

**ASESOR PRINCIPAL**  
ANDRÉS FRANCO BEDOYA

**SECTOR BENEFICIADO**  
UNIVERSIDAD EAFIT



## **RESUMEN**

Por medio de un proceso metódico se lleva a cabo el desarrollo de un producto como alternativa para los gabinetes que alojan los medidores de gas natural en el sistema de gas por red. La identificación de una vida útil inferior a la proyectada para los gabinetes en lámina, junto con la existencia de una empresa dispuesta a promover un proyecto que estudie la aplicación de su proceso en nuevos productos, establece las bases para el desarrollo de este proyecto.

Se analiza entonces la posibilidad de aplicar el proceso de manufactura de materiales compuestos por medio de inyección en molde cerrado asistida por vacío (RTM Light), tal como se ejecuta en las instalaciones de Safety Composites Ltda, para manufacturar un producto que satisfaga los requerimientos del servicio de gas por red para los gabinetes.

Inicialmente se hace una caracterización tanto del proceso de manufactura como de las especificaciones de un gabinete para medidor de gas, definiendo las variables críticas que permiten que un producto del proceso establecido pueda desempeñarse satisfactoriamente en la aplicación señalada. A partir de estas variables se aborda un proceso de diseño, utilizando la metodología de análisis paramétrico, ampliada con otras herramientas, para establecer un concepto de diseño acorde con los requerimientos establecidos.

El Proceso de diseño finaliza con la compilación de la documentación que permite abordar la fase de construcción. Luego entonces se hace la corporificación del concepto de diseño siguiendo los procedimientos y planos establecidos, consiguiendo las herramientas que junto con el equipo disponible permiten manufacturar un producto por este proceso. Con estos se hace una inyección de prueba con la que se consigue obtener un conjunto de prototipos del producto. Para su evaluación se establece un protocolo que se ejecuta sobre los prototipos, el herramental y el proceso permitiendo luego hacer un análisis detallado de los resultados.

Adicionalmente se hace una evaluación como proyecto industrial mediante la metodología ONUDI para la preparación de estudios de viabilidad industrial, generando un paquete de información para la facilitar decisión, por parte de la empresa, sobre la adopción del producto dentro de su portafolio. Se finaliza con un capítulo de conclusiones donde se establecen los logros y otro donde se establecen recomendaciones para continuar con la investigación.

El reporte final del proyecto se encuentra en formato digital en la biblioteca de la Universidad EAFIT ([www.eafit.edu.co/biblioteca](http://www.eafit.edu.co/biblioteca)).

## **PALABRAS CLAVE**

RTM Light, Materiales compuestos, Composites, gabinetes, PRFV, Inyección, Análisis paramétrico, evaluación de proyectos.

## **ABSTRACT**

The development of an alternative for cabinets used in storing gas meter for domestic installations is carried out through a methodic process. The identification of a life inferior to that projected for steel sheet, along with there being a company that is interested in promoting a project that studies the application of its productive process in new products, establishes the bases for the development of this project.

The possibility of applying the closed mould vacuum aided injection process for composite manufacture, such as that carried out in the facility of Safety Composites Ltd, to manufacture a product that satisfies the requirements for cabinets in natural gas service.

A characterization of both the process and the specifications for a gas meter cabinet is made, defining the critical variables that allow a specified product to perform satisfactorily in the appointed application. From these variables a design process is begun, using the parametric analysis methodology, extended with some other tools, to establish a design concept in agreement with the established requirements.

The design process ends with the compilation of documentation to board the design phase. Then, the design concept is embodied according to the established procedures and drawings, generating the tools that along with the supplied equipment, allow to manufacture through this process. A trial injection is made with these, with which a set of prototypes is obtained. For their evaluation, a protocol is defined and executed on the prototypes, the tools and the process, allowing to make a detailed analysis of the results.

Additionally, an evaluation is made focused dealing with the same product but at the industrial project level. UNIDO methodology for the preparation of industrial viability studies is used, so that a set of information is available to the company for deciding whether or not to continue to the next phase with the project. The end is a conclusion phase, where the achievements of the projects are established and some recommendations for coming projects are made.

The final report for this Project is available in EAFIT University library in digital format ([www.eafit.edu.co/biblioteca](http://www.eafit.edu.co/biblioteca))

## **KEYWORDS**

RTM Light, Composite materials, Composites, Cabinets, GRP, Thermo set Injection, Parametric analysis, Project evaluation.

## **INTRODUCCIÓN**

Este documento presenta el proyecto “Diseño y fabricación de gabinetes para medidores de gas en poliéster reforzado con fibra de vidrio por el sistema de inyección por molde cerrado RTM” (RTM viene de la sigla en inglés de Resin Transfer Moulding que traduce moldeo por transferencia de resina). Exhibe con detalle cada uno de los productos planteados en la propuesta del proyecto como indicador de cumplimiento de los objetivos.

Se desarrolla cada una de las fases de recopilación teórica, síntesis conceptual, corporificación, evaluación y

conclusión constituyendo un caso de estudio de las áreas de diseño metódico, gestión de proyectos, materiales de ingeniería, ingeniería ambiental, mercadeo, entre otras áreas de interés de la ingeniería mecánica.

El sistema de distribución de gas natural por red de EPM (empresa prestadora de servicios públicos con su área de influencia en el Valle de Aburrá, Departamento de Antioquia) requiere que se instalen, en cada una de las conexiones de los suscriptores del servicio de gas

natural por red, medidores, que permitan cuantificar el consumo, denominados medidores de volumen. Ver Ilustración 1.

Fachada de varias viviendas mostrando el gabinete del medidor de gas. Los medidores se montan en nichos construidos en mampostería o con gabinetes metálicos o de resinas sintéticas, con puertas, y dotados de tornillos de seguridad (EPMGAS, 2004).

### ILUSTRACIÓN 1

#### Fachada de varias viviendas mostrando el gabinete del medidor de gas



EPMGAS, 2004

Dentro de los procesos de manufactura de materiales compuestos se encuentran los procesos por molde cerrado. Este principio consiste en el posicionamiento de un refuerzo de fibra o preformas dentro de la cavidad de un molde, que posteriormente es cerrado e inyectado con resina para llenar la cavidad. Existen múltiples procesos que se acomodan a esta descripción y que se diferencian en la forma en que se inyecta la resina, el material y la manera en que se cierra el molde.

El Moldeo por transferencia de resina o RTM es un proceso semi automatizado de fabricación por molde cerrado que permite obtener estructuras de material compuesto en un amplio rango de complejidad, de formas y de tamaño. Requiere de una maquina de inyección y dispositivos automáticos de catalización de la resina (MIRAVETE, 2001).

El proyecto tiene origen en la necesidad de buscar una alternativa de reemplazo, teniendo en cuenta los indicios de corrosión y vida útil reducida de los gabinetes para medidores de gas usado actualmente en aplicaciones domésticas. Busca facilitar la difusión de las capacidades del proceso en la comunidad académica, pero aun más importante, ser un referente ante la industria local de este sector.

Sirve como instrumento para la incursión de la Universidad EAFIT en los procesos avanzados de manufactura de materiales compuestos, para la aplicación de los resultados de investigaciones previas y para abrir las puertas a otros proyectos que busquen el desarrollo de aplicaciones tecnológicas a los problemas de la industria, para el país dentro del sector de los materiales compuestos.



El objeto de estudio del proyecto son los gabinetes para alojar medidores de gas en el sistema de gas natural por red. Se propone una alternativa de manufactura de estos en material compuesto por medio del proceso RTM Light.

Se resalta que durante la ejecución se hace un cambio en los objetivos de la propuesta inicial, reduciendo el número de prototipos dado que las pruebas finalmente realizadas requerían un número inferior al propuesto.

El objetivo general es sintetizar el prototipo de un producto como una alternativa a los gabinetes en lámina metálica mediante el diseño y fabricación de los mismos en poliéster reforzado con fibra de vidrio por un sistema de inyección en molde cerrado. De este objetivo se desprenden una serie de objetivos específicos de forma que el producto es fundamentado y diseñado antes de ser construido y evaluado. Cada una de estas fases constituye los diferentes capítulos de este informe. Adicionalmente se presenta un capítulo en el que se estudia la viabilidad del proyecto a nivel industrial y finalmente los capítulos de conclusión y demás complementarios. Estas actividades definen el alcance del proyecto.

La aproximación al problema es en esencia práctica, pero se mantiene un aporte amplio de diferentes áreas de interés de la Ingeniería Mecánica, como fundamento teórico del proyecto, estableciendo un análisis interdisciplinario del problema. Se trabajan áreas como Ingeniería ambiental, costos, mercadeo, análisis financiero, preparación de proyectos y metodologías de diseño.

## **MARCO TEÓRICO**

### **1.1 GABINETES PARA MEDIDORES DE GAS EN LÁMINA METÁLICA**

Como partida para presentar una alternativa a los gabinetes utilizados en 2006 como alojamiento de los medidores de gas en el sistema de gas natural por red se estudia la situación de los que en ese momento se instalan encontrando condiciones, restricciones,

características y propiedades relevantes al momento de diseñar un gabinete para esta aplicación como se muestra más adelante.

En cuanto a los gabinetes instalados se encuentra que no existe uniformidad en cuanto a sus características. En un alto porcentaje de los gabinetes evaluados se encuentra corrosión avanzada de las partes. Por otro lado se estudian los gabinetes comercializados, en los que se encuentra una relativa uniformidad respecto a sus características.

### **1.2 ESPECIFICACIONES Y NORMAS SOBRE GABINETES PARA MEDIDORES DE GAS**

Se evalúan 2 especificaciones técnicas relacionadas con el producto. Una es la del proveedor local del servicio en Medellín, Empresas Públicas de Medellín ESP (EPM) y la otra es una especificación española. En la local se establecen las características generales del gabinete como partes y su funcionalidad pero no se definen aspectos como tamaño ni normas que deban cumplirse.

En cuanto a la española considera como material, entre otros, el poliéster reforzado. Establece el requerimiento de una llave de bloqueo de la puerta y otras características similares a la especificación de EPM.

Se observa que en general los gabinetes disponibles para la venta cumplen con la especificación técnica local.

### **1.3 GABINETES DE USO GENERAL EN PLÁSTICO REFORZADO CON FIBRA DE VIDRIO (PRFV)**

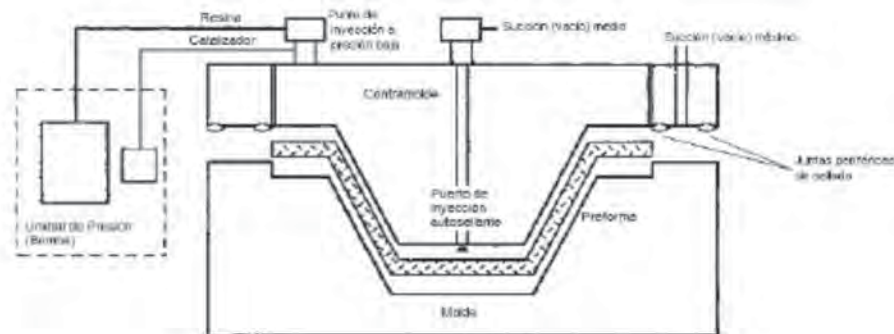
Se encuentra que en países como Estados Unidos e Inglaterra existen empresas que manufacturan gabinetes para aplicaciones múltiples en poliéster reforzado lo que da un indicio de la aplicabilidad del material al problema estudiado. No se identifica el proceso utilizado.

Se identifican la ciencia y tecnología de los materiales compuestos, dentro de la cual existen algunos procesos avanzados que permiten un mayor control de las



características y reducen las emisiones de estireno a la atmósfera. Dentro de estos procesos se identifica el RTM Light, como un proceso avanzado en el que se utiliza el vacío para inducir el flujo de la resina hacia la cavidad donde se encuentra el material de refuerzo. Una vez llena la cavidad, cura la resina y se abre el molde para extraer la pieza. Se utiliza también el vacío para el cierre del molde por medio de un flanche que rodea el molde y que por medio de la presión atmosférica ejerce la fuerza de cierre.

Para llevar a cabo este proceso se identifican algunas características particulares en el molde como se ve en la siguiente figura:



Modificada de (FONG, 1998)

Las particularidades del proceso requieren:

Un canal periférico donde no se ubica refuerzo por el cual fluirá la resina hasta rodear la cavidad y del cual fluirá la resina al interior para llenar la cavidad, o donde una vez llenada la cavidad llegará la resina para fluir hasta el punto de vacío.

Un punto de conexión de inyección por donde entrará la resina.

Un canal formado por un empaque interior que evitará la salida de resina de la cavidad de inyección y un empaque exterior que separa el canal de vacío (flanche) del exterior del molde. En este canal se conecta el vacío máximo por medio de un conector instalado para tal fin. El área de este canal según la presión que se ejerza será la encargada de crear la fuerza de cierre dado que el exterior del molde está sometido a presión atmosférica.

Un compresor para suministrar aire y una bomba de vacío para evacuarlo.

Un equipo de inyección y canalización de resina.

Se hace un análisis relacionado con las materias primas, las herramientas, los procedimientos, los problemas y el equipo estableciendo el siguiente listado de variables:

Elemento	Variable	Subvariables relacionadas
Pieza	Material (Resina y refuerzo)	Porcentaje, tipo, disposición, preformado del refuerzo, adhesivos
	Geometría	Forma y espesor del laminado
	Accesorios	Cantidad, ubicación, sujeción
Molde	Forma	Inyección, apertura, número de partes, alineación de las partes
	Espesor	
	Superficie	Acabado, resistencia química y térmica
	Punto de inyección	Ubicación
	Punto de vacío	Ubicación, porcentaje respecto al máximo
Cierre		Dimensiones del canal, empaques, puertos de conexión, fuerza de cierre, presión máxima de vacío disponible

## DISEÑO

En la fase de diseño, se aborda la tarea de generación del concepto de diseño mediante una metodología denominada análisis paramétrico que se compone de las siguientes actividades:

**Definición del problema.** Se identifica la necesidad de un medio para alojar los medidores de gas, para los cuales existe una solución previa que presenta problemas como una vida útil reducida.

**Análisis funcional.** La función principal del gabinete es alojar un medidor de gas. Como subfunciones, el gabinete protege al medidor del acceso no autorizado, de efectos externos como el clima y cargas externas, permite que se lea el valor del consumo, que circule aire en forma natural y que personas autorizadas tengan acceso al interior para realizar reparaciones y mantenimiento.

**Necesidad inicial.** A partir del problema planteado se encuentra que la necesidad inicial consiste en proveer una alternativa para los gabinetes que alojan medidores de gas que cumpla las mismas funciones de los actuales pero que además tenga mejor resistencia a la corrosión y que sea manufacturado por el proceso de RTM Light.

<b>PROCESO</b>	Apertura	Forma, fuerza, manipulación del molde
	Cura	% catalizador, % acelerador
	Inyección	% estireno para bajar, viscosidad, presión de inyección, % vacío
	Desmoldeo	Agente desmoldante

(MOSSETI, 2005), (MIRAVETE, 2001)

**Análisis de la necesidad.** La necesidad se analiza en 5 aspectos que después se extienden para establecer el listado de requerimientos de diseño (desempeño, valor, tamaño, seguridad, especial). El último aspecto se extiende para considerar otros aspectos como el mercado, la estrategia y la tecnología.

**Identificación tecnológica.** El alcance del rediseño se ha definido para modificar la solución actual de la necesidad inicial a la vez que se atacan otras consideraciones. El principio físico es básicamente el mismo, una barrera física proveerá el medio de almacenamiento del medidor. Para hacer esto se ha identificado la tecnología de los materiales compuestos. La técnica específica dentro de esta tecnología es transferencia de resina a baja presión asistida con vacío (RTM Light), lo que implica el uso de una resina termoestable y refuerzo de fibra de vidrio como materiales.

**Análisis paramétrico.** Esta fase consiste en un ciclo en el que se identifica un parámetro elemental de diseño y luego se sintetiza una configuración que incorpore el parámetro de acuerdo a la función requerida, de forma que se recorren los requerimientos de diseño en un proceso que puede entenderse como una espiral ascendente desde los parámetros más críticos hasta los más triviales. Se genera una tabla en la que se documenta el recorrido a través de los diferentes parámetros presentando la forma como se toman las decisiones dentro del proceso de diseño.

**Resultados de la síntesis.** Una resina termoestable de poliéster ortoftálico, se refuerza con un manto de hilos picados de fibra de vidrio. La geometría es un cascarón con aperturas en el fondo inferior y en el frente. Hay agujeros en el marco frontal borde inferior y una apertura total en la cara posterior.

La ventana frontal es cubierta por una superficie removible. La puerta también tiene una apertura cuadrada en la parte baja central y ranuras en la parte alta. Un aviso que dice "Gas natural, no fumar", hace parte de la puerta como un alto relieve. El producto se manufactura dentro de un molde que debe abrirse para desmoldar la pieza. La forma de apertura es un contra molde que entra por la parte posterior del gabinete y un molde que rodea el exterior de la pieza. La pieza del molde que contiene la superficie exterior del gabinete se denomina en adelante pieza A, la pieza que contiene la superficie interior se denomina pieza B.

La resina debe ser adecuada para que su viscosidad permita la inyección. Un agente catalizador se añade a la resina junto con acelerador antes de la inyección, para que la resina cure a temperatura ambiente luego de que se ha llenado la cavidad, modificando los porcentajes de catalizador y acelerador se modifica el tiempo de gel y de cura.

Previo a la inyección con el molde abierto se aplica agente desmoldante, se ubica el material de refuerzo en su lugar donde estaba el material de refuerzo, se cierra el molde y se hace la inyección. Cuando la resina ha curado se abre el molde y se extrae el gabinete.

#### Diseño de detalle

Posteriormente se aborda una fase de diseño de detalle donde se definen, con base en los fundamentos

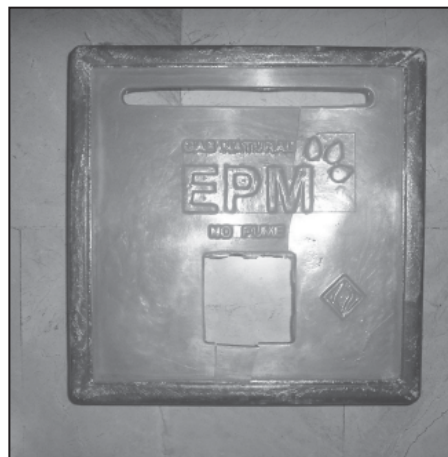
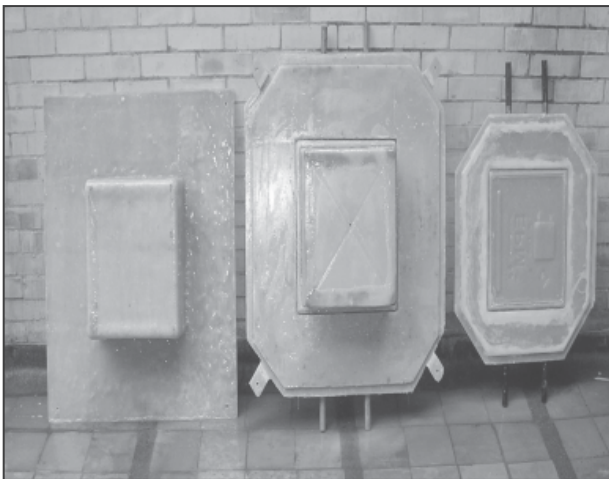
teóricos establecidos previamente, las particularidades del modelo para manufactura del molde, del molde, del gabinete y del proceso de manufactura.

#### Listado de planos

La fase de diseño finaliza con la documentación del proceso a través de planos y listas de chequeo del proceso como procedimientos de operación.

### 3. CONSTRUCCIÓN

A partir de la documentación de diseño se aborda la corporificación del los prototipos. Se inicia con una fase de pruebas preliminares para establecer los parámetros del proceso y se continúa con la construcción de modelos, moldes y prototipos secuencialmente. Los resultados se muestran a continuación:



#### **4. EVALUACIÓN**

La evaluación de los prototipos comprende la definición de un protocolo que mide el cumplimiento de los requisitos de diseño respecto a la aplicación y a la tecnología utilizada. Este protocolo se implementa por medio de una serie de procedimientos de evaluación y se registra en unos formatos provistos para ello.

A partir de los resultados obtenidos se hace un análisis en el que se establece si hay conformidad con los requerimientos, caso en el cual se proponen mejoras para el producto, o si hay inconformidad, para lo cual se estudian las posibles causas y se sugieren soluciones potenciales.

Se encuentran como principales aspectos a mejorar la rigidez del molde para evitar la fuga de resina, un mejor control de las materias primas y del funcionamiento del equipo y la modificación de aspectos como la extracción de la pieza y el acabado para simplificar el proceso.

Se encuentra que en general el prototipo cumple con los requerimientos de diseño y es por lo tanto funcional.

La evaluación finaliza con una revisión de los productos propuestos en el anteproyecto y la identificación del cumplimiento de los objetivos establecidos.

#### **5. ESTUDIO DE VIABILIDAD**

Como una fase adicional, que no se considera en el anteproyecto, se presenta un análisis del proyecto, pero saliendo del artefacto técnico como tal para evaluar la viabilidad del proyecto como unidad productiva dentro de una organización. Para ello se utiliza la metodología ONUDI. Se desarrolla el siguiente esquema:

- Conceptualización: Antecedentes, historial, objetivos y horizonte.
- Análisis sectorial y de mercados.
- Análisis técnico y ambiental.
- Análisis administrativo y organizacional.

- Análisis Legal.
- Análisis financiero.

De esta forma se hace una evaluación integral del proyecto con la que en última instancia se tiene una serie de indicadores financieros que sirven como base al inversionista para tomar la decisión de ejecutar o no la inversión en el proyecto.

Se hace un análisis ampliado del proyecto industrial presentado considerando las diferentes variables que pueden afectar su desempeño, con el fin de reunir la información suficiente para decidir sobre su ejecución. En última instancia el criterio de decisión es el financiero como es usual en los proyectos privados. Pero dado que los demás estudios han sido considerados y que no contradicen los criterios de decisión financieros se sugiere una decisión que no se limita a las consideraciones financieras. De esta forma se exceden los límites de la investigación alrededor de un artefacto, una tecnología y un problema al ámbito empresarial con un enfoque innovador y emprendedor.

#### **CONCLUSIONES**

Durante el proceso mostrado se establecen múltiples sujetos, de forma que a partir de la necesidad inicial de verificarla. A través del desarrollo del proyecto se consigue hacer un análisis interdisciplinario del problema, en cuanto se consideran en forma relacionada diferentes áreas de interés de la ingeniería mecánica extendiendo el nivel de estudio del problema más allá de la necesidad inicial. Se consideran áreas como:

- Costos
- Ing. Ambiental.
- Preparación de proyectos
- Metodologías de diseño
- Materiales de ingeniería
- Mercadeo
- Análisis financiero

Se demuestra que el proceso es aplicable al problema planteado, haciendo una evaluación del artefacto técnico, que debe corresponder a los recursos, la habilidad técnica y científica y al lugar y tiempo establecidos, así como del proyecto a nivel industrial, que debe satisfacer las necesidades estratégicas de una organización. Esto se materializa en un conjunto de prototipos del producto establecido, en los resultados de su análisis detallado mediante un protocolo de evaluación estructurado hacia la aplicación y la tecnología, así como en los resultados del estudio de viabilidad industrial.

El proceso se desarrolla en forma metódica dado que se establece una estructura que se compone de diferentes fases, cada una de las cuales incluye el planteamiento de sus objetivos, la definición de procedimientos y actividades así como una evaluación final para verificar el cumplimiento de los objetivos. Adicionalmente en cada fase, principalmente en la de diseño, se hace una documentación detallada como medio para una correcta manipulación del producto en la siguiente fase, por ejemplo la materialización del diseño en la fase de evaluación o el análisis de los resultados de la evaluación.

Se hace un análisis detallado de los productos obtenidos mediante el proceso de manufactura implementado, identificando cuales son sus características respecto a los requerimientos establecidos en la fase de diseño, los problemas o inconformidades con estos requerimientos y algunas posibles soluciones, las posibilidades de mejora de los productos dentro del proceso de desarrollo del producto y la aplicación de los hallazgos mas allá del producto específico desarrollado.

La fase de diseño se abarca mediante una metodología paramétrica, en la cual, a partir del análisis del problema, de las funciones y de los requerimientos, se llega a un ciclo donde se desarrollan 3 actividades elementales para cada uno de los parámetros que componen un concepto de diseño. Esta aproximación, permite generar un diseño basado en características interrelacionadas que pueden ser modificadas para transferir el concepto a otras aplicaciones. Además el hecho de concentrarse en un aspecto del diseño a la vez, permite que el diseñador

haga conscientemente un proceso que normalmente hace de forma inconciente y que adicionalmente se establezca un documento de la forma en que se toman diferentes decisiones durante el desarrollo del concepto.

Respecto al proceso de manufactura, se establecen una serie de parámetros tanto del proceso como de la herramienta, de la máquina y de los materiales, para los cuales se establece un procedimiento de verificación como medio para controlar su desempeño y asegurar así la obtención del producto deseado.

Dentro del estudio de viabilidad del proyecto industrial, se resalta la forma en que se consigue una estimación de la demanda agregada por medio de un estudio de mercado de fuentes secundarias. Se encuentra de esta forma que existe una demanda para el producto estudiado durante un horizonte de 4 años. Esto se hace a partir de la proyección del crecimiento histórico de la red de gas natural junto con las proyecciones oficiales de crecimiento para el mediano plazo. La proyección se muestra en la figura (a):



Adicionalmente, a partir de la oferta establecida con base en las proyecciones de mercado y en las limitaciones productivas, se obtiene una proyección de los ingresos del proyecto, que combinada con la proyección de los egresos permite encontrar una serie de indicadores de desempeño financieros llegando hasta un análisis de retorno de la inversión y valor agregado con lo cual se identifica un retorno de la inversión dentro del horizonte de tiempo del proyecto lo que finalmente indica, en conjunto con otros indicadores la conveniencia en



términos financieros de realizar esta inversión. En la figura (b) muestra como antes de un periodo se consigue el retorno de la inversión y se empieza a generar valor agregado para los inversionistas.



## RECOMENDACIONES

Entre las principales ideas que surgen del proyecto como propuestas para su continuación o para el inicio de nuevos proyectos se resalta:

Extender mediante la metodología de análisis paramétrico, el concepto de diseño desarrollado para otras aplicaciones similares como gabinetes para equipo sensible, equipo eléctrico, sistemas de control, entre otros tipos de gabinetes similares, e incluso para desarrollar cualquier producto utilizando el proceso estudiado, dado que se establecen las bases a considerar dentro de su desarrollo.

Implementar las mejoras establecidas para los prototipos en la evaluación, de forma que se verifique su pertinencia y se puedan obtener nuevos resultados dentro del desarrollo del producto.

Profundizar el estudio de aspectos como el comportamiento a la llama, el efecto de las condiciones ambientales y la resistencia de los moldes en cuanto a los ciclos de producción soportados.

Extender el nivel de análisis del mercado para incluir otros aspectos de la comercialización como la influencia del hombre en la decisión compra.

Continuar con el proceso de desarrollo del producto a partir de los prototipos presentados.

## BIBLIOGRAFÍA

BEHRENS, W. HAWRANEK, P M . Manual para la preparación de estudios de viabilidad industrial. Viena. ONUDI, 1994. ISBN 9213061668.

EPM GAS. Guía para el diseño de redes de Gas. Empresas Públicas de Medellín ESP

EPM. Guía para el diseño de redes de Gas. Empresas Públicas de Medellín ESP. [Internet]. <http://www.eppm.com/instaladores/guia%20diseño%20redes%20gas.doc>. 2003 Editor: Empresas Públicas de Medellín. [Marzo de 2006]. Acceso Libre.

EPM. Sistema de distribución de gas natural. Empresas Públicas de Medellín ESP. [Documento de power point en oficina de gas natural de empresas Públicas de Medellín E.S.P.].2004. Editor: Empresas Públicas de Medellín. [Marzo de 2004]. Acceso limitado.

FONG, Lihwa. ADVANI, S.G. Resin Transfer Molding. Handbook of composites. Segunda edición. Editorial Chapman & Hall. Londres. Inglaterra. 1998. pp433-454 ISBN 0 412 54020 7.

KROLL, Ehud. Innovative conceptual design. Cambridge University Press. Cambridge, UK. 1997. ISBN: 0511034164

MIRAVETE, Antonio. Materiales Compuestos ISBN 8492134976.

MUSSETI, Ezio. Fabricação de moldes e modelos. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO PLASTICO REFORÇADO. 2001. Boletín de información comercial.

POTTER, Kevin. Resin Transfer Moulding ISBN0412725703



# DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UNA MÁQUINA MOLETEADORA DE MANUBRIOS PARA MOTOCICLETA

JOHN ALEJANDRO POSADA ALZATE  
*jposada8@eafit.edu.co*

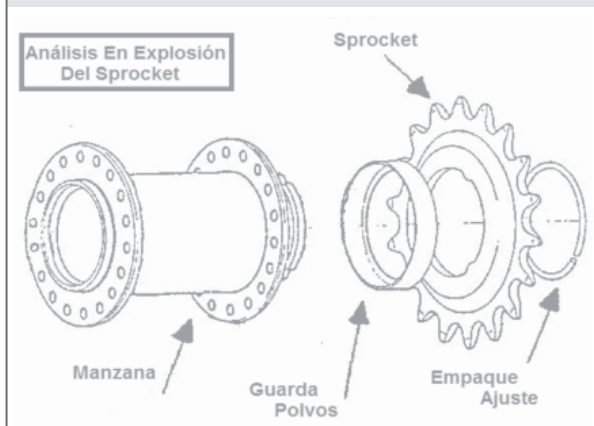
JUAN ANTONIO MURCIA GARCÍA  
*jmurciag@eafit.edu.co*

Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS  
DISEÑO DE SISTEMAS TÉCNICOS

ASESOR PRINCIPAL  
ALBERTO RODRÍGUEZ GARCÍA

SECTOR BENEFICIADO  
UNIVERSIDAD EAFIT



## RESUMEN

El presente artículo tiene como objetivo ilustrar a los lectores sobre el proceso de moleteado y como este fue optimizado en la empresa C.I. Colauto S.A. con el fin de minimizar las pérdidas por mala calidad y tiempo excesivo de proceso. También se quiere mostrar como fue la metodología de diseño que se utilizó para poder cumplir con este objetivo.

## ABSTRACT

The objective of this present article is to illustrate the readers on the knurl process and how it was optimized in the company C.I. Colauto S.A with the purpose of diminishing lost by bad quality and excessive time of process. It also wants to show how the design methodology that was used was able to fulfill this objective.

Design, manufacture and economic analysis of a knurling machine handle-bars for motorcycle.

## 1. INTRODUCCIÓN

El diseño de la máquina pretende suplir la necesidad de graficar los manubrios de manera automática. Para realizar esto, al sistema entrarán la tubería a ser moleteada y con la ayuda de mecanismos, energía neumática y eléctrica se obtendrán tubos moleteados. La caja negra se muestra en la Ilustración 1:

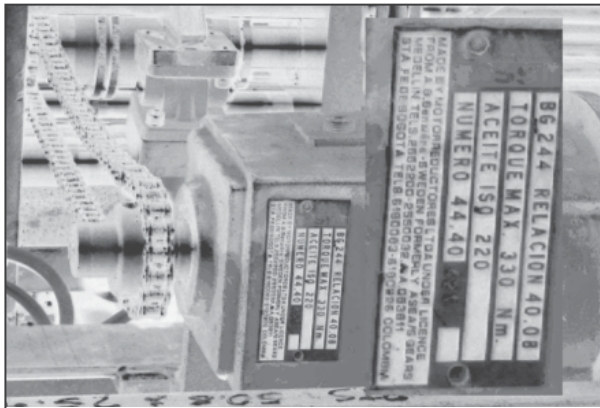
ILUSTRACIÓN 1  
Caja negra de una moleteadora



## 1.1 CÁLCULOS

Para realizar los cálculos necesarios; hay que disponer de datos reales con los cuales se fundamentaran todos los resultados obtenidos y las aproximaciones que se deban de tener en consideración Ilustración 2.

**ILUSTRACIÓN 2**  
Especificaciones del motor



De la Ilustración 2 se obtienen los datos que se muestran a continuación, datos únicos y por lo tanto fundamentales para el cálculo de la transmisión de potencia.

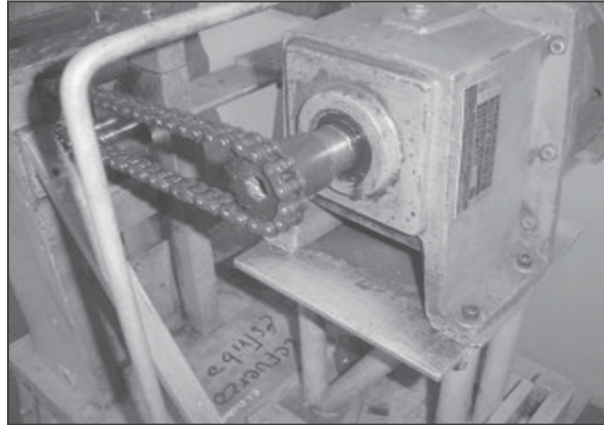
Transmisión de potencia:

La siguiente es la lista de los elementos que componen la transmisión de potencia:

- BG 244 Relación 40.08
- Torque Maximo 330 Nm
- Aceite ISO 220
- Número 44.40

Todos los cálculos que se presentan a continuación, tienen que ver de forma directa con los requerimientos del motor-reductor que se muestran en la ilustración 13 y la ilustración 3.

**ILUSTRACIÓN 3**  
Motor-reductor y sistema de transmisión por cadena



## CÁLCULO DEL PIÑÓN

Según factores que favorecen el diseño del sistema de transmisión, se parte de un ángulo de presión de:

$$\phi = 20^\circ \text{ (Para Piñón recto)}$$

A partir del ángulo de presión dado, se calcula el número mínimo de dientes del piñón:

$$N_{MIN} = \frac{2}{\text{sen}^2(20^\circ)}$$

Se obtiene:

$$N_{MIN} = 17.097 \text{ dientes}$$

Pero, según la tabla 11-4, página 717 [Robert L. Norton, Diseño de Máquinas, Prentice Hall], par un ángulo de presión de  $\phi = 20^\circ$ , el número mínimo de dientes es:  $N_{MIN} = 17.097$  dientes valor con el que se realizarán todos los cálculos.

## CÁLCULO DEL PASO DIAMETRAL

$$P_d = \frac{N}{d_p}$$

$$P_d = \frac{18}{2.75}$$

$$P_d = 6,53 \frac{\text{número de dientes}}{\text{pulgadas}}$$

$$P_d = 6 \frac{\text{número de dientes}}{\text{pulgadas}}$$

(Valor final ya aproximado)

Para garantizar un número de dientes  $N = 17$  para el piñón, se debe de modificar el diámetro de este y continuar con un

$$P_d = 6 \frac{\text{número de dientes}}{\text{pulgadas}}$$

Finalmente se tiene entonces (Considerando una relación 1:1 Piñón-Sprocket):

$$\text{Diámetro del Pinón} = 72 \text{ mm} = 2.83 \text{ in}$$

Garantizando una velocidad constante y por motivos de diseño un mismo diámetro entre piñón y sprocket, además del mismo número de dientes; entonces se obtiene lo siguiente:

$$\text{Número de dientes del Sprocket} = 17$$

$$\text{Diámetro del Sprocket} = 72 \text{ mm} = 2.83 \text{ in}$$

$$\text{Número de dientes del Piñón} = 17$$

$$\text{Diámetro del Piñón} = 72 \text{ mm} = 2.83 \text{ in}$$

## CÁLCULO DE LA CADENA

Se presenta a continuación el cálculo de la cadena usada para la transmisión de potencia:

Datos necesarios (Ilustración 2):

$$\text{Potencia}_\text{Motor} = 2\text{HP}$$

$$Rpm_\text{eje} = 1710$$

$$\text{Torque}_\text{máximo} = 330 \text{ Nm}$$

$$\text{Relación: } 40:1$$

$$\text{Diámetro}_\text{Piñón} = 70 \text{ mm} = 2.7559 \text{ in}$$

(Por referencias comerciales)

Usando Browning, Power Transmission Equipment, páginas E-92 a F-9, se obtuvo los siguientes datos:

$$F.S. = 1.3 \text{ (Ver tabla 1, para Motor Eléctrico)}$$

## SE CALCULA LA POTENCIA DE DISEÑO

$$\text{Potencia}_\text{de_diseño} = \text{Potencia} * F.S.$$

Se obtiene:

$$\text{Potencia}_\text{de_diseño} = 1.3 \text{ Hp}$$

(Para  $Rpm_\text{eje} = 1710$ ).

El número de dientes del Sprocket se elige de acuerdo a referencias comerciales y de acuerdo al número de rpm.

## CÁLCULO DEL TAMAÑO DE LA CADENA

Se determina de la siguiente forma:

$$\text{Chain}_\text{pull} = \frac{\text{Torque}}{\text{radio}}$$

### Ecuación 4.

Chain Pull.

Se obtiene:

$$\text{Tamaño}_\text{de_cadena} = 60$$

(Para  $\text{Torque}_\text{máximo} = 330 \text{ Nm} = 2920 \text{ Lb-in}$  y  $\text{Diámetro}_\text{Piñón} = 70 \text{ mm} = 2.7550 \text{ in}$ , cuando  $\text{Chain}_\text{pull} = 8344.97 \text{ Lb-in}$ , se obtiene de la tabla 1, página E-93, la aproximación ya establecida).

## CÁLCULO DE LA POTENCIA ESTÁNDAR PARA LA CADENA

Según los datos:

$$\text{Tamaño}_\text{de_cadena} = 60$$

$$Rpm_\text{eje} = 1710$$

(Se aproxima  $Rpm_\text{eje} = 1800$ )

Se obtiene:

$$\text{Potencia}_\text{standar} = 12.4 \text{ Hp (Tabla 1, página E-107)}$$

La relación Piñón - Sprocket es 1:1; relación que permite fundamentar el cálculo de número de dientes del Sprocket:

### CÁLCULO DEL NÚMERO DE DIENTES DEL SPROCKET

$$\frac{\text{Número\_dientes\_Sprocket}}{\text{Número\_dientes\_piñón}} = \text{Relación}$$

Se obtiene:

$$\text{Número\_dientes\_Sprocket} = 17 \text{ Dientes}$$

### CÁLCULO DE LA DISTANCIA DE LA CADENA

$$L = \frac{N+n}{2}P + \frac{2C}{P}$$

### Ecuación 6.

Distancia de la cadena.

Se obtiene:

$$L = 79.9 \text{ in}$$

(Cuando  $C = 23.62 \text{ in}$ ,  $N = 17$ ,  $n = 17$  y  $Pitch(P) = 3/4''$ )

A continuación se presenta un esquema que muestra la relación entre Piñón y Sprocket conectados entre si por medio de la cadena calculada con anterioridad (ver cálculo de la cadena), se muestra:  $N = 17$  para dientes de Sprocket,  $n = 17$  para dientes del piñón, para diámetro del Sprocket y para diámetro de piñón, separados por la distancia entre centros, como se presenta en la Ilustración 25.

ILUSTRACIÓN 4. Relación piñón sprocket

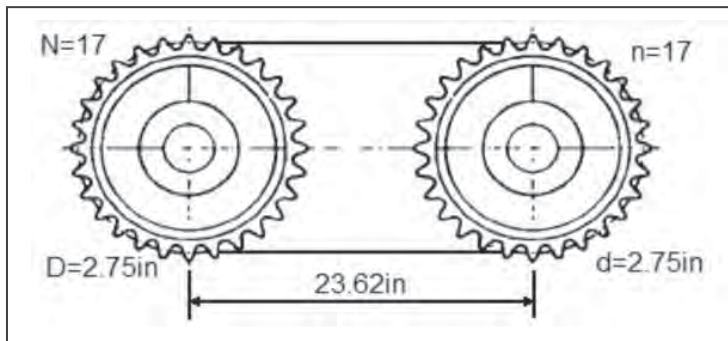
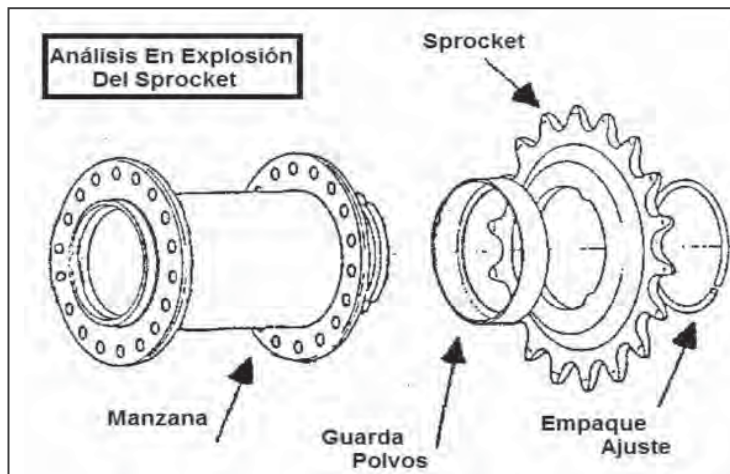


ILUSTRACIÓN 5. Esquema del sprocket



## CÁLCULO DE LA FUERZA REAL DEL PISTÓN

Se consideran los siguientes datos iniciales:

$$P = 80 \text{ Psi}$$

$$\text{Diámetro\_Piston} = 50 \text{ mm} = 1.968 \text{ in}$$

$$\text{Carrera} = 50 \text{ mm}$$

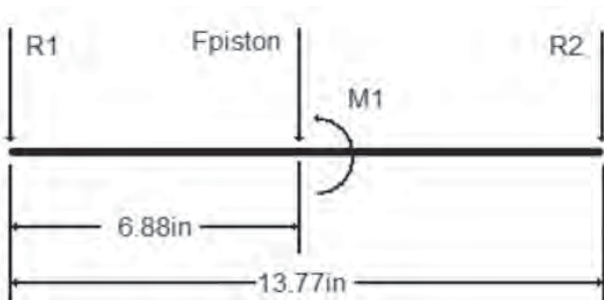
Partiendo de la expresión de Presión:

$$P = \frac{F}{A}$$

Considerando un área de  $A = 6.184 \text{ in}^2$ , se puede entonces obtener una fuerza en el pistón de  $F = 494.74 \text{ Lb}$ .

A continuación se muestra un Diagrama de Cuerpo Libre (DCL) del eje; en el cual actúan las fuerzas de los rodillos ( $R_1$ ), ( $R_2$ ) y el momento  $M_1$  necesario para trasladar la fuerza del pistón al centro.

**ILUSTRACIÓN 6**  
Diagrama de cuerpo libre con las fuerzas ejercidas en el rodillo



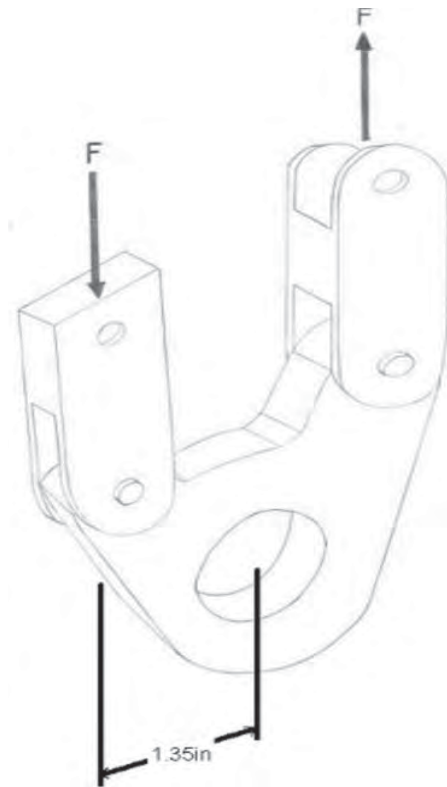
El cálculo del momento  $M_1$ , se halla conociendo la fuerza del pistón y la distancia  $L = 1.36 \text{ in}$  (ver figura 9).

$$M_1 = 671.21 \text{ Lb} \cdot \text{in}$$

## DIAGRAMA DEL MECANISMO “LEVA”

### ILUSTRACIÓN 7

Distancia localizada del mecanismo  $d$  de leva



Planteando una sumatoria de momentos en  $R_1$ , se halla fácilmente la magnitud de  $R_2$ .

Se obtiene:

$$R_1 = -198.44 \text{ Lb}$$

Finalmente, para hallar la magnitud de  $R_1$ , se plantea una sumatoria de fuerzas en  $y$ .

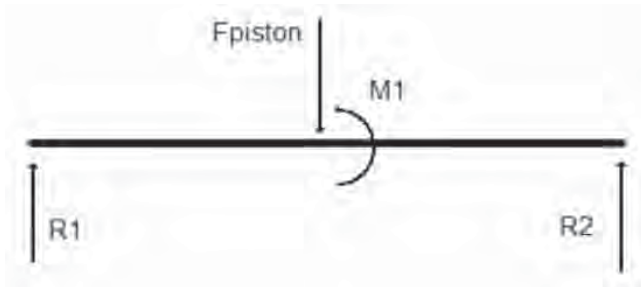
Se obtiene:

$$R_1 = -296.29 \text{ Lb}$$

Según los datos obtenidos, se observa las magnitudes de las fuerzas, pero revelan que son en direcciones contrarias a las supuestas en la ilustración 7.



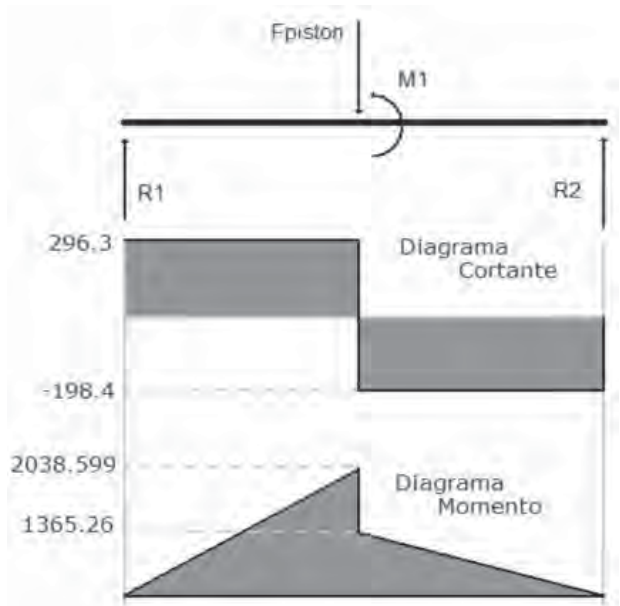
**ILUSTRACIÓN 8**  
Diagrama de cuerpo libre con la dirección de las reacciones corregidas



Finalmente después de conocer la magnitud de las reacciones y , además de conocer la fuerza del pistón, se plantea a continuación el diagrama de Cortante y momento Flector.

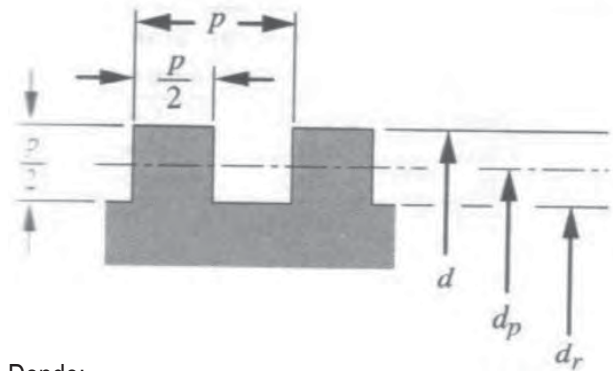
**DIAGRAMA DE CORTANTE Y DE MOMENTO FLECTOR**

**ILUSTRACIÓN 9**  
Diagrama de cortante y momento con las reacciones de los rodillos



Cálculo teórico de la fuerza del pistón:  
Considerado una rosca de tipo cuadrada:

**ILUSTRACIÓN 31**  
Rosca cuadrada



Donde:

$Paso (P) = 3 \text{ mm}$

$Diámetro\_menor (dr) = 15 \text{ mm}$

Para Diámetro de tornillo externo:

$D = 18 \text{ mm}$

$Diámetro\_mayor (d) = 18 \text{ mm}$

Para Diámetro de tornillo interno:

$d = 15 \text{ mm}$

Los anteriores datos son tomados de la tabla 14-2, página 896 [Robert L. Norton, Diseño de Máquinas, Prentice Hall, Capítulo 14]

**ANÁLISIS DE LA FUERZA DEL TORNILLO DE POTENCIA PARA ROSCA CUADRADA**

Conociendo los datos siguientes (ver nomenclatura figura 12):

$P = 0.34 \text{ KN} = 340 \text{ N}$

(ver figura 22)

$Diámetro\_Pistón = 50 \text{ mm} = 1.968 \text{ in}$

Se hace:

Para roscas ISO se tiene:

$d_p = d - 0.649519 * P$



$$d_p = 16 \text{ mm}$$

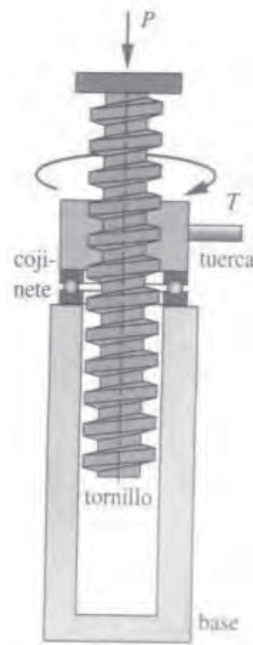
(Con un  $p = 0.3$  y  $d = 18 \text{ mm}$ )

$$d_r = d - 1.226869 * p$$

$$d_r = 14.32 \text{ mm}$$

(Con un  $p = 0.3$  y  $d = 18 \text{ mm}$ )

**ILUSTRACIÓN 11**  
Tornillo de potencia



Para hallar la fuerza se hace:

$$F = P \frac{\mu \cos \lambda + \operatorname{sen} \lambda}{\cos \lambda - \mu \operatorname{sen} \lambda}$$

Es importante conocer el par de torsión del tornillo  $T_{Su}$  requerido para elevar la carga.

$$T_{Su} = F \frac{d_p}{2} = \frac{P d_p}{2} \frac{\mu \cos \lambda + \operatorname{sen} \lambda}{\cos \lambda - \mu \operatorname{sen} \lambda}$$

El par de torsión requerido para hacer girar el collarín de empuje es:

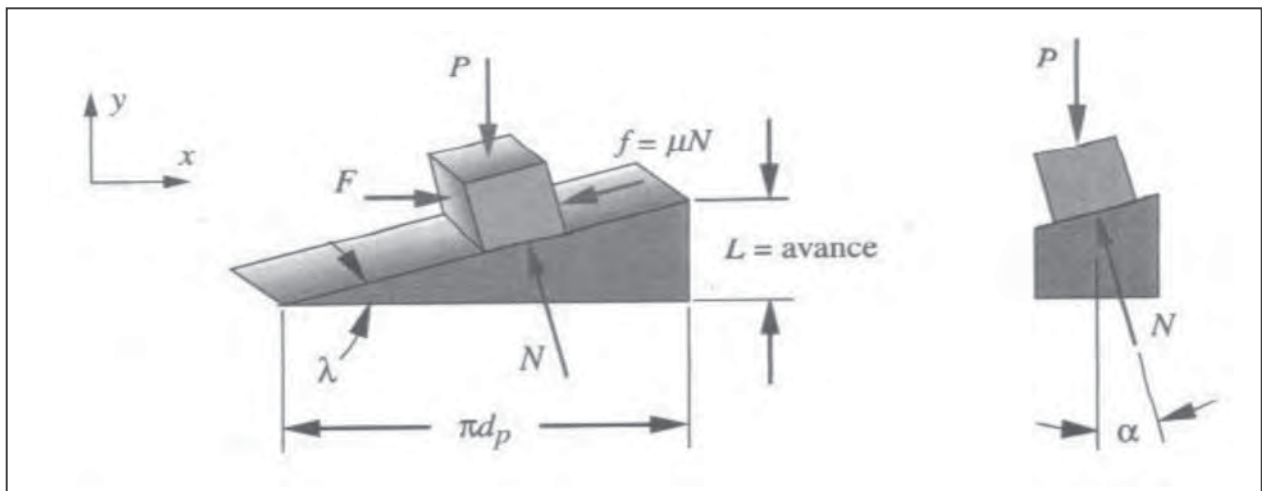
$$T_c = \mu_c P \frac{d_c}{2}$$

Finalmente el par de torsión total  $T_U$  requerido para elevar la carga con una rosca cuadrada es:

$$T_U = T_{Su} + T_c = \frac{P d_p}{2} \frac{\mu \pi d_p + L}{\pi d_p - \mu L} + \mu_c P \frac{d_c}{2}$$

Alguna de la nomenclatura usada se aclara viendo la Ilustración 12:

**ILUSTRACIÓN 12**  
Análisis de la interfaz tornillo y tuerca



Donde, surgen nuevas expresiones útiles para complementar los cálculos:

$$f = \mu N$$

$$\tan \lambda = \frac{L}{\pi d_p}$$

Si se observa en la tabla 14-2, página 896, se puede concluir que para un diámetro mayor  $d = 18 \text{ mm}$ , el paso correspondiente es:  $p = 2.5 \text{ mm}$ .

Con los datos establecidos se puede calcular finalmente el par de torsión total  $T_U$  requerido para elevar la carga con una rosca cuadrada:

$$T_U = 17 \text{ N} \cdot \text{m} \text{ (Usando } F = 0.34 \text{ KN y una distancia } d = 0.05 \text{ m).}$$

Una vez calculado el par de torsión total, se puede hallar la carga  $P$ , usando la ecuación 13:

$$P = 10559.674 \text{ N} \text{ (Usando un } d_p = 16 \text{ mm, un avance para rosca simple } L = 0.0025 \text{ y un coeficiente de fricción del rodamiento } \mu = 0.02).$$

El ángulo de paso es fundamental y tiene un valor de:  $\lambda = 2.84^\circ$ .

Para hallar la fuerza tan anhelada, se plantea sumatorias de fuerzas en  $x$  y en  $y$  respectivamente así:

$$\sum F_x = F - \mu N \cos \lambda - N \sin \lambda$$

Despejando  $F$  se obtiene:

$$F = N (\mu \cos \lambda - \sin \lambda)$$

$$\sum F_y = N \cos \lambda - \mu N \sin \lambda - P$$

Despejando y calculando la normal  $N$  se obtiene:

$$N = 10602.19 \text{ N}$$

Reemplazando el valor de

$$N = 10602.19 \text{ en } F = N(\mu \cos \lambda - \sin \lambda), \text{ se obtiene finalmente:}$$

$$F = 2125 \text{ N} \quad F = 477.71 \text{ Lb}$$

## CONCLUSIÓN

Comparando la fuerza  $F = 494.74 \text{ Lb}$  real con la fuerza  $F = 477.71 \text{ Lb}$  teórica, se puede observar que hay una gran aproximación; se hace hincapié en que la fuerza  $F = 494.74 \text{ Lb}$  real debe de ser superior a la teórica para garantizar el correcto funcionamiento del diseño; ya que la fuerza es mínima para el sistema hidráulico.

## BIBLIOGRAFÍA

FPCT (FORMACIÓN PROFESIONAL Y CULTURA TECNICA INDUSTRIA – METALMECÁNICA). Máquinas y herramientas 1 (Torneado). Barcelona: Gustavo Gili S.A, 1987.

DINARO, Salvador. Manual del Tornero Mecánico Tomo 4. Barcelona: Gustavo Gili S.A. 1989.

NADREAU, Robert. El Torno y la Fresadora. Barcelona: Gustavo Gili S.A. 1989

SCHULZE, Hermann. Guía de taller para el torneado de metales. Barcelona: Gustavo Gili S.A. 1989

## INTERNET

HERRAMIENTAS DE MOLETEADO. Catálogo PDF. Alemania: (Disponible en internet) [http://www.quick-tools.at/pdf/katalog\\_es.pdf](http://www.quick-tools.at/pdf/katalog_es.pdf) (Consulta 5 abril de 2005)

METALMECÁNICA: INFORMACIÓN PARA LA INDUSTRIA DE MANUFACTURAS DEL METAL. España (Disponible en Internet). <http://www.metalmecanica.com/pragma/documenta/metalmecanica/secciones> (consulta 5 de abril de 2005)

INTRODUCCION AL MOLETEADO POR DEFORMACIÓN. España (Disponible en Internet). <http://www.integi.com/castellano/introducdefor.htm>.

# **CARACTERIZACIÓN DE LOS COMPONENTES DE SUSPENSIÓN DE LOS VEHÍCULOS DE PASAJEROS DEL METRO DE MEDELLÍN**

**Marcelo Palacio Jaramillo**  
*mpalaci8@eafit.edu.co*  
Departamento de Ingeniería Mecánica

**ÁREA DE ÉNFASIS**  
DISEÑO DE SISTEMAS TÉCNICOS

**ASESOR PRINCIPAL**  
FABIO PINEDA BOTERO

**SECTOR BENEFICIADO**  
METRO DE MEDELLIN



## **RESUMEN**

Este artículo contiene la descripción y resultados obtenidos en el proyecto que tiene como título “CARACTERIZACIÓN DE LOS COMPONENTES DE SUSPENSIÓN DE LOS VEHÍCULOS DE PASAJEROS DEL METRO DE MEDELLÍN”. El proyecto consiste básicamente en la realización de diferentes pruebas a algunos elementos de la suspensión del vehículo de pasajeros del metro de Medellín para determinar los valores de entrada necesarios para su caracterización que será realizada por medio de un modelo computacional.

## **ABSTRACT**

This article contains the description and results obtained in the project named “CARACTERIZACIÓN DE LOS COMPONENTES DE SUSPENSIÓN DE LOS VEHÍCULOS DE PASAJEROS DEL METRO DE MEDELLÍN”. The Project consists basically in the implementation of different tests to some elements of the suspension of the transport vehicles of passengers owned by the Metro de Medellín to determine the values necessary for their characterization which will be done by a computational model.

## **PALABRAS CLAVES**

Pruebas  
Elementos de suspensión  
Caracterización  
Modelo Computacional  
Vehículo de Pasajeros

## **KEY WORDS**

Tests  
Suspension Elements  
Characterization  
Computational Model  
Passengers vehicle

## INTRODUCCIÓN

El Metro de Medellín, conjuntamente con Colciencias y la Universidad EAFIT se encuentra desarrollando un proyecto de caracterización de los vehículos de pasajeros del Metro de Medellín. El proyecto esta a cargo del Grupo de Estudios de Mantenimiento Industrial GEMI de EAFIT, el informe es el resultado de su trabajo. La caracterización consiste en identificar claramente el comportamiento estático y dinámico de los componentes fundamentales del vehículo férreo con la ayuda de un modelo matemático asistido por computador. La caracterización es útil para la proyección de consumo de repuestos, mantenimiento y evaluación de sustitución de repuestos importados.

Dentro de los diversos elementos que requieren caracterización, se encuentran algunos elementos específicos como son: Amortiguador Vertical Primario, Amortiguador Vertical Secundario, Resorte Vertical Primario, Resorte Vertical Secundario, Bujede Suspensión Primaria, Biela de Tracción del Boggie, Amortiguador Lateral Secundario y Soporte del Motor de Tracción. Éste informe tiene como objetivo principal describir y mostrar los resultados de las pruebas realizadas a los elementos mecánicos mencionados anteriormente. Las pruebas efectuadas son indispensables para obtener los datos requeridos en el modelo matemático de la caracterización que podrá ser realizada después del análisis de los resultados de estas pruebas.

Las pruebas realizadas se atienen a los protocolos diseñados por el Ingeniero Peter E. Klauser, los cuales describen paso a paso los procedimientos necesarios incluyendo Objetivos, Normas de Seguridad, Equipos Requeridos, Pre Prueba y procedimiento.

Los Laboratorios de Ingeniería de la Universidad EAFIT fueron escogidos para realizar las pruebas por tener las máquinas, personal y características necesarias.

A cada una de las pruebas realizadas le corresponde un informe que contiene la descripción de cada proceso y las gráficas de la información recopilada por las maquinas durante el transcurso de las pruebas. Estos

informes no son incluidos en este documento por su gran extensión, sin embargo están disponibles para las personas involucradas en este proyecto. Los informes contienen una gran cantidad de información que fue comprimida en este informe final.

## DESCRIPCIÓN DE COMPONENTES

Antes de iniciar la descripción de las pruebas realizadas a elementos fundamentales de la suspensión del vehiculo de transporte de pasajeros del Metro de Medellín, se mencionará brevemente la ubicación y la función principal de estos elementos. Esta descripción facilitara al lector ubicar las piezas montadas en el Boggie y comprenda las pruebas realizadas.

- 1.1 Bastidor:** La base del vehículo es el bastidor del boggie que esta construido con vigas y largueros de tal forma que conforman una caja compacta. Los largueros tienen soldados consolas, agujeros y roscas para poder instalar todos los componentes incluyendo los elementos de suspensión, dentro de los cuales se encuentran los elementos a los que se hace referencia en este informe.
- 1.2 Amortiguador Lateral Secundario:** Uno de los elementos a los que se le realizó pruebas y se indica en este informe es el Amortiguador Lateral Secundario, cuya función principal es reducir las vibraciones transversales producidas en el desplazamiento del boggie sobre los rieles.
- 1.3 La Biela de tracción del Boggie:** actúa como una guía que evita mayores descargas de fuerza de las ruedas al habitáculo durante el frenado y arranque, este sistema es llamado sistema de articulación baja.
- 1.4 Amortiguador Vertical Secundario:** Cada uno de los boggie tiene un sistema de suspensión secundaria compuesta por dos Amortiguadores Verticales Secundarios, estos amortiguadores tienen la tarea de disminuir las oscilaciones que se producen, especialmente las amplitudes de resonancia del

habitáculo y logran un amortiguamiento más rápido de las vibraciones del boggie excitado por el riel.

- 1.5 Resorte Auxiliar:** El cubículo de pasajeros, se apoya en el bastidor del boggie por medio de un fuelle neumático el cual está soportado por un Resorte de Suspensión Secundaria, para cada fuelle hay un Resorte y para cada boggie hay dos fuelles. Este sistema se encarga de absorber los movimientos de giro y desplazamientos transversales del boggie frente al habitáculo.
- 1.6 El Amortiguador Vertical Primario:** tiene la función de minimizar las vibraciones ocasionadas por el movimiento de las ruedas del boggie sobre el riel. Este Amortiguador se diferencia del lateral y del vertical secundario por ser considerablemente mas corto.
- 1.7 Bujes de Suspensión primaria:** Los ejes del boggie están sujetos de manera estática por los Bujes de Suspensión Primaria que están sujetos por pares de efectos opuestos a diferentes niveles como se ilustra a continuación. El buje está montado en una placa y están sujetos elásticamente por el extremo del buje a la caja de grasa y rígidamente al bastidor del boggie por la placa dentada.
- 1.8 Resortes Helicoidales:** El bastidor del boggie se apoya a través de Resortes Helicoidales en las cajas de grasa dispuestas exteriormente. Una unión atornillada entre los platos de resorte superior e inferior hace posible pretensar los resortes. Estos resortes se componen de un para, en el que un resorte de diámetro menor se inserta dentro de otro con mayor diámetro.
- 1.9 Soporte del Motor de Tracción:** El motor de tracción esta montado rígidamente en suspensiones por la nariz del eje motor y elásticamente en el bastidor del boggie. Las fuerzas de arranque y frenado del motor de tracción son transmitidas al bastidor del boggie a través del Soporte de Motor de Tracción. El soporte está compuesto por una serie de placas elásticas, las cuales fueron objeto de pruebas en este informe. (Manual de mantenimiento)

## 2. DESCRIPCIÓN DE LA PRUEBA

Antes de realizar cualquiera de las pruebas es indispensable leer cuidadosamente todo el protocolo de la prueba, con el fin de comprender los procedimientos y determinar los requerimientos en términos de equipos, personal, seguridad, montaje, entre otros. Este primer paso permite una correcta planeación y suprimir contratiempos inesperados.

Al tener claros los requerimientos de la prueba se debe asegurar que el laboratorio presente todas las condiciones necesarias para realizar la prueba. Es de vital importancia asegurarse que las máquinas cumplan con las dimensiones suficientes para el montaje de la pieza, además que cumpla con los rangos de fuerza y frecuencia estipuladas en el protocolo.

Antes de realizar la prueba se debe verificar que los transductores estén bien calibrados, con el fin de que los datos obtenidos en la prueba sean lo más precisos posibles. De este procedimiento depende en gran medida la confiabilidad de la información que se entrega en el reporte.

El montaje de la pieza en la máquina universal es un tópico importante al que se le debe prestar la importancia que se merece. La pieza debe quedar instalada de tal manera que cumpla los requerimientos del protocolo y que las fuerzas que se apliquen coincidan con las estipuladas para la prueba. Este montaje debe cumplir con requerimientos de seguridad tanto para los equipos como para el personal involucrado en la prueba.

Las pruebas deben iniciar con los procedimientos de seguridad que deben incluir suministro de elementos de seguridad como gafas o guantes si se considera necesario, determinar las variables críticas que pueden ser monitoreadas para determinar el riesgo de un accidente como lo son temperatura, presión y fuerza máxima entre otras. Es pertinente ubicar los extintores en buen estado más cercanos y tener a la mano los números telefónicos de emergencia.

Los protocolos de las pruebas establecen procedimientos que deben ser realizados antes de la prueba, estos procedimientos son denominados Pre-Test y establece básicamente para todas las pruebas la utilización de una libreta de apuntes donde se listen todos los acontecimientos de la prueba, en esta instancia se realiza el montaje de la pieza en la máquina universal y se verifican las condiciones del laboratorio, en especial que la temperatura este por encima de los 20 grados centígrados. Además, se realizan varias pruebas para comprobar el funcionamiento de los equipos, para calentarlos y encontrar la temperatura adecuada de funcionamiento y para establecer los valores límites de deformación o fuerza que se deberán aplicar en el procedimiento de la prueba.

El procedimiento de cada una de las pruebas es descrito claramente paso a paso en los protocolos de las pruebas realizados por el Ingeniero Peter E. Klauser. Este procedimiento debe ser seguido al pie de la letra siguiendo las indicaciones y almacenando la información recolectada por el recolector de datos en archivos independientes.

Al finalizar las pruebas el protocolo establece procedimientos de post prueba en el que se recalca la importancia de obtener back up de la información recopilada y elaborar un informe de cada una de las pruebas.

### 3. RESULTADOS

Después de realizar las pruebas como se describe en los numerales anteriores se procesa la información obtenida en cada una de las pruebas y se encuentra los siguientes resultados:

El Buje de Suspensión Primaria, en cada una de las cinco pruebas realizadas permite realizar una aproximación lineal a la curva resultante en la relación fuerza vs desplazamiento.

K radial: 4.107 kN/mm  
K axial: 3.89 kN/mm

K torsion: 0.0163 kN/mm  
K conica: 0.0403 kN/mm  
K flexion: 0.0666 kN/mm

Al comparar los resultados de los Resortes Helicoidales de Suspensión Primaria se encuentra que la diferencia del coeficiente de los resortes internos no varia considerablemente entre el nuevo y el usado.

K resorte interno usado: 0.34 kN/mm  
K resorte interno nuevo: 0.33 kN/mm

Mientras que la diferencia del coeficiente entre los resortes exteriores es considerablemente mayor, de aproximadamente un 8.5%.

K resorte externo usado: 1.128 kN/mm  
K resorte externo nuevo: 1.04 kN/mm

Al comparar los resultados de los Resortes Auxiliares de Suspensión Secundaria se encuentra que los resultados de los dos resortes, uno nuevo y otro usado son prácticamente iguales.

K resortes auxiliares: 6.73 kN/mm

La Barra del acople del Boggie presento leves diferencias en los resultados de los coeficientes de los bujes que representan un 15.5% entre ambas pruebas, los coeficientes fueron los siguientes:

K tensión: 6.6 kN/mm  
K compresión: 5.76 kN/mm

El soporte de Motor de Tracción tiene un comportamiento no lineal en la relación fuerza vs desplazamiento, al comparar los resultados de las tres placas sometidas a prueba, se advierte que las dos primeras placas tienen un comportamiento similar, mientras que la tercera placa se comporta de manera singular, permitiendo una mayor deformación que las otras dos placas con el mismo valor de fuerza aplicada.

#### Función Soporte 1:

$$y = 1.53 X^2 + 0.44 x + 1.11$$



**Función Soporte 2:**

$$y = 1.40 X^2 + 1.25 x + 0.543$$

**Función Soporte 3:**

$$y = 0.58 X^2 + 2.44 x + 1.11$$

Al observar las curvas del comportamiento de los amortiguadores, que se muestra en los numerales anteriores de la relación entre velocidad media y coeficiente, se advierte que el Amortiguador Vertical Primario y el amortiguador Lateral Secundario tienen comportamientos muy similares en el que el coeficiente disminuye a medida que aumenta la velocidad hasta una asíntota aproximada de coeficiente 25. Sin embargo el Amortiguador vertical secundario presenta un comportamiento completamente diferente a los dos mencionados anteriormente.

**4. CONCLUSIONES**

En los Planes de Prueba elaborados por el Ingeniero Peter E. Klauser se relacionan los comportamientos pre establecidos para cada uno de los elementos que fueron sometidos a prueba en este proyecto. Unos de los elementos estuvieron sometidos a pruebas en TU Berlín, y la información de los restantes se encuentra en graficas suministradas por el fabricante.

El Buje de Suspensión primaria presenta información de un modelamiento del esfuerzo realizado con anterioridad en TU Berlín, sin embargo de estas pruebas solo se obtuvo las constantes de rigidez Radial 1.8 kN/mm y rigidez Axial 2.5 Kn/mm. Al comparar estos resultados con los obtenidos durante las pruebas realizadas en los laboratorios de la Universidad EAFIT, Radial 4.107 kN/mm y Axial 3.89 kN/mm, se aprecia una considerable diferencia especialmente en la constante de rigidez Radial. Ninguna consideración se pudo realizar de las otras pruebas realizadas a este elemento por no poseer información que permita parámetros de comparación.

Los Resortes Helicoidales de Suspensión Primaria, también tienen información previa del modelamiento

por TU Berlín. Constante resorte Exterior 1.1 kN/mm e Interno 0.5 kN/mm, esta información es consistente con los resultados obtenidos en las pruebas realizadas para este informe que son: Constante resorte Exterior 1.084 kN/mm y Constante Resorte Interior 0.34 kN/mm.

El fabricante del Resorte Auxiliar de Suspensión Primaria facilita una gráfica que representa el comportamiento de Fuerza vs Desplazamiento en la cual se puede encontrar el coeficiente axial que es de 5.860 kN/mm. Las pruebas realizadas para este informe arrojaron resultados que indican que la constante es de 6.73 kN/mm.

La Barra de Acople de Tracción del Boggie tiene un comportamiento lineal que se aprecia en la grafica de comportamiento Fuerza (kN) vs Deformación (mm) esta gráfica establece un coeficiente de rigidez de 7.14 Kn/mm con un rango que permite constantes desde 5.75 Kn/mm hasta 8.82 Kn/mm. Los resultados obtenidos en las pruebas para este informe se encuentran enmarcadas dentro de este espectro permitido de comportamiento ya que son K tensión: 6.6 kN/mm y K compresión: 5.76 kN/mm.

El fabricante de los Soportes del Motor de Tracción suministran una gráfica con el comportamiento de Fuerza vs Deformación de este elemento, sin embargo no especifican claramente si la curva es para una sola placa o para todo el conjunto armado. A pesar de tener claro este aspecto se aprecia que el comportamiento es similar además los valores están en los mismos rangos.

Los Amortiguadores a los que se les realizaron las pruebas para este informe tienen comportamientos diferentes en las etapas de compresión y tensión, este comportamiento se muestra en graficas suministradas por el fabricante, que coinciden absolutamente con el comportamiento observado al graficar la información de Fuerza vs Velocidad que se recopiló en las máquinas de los laboratorios de la Universidad EAFIT.

Las graficas que representan el comportamiento de los elementos entregadas por los fabricantes se anexan a este documento para apreciar la relación de la información nominal y la obtenida en este proyecto.

## **5. BIBLIOGRAFÍA**

INFORME DE CALIBRACIÓN. Agosto 23 2006.  
Universidad EAFIT. INFORME DE CALIBRACIÓN  
Maquina Universal Shenck Trebel. Pg 1 y 2. Medellín.  
23 Agosto 2006.

MANUAL DE MANTENIMIENTO. METRO DE  
MEDELLÍN. Manual de Mantenimiento Vehiculo de  
Pasajeros. Capitulo 2.3. Medellín. 20 Febrero 1990.

PLANES DE PRUEBA. Peter E. Klauser. Junio  
2006 Documentos 06.205TP.01, 06.205TP.02,  
06.205TP.03, 06.205TP.04, 06.205TP.05,  
06.205TP.06, 06.205TP.07, 06.205TP.08. . Lockport,  
Illinois.

# **APROXIMACIÓN A UN MODELO DE MEDICIÓN DEL RENDIMIENTO PARA LAS ACTIVIDADES CLAVES EN EL PROCESO DE ENSAMBLE EN AKT MOTOS**

**ALEJANDRO SALAZAR CASTAÑO**  
*asalaza6@eafit.edu.co*  
Departamento de Ingeniería Mecánica

**ÁREA DE ÉNFASIS**  
MANTENIMIENTO DE SISTEMAS TÉCNICOS

**ASESOR PRINCIPAL**  
DR. LUIS ALBERTO MORA GUTIÉRREZ

**SECTOR BENEFICIADO**  
AKT MOTOS



## **RESUMEN**

La estructura de los procesos relacionados con el ensamble de motocicletas en AKT Motos, esta conformada por una gran cantidad de actividades que requieren de un nivel de atención para lograr centrar en ellas los recursos necesarios y así lograr que estas se realicen de la forma mas adecuada.

La metodología de signos vitales propone una forma estructurada en la cual se logra establecer que es lo que realmente debe ser medido dentro de cada uno de los procesos que componen una organización.

Con la necesidad de saber cuales son los procesos y actividades más críticos se desarrollo la metodología de signos vitales para los procesos relacionados en forma directa con el ensamble de las motocicletas. Como parte inicial del proyecto, se reunió información mediante herramientas de productividad, esta permitió diferenciar los procesos más críticos y localizar dentro de estos las actividades claves.

Una vez analizada la información se establecen las bases para plantear acciones de mejora, que como resultado se presenta la estructura de las estaciones de verificación; en donde se levava a cabo actividades de control, seguimiento y retroalimentación que fueron establecidas como claves para cada unos de los procesos críticos

## **SUMMARY**

The structure of the assembly related processes of motorcycles at AKT Motos is formed by a great amount of activities that require some attention level to give them the necessary resources and to achieve in this way, the correct realization of those activities.

The methodology of vital signs propose a structured form in which it can to establish what is really important to be measured within each one of the processes that make an organization.

With the necessity to know which are the most critical processes and activities it developed the vital signs methodology to the direct way related processes on the assembly of motorcycles. As the initial part of the project, it gathered information using productivity tools, thus this allowed to distinguish the most critical processes and to locate within them the key activities.

Once the information is analyzed, it establishes the basis to suggest improvement actions. As result, it shows the verification stations structure, in where it will develop control, monitoring and feedback activities that were established as keys to each critical process.

## PALABRAS CLAVE

Signos vitales, Procesos críticos, Actividades claves, Actividades de control, Seguimiento, Benchmarking, Mejoramiento continuo, Retroalimentación, discrepancias o defectos.

## KEY WORDS

Vital signs, Critical processes, Key activities, Control Activities, Monitoring, Benchmarking, Continuous improvement, feedback, discrepancy or defects.

## INTRODUCCIÓN

El mejoramiento continuo del proceso de ensamble, debe estar precedido de un conocimiento profundo sobre cada una de las actividades claves. Para el logro de esto es necesario que cada uno de los miembros de la empresa se comprometa y se involucren en la finalización correcta de cada una de estas actividades.

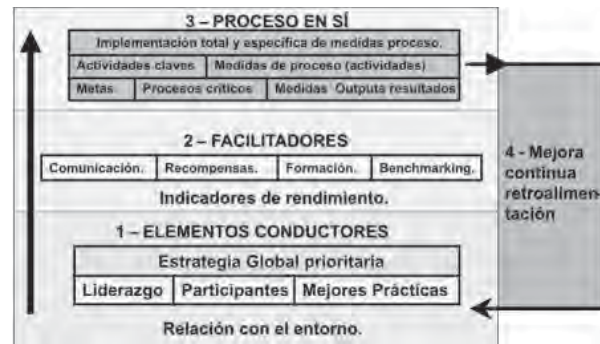
Los signos vitales de una organización permiten comprobar si los objetivos o metas a lograr se están cumpliendo, o sencillamente establecen si se va por el camino correcto. Lo anterior se logra estableciendo unos indicadores que dejen ver el desarrollo de las actividades claves para poder tomar decisiones no basadas en intuiciones si no en hechos reales.

La aplicación de este proyecto logra que todo el personal se vincule a la estrategia de la organización, impulsando acciones de mejoramiento continuo, en donde ellos mismos hagan el seguimiento y monitoreo de sus actividades y contando con una adecuada dirección lograr el equilibrio entre el valor y el servicio para satisfacción del cliente.

El modelo de medición de los signos vitales de la empresa será aplicado a los procesos alrededor del ensamble de producto en AKT motos, estos procesos son desempaque, preensamble, pintura, línea de ensamble, testeo, recuperación y proveedores.

La real importancia es apuntar al perfeccionamiento de un sistema en el que se pueda lograr 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  
Estructura metodología signos vitales



## CREACIÓN DE LOS GRUPOS DE TRABAJO EN CADA UNO DE LOS PROCESOS

Para identificar de manera clara cada uno de los procesos y actividades dentro de la empresa, fue necesario conformar un grupo de personas por cada área, para que describieran y analizaran en forma detenida los procedimientos existentes.

**Jefes de área:** son los responsables administrar las actividades pertenecientes a cada proceso, por tal razón tiene el criterio suficiente para poder establecer que puede o no ser crítico.

**Lideres de línea:** están en contacto directo con cada una de las actividades que se realizan dentro de los procesos, reconocen en forma general los problemas que puede tener el área a la que pertenecen.

**Operarios:** conocen de forma clara una actividad específica, y tiene el criterio para establecer que tipo de problemas pueden afectar su trabajo.

**Presión nominal o Clase o Presión de trabajo:** Por lo general este ítem se puede encontrar representado en las válvulas en uno de estos tres casos y utiliza la siguiente nomenclatura:

## IDENTIFICACIÓN DE LOS PROCESOS CRITICOS

La identificación de los procesos más críticos obliga a separar cada proceso, y clasificarlos según su importancia y relación directa con el cliente final, ya sea este interno o externo.

La selección de los procesos críticos está fuertemente relacionada al efecto que estos puedan generar sobre el cliente final; para visualizar estas relación se elaboró un diagrama matricial (Ver figura 3), en el cual se exponen las relaciones entre los procesos objeto de este estudio y así mismo la relación existente con los aspectos de calidad, tiempo y costo.

**FIGURA 2**  
Clasificación de los procesos



Hronec, 1995,95.

**FIGURA 3**  
Diagrama matricial



## CRITERIOS PARA ESTABLECER LAS RELACIONES

El desarrollo del diagrama matricial se logro a partir de unas reuniones previas con cada uno de los líderes encargados, quienes explican como se realizan sus actividades y como estas influyen sobre los demás procesos.

Las relaciones que fueron encontradas se expusieron en el diagrama matricial según tres niveles de intensidad (muy fuerte, fuerte y débil) que al comparar las distintas evaluaciones nos da la idea de cuales son los procesos críticos.

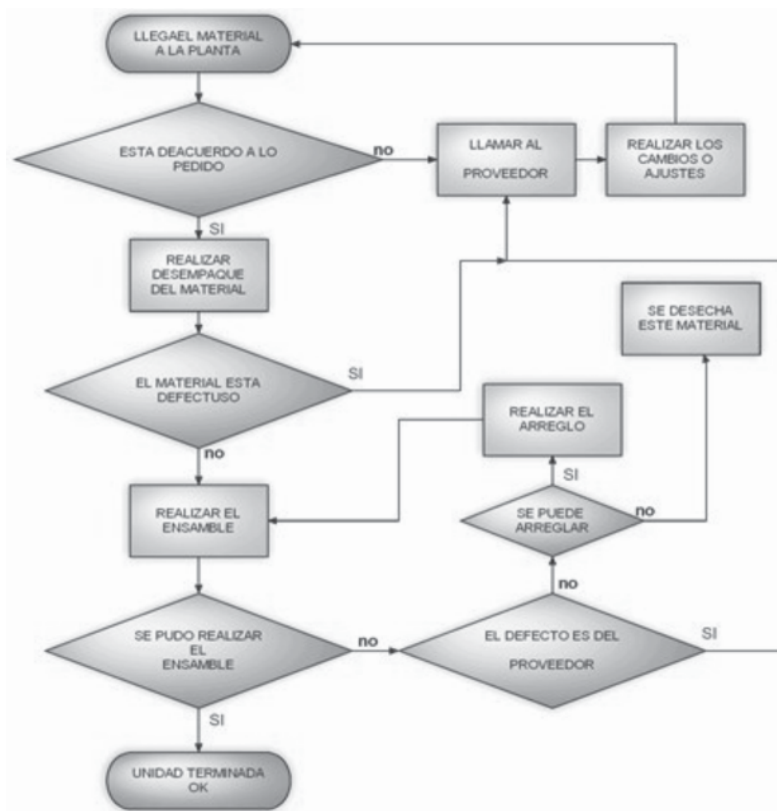
La clasificación se realiza tomando en cuenta la cantidad de discrepancias que saltan de un proceso a otro y en la cantidad de tiempos improductivos generados en cada unos de los procesos.

Los resultados arrojados por estas reuniones, nos muestran claramente la existencia de tres procesos críticos, dos de los cuales se encuentran como primarios dentro de la empresa, estos son: la línea de ensamble y los proveedores; y como de apoyo tenemos un tercer procesos que es el de preensamble.

## ACTIVIDADES CLAVES DENTRO DE LOS PROCESOS MÁS CRÍTICOS

Para lograr identificar las actividades clave dentro de los procesos mas críticos, fue necesario establecer cual es el problema que mas afecta el flujo normal de la producción; al realizar una investigación se concluyo que el manejo de los hallazgos de partes con defectos presentaba complicaciones dentro de cada una de los procesos. Para representarlo de una forma más clara se desarrollo un diagrama de flujo en el cual se ven las acciones que se toman cuando se encuentra una partes con defectos.

**FIGURA 4**  
Diagrama de flujo para el control de partes de ensamble





Se encontró que las actividades de control y retroalimentación presentan problemas, esto se debe a que no existe una estructura o procedimiento que permita realizarlas en forma adecuada, logrando así solucionar los problemas.

## **OPORTUNIDADES DE MEJORA**

Las actividades de control para los procesos de desempaque, preensamble y ensamble giran en torno a la aparición de un problema, ya sea que este se presente en las partes que conformarán la motocicleta o en los procedimientos del ensamble de la misma.

Los procedimientos tanto de control como de ensamble no son suficientemente organizados, lo cual trae como consecuencia la pérdida de la información, generando la solución parcial de los problemas. Para que la información no se pierda se debe lograr que cada persona perteneciente a un proceso este enterada de las acciones y del desarrollo de las mismas. Una forma de lograr que tanto el control, el seguimiento y la comunicación de los problemas se lleve a cabo es mediante el desarrollo de filtros de calidad para los procesos.

La aplicación de filtros de calidad logra un monitoreo constante de desarrollo de las actividades de producción y permite tener la base para planear acciones de retroalimentación bien enfocadas.

Los filtros de calidad son estaciones estratégicas, que monitorean la capacidad del proceso y sirven como punto central para el seguimiento de problemas y como guía para la solución de estos. Es importante que las estaciones de verificación dentro de su proceso incorporen lo siguiente:

    Detección (no aceptar defectos).

    Contención (no enviar defectos).

    Prevención (no hacer defectos).

Prevención de las discrepancias: Las actividades de prevención van encaminadas a lograr que cada problema sea detectado en su etapa inicial, y evitar que este se convierta en repetitivo y en algún momento afecte el flujo de la producción.

La información que se acumule en los filtros de calidad ayudará a los líderes y jefes de áreas a planear la disposición de equipos y personal necesarios para realizar la contención.

El planear con anterioridad la solución de problemas que en un futuro podrían ser repetitivos genera más confiabilidad en las actividades de ensamble ya que los problemas con las partes que están inconformes se verían reducidas y los operarios solo tendrán que estar atentos al desempeño de sus actividades.

Contención de las discrepancias: El desarrollo de cada uno de los procesos y actividades esta enfocado a no entregar ningún tipo de problemas, cada persona es responsable de sus funciones, utilizar correctamente las herramientas y cumplir con los tiempos establecidos para finalizar con su puesto de trabajo.

El responsable de cada actividad debe involucrarse en forma activa en el desarrollo de su puesto de trabajo, generar oportunidades de mejoramiento basado en el conocimiento completo de los procesos, estas actividades de mejoramiento pueden ser desde una sugerencia hasta acciones directas supervisadas por líderes y jefes de área. La contención de los problemas no es solo responsabilidad de los filtros de calidad, es una actividad que realiza cada operario.

Detección de las discrepancias: La detección de los problemas se convierte en el último filtro, antes que el producto proveniente de cualquier proceso sea entregado; para las actividades de detección se cuenta con un personal completamente entrenado y dotado de las herramientas necesarias para la verificación de las características del producto.

Las actividades de detección cuentan con puestos de trabajo acondicionados para la verificación, ya que muchos de los problemas, son en muchos casos difíciles de detectar bajo condiciones normales, por ejemplo, las condiciones de luminosidad deben ser diferentes.

## PROCESO DE ALARMA PARA EL HALLAZGO DE PROBLEMAS

El proceso de alarma o de información de las discrepancias debe cumplir con un flujo escalonado en donde cada una de las personas relacionadas a los procesos debe enterarse de lo que sucede y de su incidencia en las actividades que cada uno realiza. Como primero debe existir una responsabilidad por parte del personal encargado de las estaciones de verificación, estas son las siguientes:

Informar y/o presentar los resultados de las discrepancias repetitivas detectadas en las unidades, a los líderes o jefes de área de producción y calidad de cada proceso productivo para tomar acciones preventivas y/o correctivas.

Asegurar que se identifiquen las motocicletas o partes de estas que no fueron aprobados, para ser enviados al área de reparación.

Para lograr que tanto el control, seguimiento y retroalimentación de los problemas necesarios para llegar a las soluciones se centralicen en un mismo punto para cada proceso crítico, se desarrollaron las estaciones de verificación las cuales cuentan con una estructura que permite ver el estado real de cada uno de los procesos.

## ESTRUCTURA DE LAS ESTACIONES DE VERIFICACIÓN

Las estaciones de verificación involucran a todo el personal de la empresa que participa en los procesos alrededor del ensamble del producto, estas personas estarán a cargo de sustentar y retroalimentar de forma constante estas estaciones.

La forma en que se sustenta efectivamente las estaciones de verificación es a partir de toda la información que cada jefe de área o líderes puedan suministrarle; la información debe contar con unas condiciones, que incluyen un análisis previo por parte de los responsables del hallazgo de la discrepancia.

## ÁREA DE CONTROL DE PARTES CKD

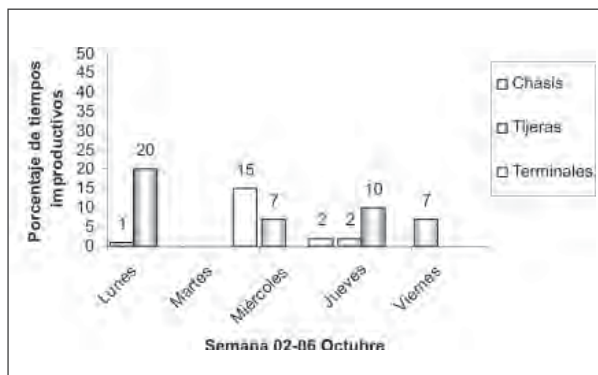
El área de control de partes CKD tiene como función principal la contención de las partes defectuosas que llegan del proveedor; a la llegada del contenedor se saca una muestra representativa, a la que se le evaluara las especificaciones técnicas, estado general de la parte (aparición) y para algunos casos el estado funcional de las partes.

Implementación de un plan de muestreo para chasis:

Los chasis que llegan AKT motos deben ser enviados donde un proveedor local para realizar el proceso de pintura; debido a causas de contaminación, mala preparación de la superficie, mala adecuación de los equipos de trabajo y mala selección de la pintura, los chasis no llegan con la calidad requerida en aspectos como adherencia y tonalidades de pintura.

La figura 7 muestra los principales tiempos improductivos referentes a la calidad de la parte, estas mediciones se realizaron sin tener un muestreo de los chasis.

**FIGURA 5**  
Resultados de tiempos improductivos antes del muestreo

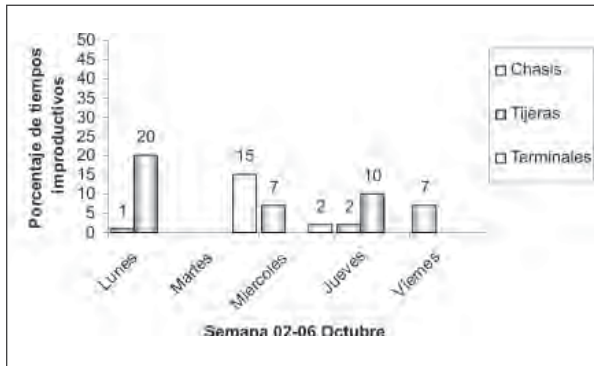


A raíz de la recurrencia de los problemas con la adherencia de la pintura se comenzó a extraer una muestra representativa de chasis.

Como resultado se obtuvo una disminución notable de los tiempos improductivos relacionados a este ítem;

además se notó una mejoría significativa en los tiempos de reacción por parte del proveedor.

**FIGURA 6**  
**Resultados de tiempos improductivos después del muestreo**



Como resultado se obtuvo una disminución notable de los tiempos improductivos relacionados a este ítem; además se notó una mejoría significativa en los tiempos de reacción por parte del proveedor.

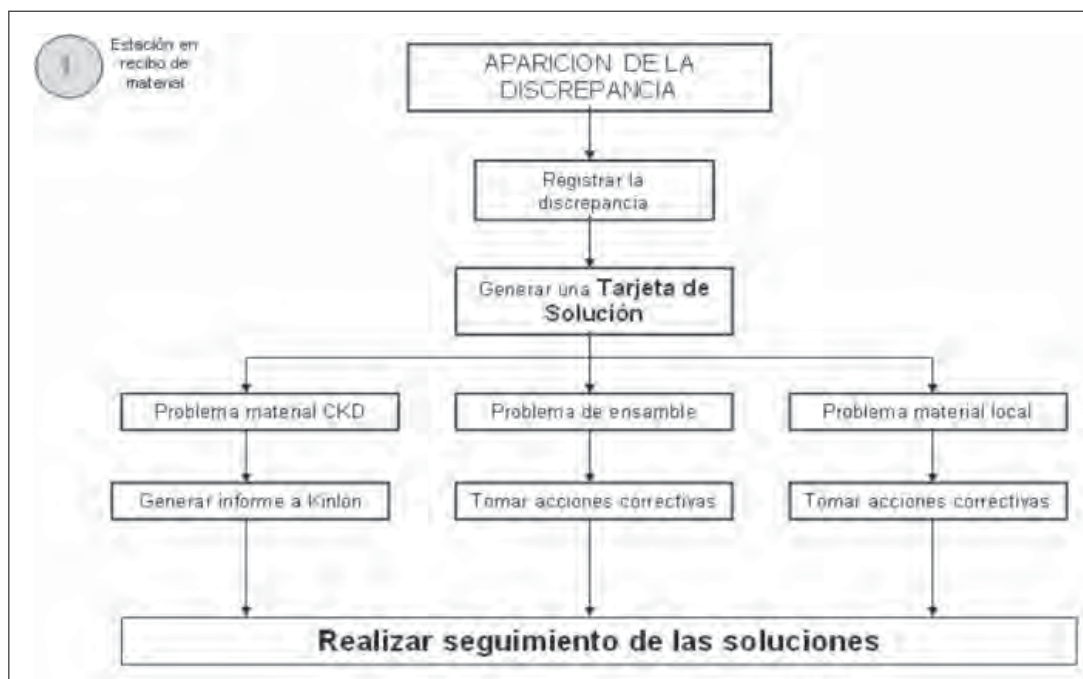
La meta con el muestreo es reducir los tiempos de reacción ante los problemas, en un tiempo aproximado al de inventario de las partes; en el caso de que las partes no puedan ser recuperadas, se pondrá hacer un pedido de las mismas con anticipación, logrando tener todo para el momento de realizar el ensamble.

## ESTACIÓN DE VERIFICACIÓN NÚMERO UNO

La estación de verificación número uno estará ubicada en el sector de desempaque de material CKD, allí se realizara actividades de control de la calidad que contará con una verificación del ciento por ciento de las partes que serán ensambladas.

La estación de verificación contará con la información que suministra el área de control de calidad de partes, el cual realiza un muestreo aleatorio que permita establecer el estado total del lote antes de que este sea llevado al área de desempaque para posteriormente ser ensamblado.

**FIGURA 7**  
**Estructura estación de verificación uno**



Los hallazgos dentro de la estación de verificación deben ser reportados de forma diaria, y los procesos de alarma de problemas deben ser inmediatos y deben ser registrados dentro de la estación; cada proceso de alarma debe llevar un proceso de solución de problemas basados en la metodología de cinco pasos.

La información de salida para la estación de verificación da a conocer la efectividad de los controles de la estación, a partir de los registros de todas las discrepancias o

problemas por calidad de partes que se encuentran en los procesos siguientes a esta estación, y que de igual forma brinda información de referencia para aumentar los controles de calidad de partes en las áreas que la anteceden.

También se tiene en cuenta el registro de las partes que se han encontrado con defectos y que han sido recuperadas y que sumadas a la cantidad de partes que se encontraron sin defectos a la primera vez, totalizarían la cantidad disponible para ensamblar.

**FIGURA 8**  
**Estructura estación de verificación dos**



La estación de verificación número dos esta ubicada al final de la línea de ensamble, en donde se realiza el control de calidad de la motocicleta ensamblada en su totalidad, la revisión que aquí se realiza es del ciento por ciento de las unidades.

La estructura para esta estación es similar a la estación número uno, con la diferencia de que la información que la alimenta proviene de diferentes partes, la información de entrada la componen todas las verificaciones hechas a la motocicleta en el final de la línea, en donde se deben de registrar las cantidades de motocicletas que tuvieron algún problema y aquellas donde la motocicleta salió sin algún problema de calidad.

Las salidas de información de la estación están compuestas básicamente por las cifras de las motocicletas que salieron sin problemas más las que se han recuperado, esta es la cifra de motocicletas con la que dispondrá el área de despachos.

## CONCLUSIONES

El método “de los Signos Vitales” es un modelo sistémico, lógico, coherente y general para el análisis de los procesos y actividades más críticas. Al aplicar el modelo, inicialmente se logra conocer las características de los procesos de la empresa, y que es lo que realmente los afecta

Los procesos actuales de la empresa funcionan en su mayoría con dependencia de otros, por lo que es importante que donde se presenten situaciones especiales sean puestos como prioritarios o como críticos evitando que se interrumpa el flujo de la producción.

El trabajar con los proveedores permitirá que los procesos de desempaque y línea de ensamble se vean menos saturados de problemas por material defectuoso y así mismo evitará a la empresa realizar una gran cantidad de reproceso.

El seguimiento constante a la solución de los problemas, evitará que las recurrencias de defectos se sigan presentando en cantidades alarmantes, logrando que la producción se estabilice y poder planear la producción de una forma exacta.

Los filtros de calidad no solo se encargan de realizar hallazgos de discrepancias, son el inicio de actividades de retroalimentación y seguimiento, ya sea dentro de la empresa, o fuera de esta.

Las estaciones de verificación facilitara el seguimiento de las variables que presentan mayor influencia en la estabilidad de la producción; son aquellas que pueden generar paros de línea, aumentar los tiempos improductivos, aumentar los costos por reproceso.

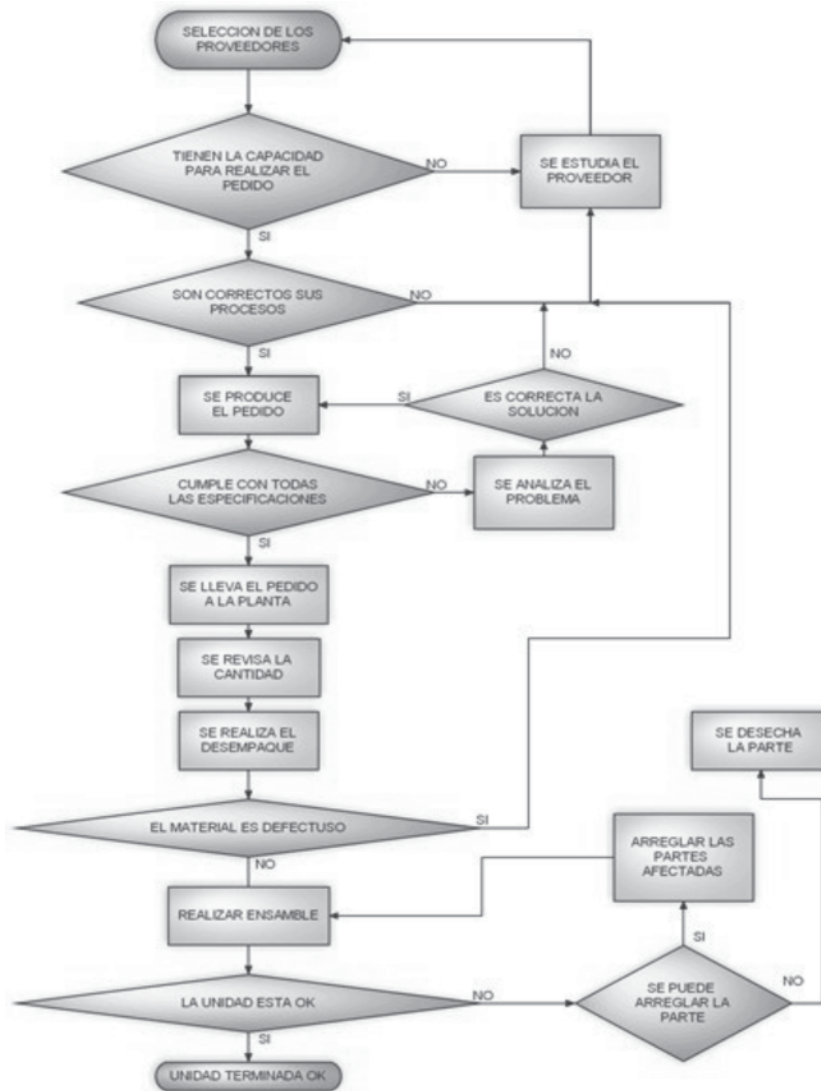
La aplicación de un muestreo a la llegada de las partes de ensamble, reduce el tiempo de reacción ante los problemas en aproximadamente un mes, tiempo que una o varias partes con defectos, pueden permanecer en inventario.

El suministro de partes a la línea requiere de tener a disposición la cantidad correcta de partes y que estas partes tengan la calidad requerida; si alguno de estos factores se ve alterado, el plan de producción también los será.

Los proveedores deben ser parte activa de la empresa, vinculándose a los procesos de solución de problemas, y en la aplicación efectiva de de las soluciones: es importante que el flujo de las actividades de control y retroalimentación se extiendan por fuera de la empresa.

Las acciones ante los hallazgos de discrepancias se hacen de forma inmediata, comenzando con la comunicación del problema a las personas, áreas o empresas proveedoras directamente responsables de dar alguna solución. La calidad, los costos y el tiempo como principales variables afectadas por los problemas, de igual forma son beneficiadas por la contención de las discrepancias antes de entrar a procesos críticos.

**FIGURA 9**  
**Flujo de control, de partes de proveedores y AKT Motos**



## RECOMENDACIONES

Capacitar en forma constante a los operarios, líderes y jefes de área, acerca de los procedimientos a seguir en el momento de hallar una discrepancia, al igual que en conocimiento de métodos estructurados para la solución de problemas

La creación de grupos interdisciplinarios como los comités de calidad en donde se discutan y se den

soluciones rápidas a los problemas, evitando con estos trámites que demoren la aplicación de estas soluciones.

El cliente debe ser integrado de una forma más directa, creando espacios en donde puedan opinar acerca de cada uno de los modelos, dar sugerencias de cambios que les gustaría ver, o aspectos que para la percepción del cliente están mal en la motocicleta.

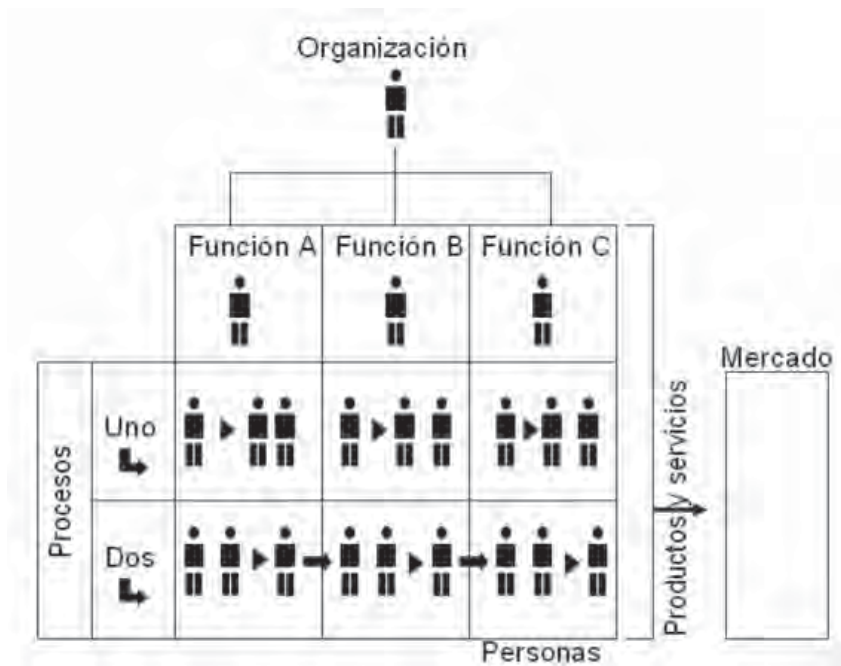


Los cambios que por cualquier motivo se realicen a este manual deben estar certificados, homologados y avalados por los ingenieros, grupo de mantenimiento, almacenistas, proveedores y por el Departamento de Almacenes de las Empresas Públicas de Medellín E.S.P.

## NUEVAS LÍNEAS DE TRABAJO

Este proyecto proveerá una guía de consulta dentro de la ingeniería mecánica para abordar temas referentes a la medición del rendimiento de las actividades productivas y permitiendo extenderse a todos los niveles en una organización

**FIGURA 10**  
Niveles de rendimiento



## BIBLIOGRAFÍA

SALAZAR, Alejandro. Aproximación a un modelo de medición del rendimiento para las actividades claves en el proceso de ensamble en AKT Motos. Universidad EAFIT. Medellín, Colombia. 2006.

DOMÍNGUEZ MACHUCA J. A., Dirección de operaciones. Aspectos estratégicos en la producción y los servicios, Mc-Graw-Hill. Madrid, España 1995, ISBN: 84-481-1803-0.

## CLÁSICA

BESTERFIELD H. Dale. Control de calidad, Prentice Hall Hispanoamericana S.A. Naucaplan de Jaruez, México 1994, ISBN: 0-13-501115-9.

HRONEC M. Steven. Signos Vitales, Mc-Graw-Hill/ Interamericana de Madrid, España, S.A. 1995. ISBN: 0-8144-5073-3.

JURAN J. M., Juran y la planificación para la calidad, Ediciones Díaz de Santos S.A. Madrid, España 1990. ISBN: 84-87189-37-7.

HARRINTON H. James. Administración total del mejoramiento continuo, Mc-Graw-Hill/Interamericana S.A. Santafé de Bogota, Colombia 1997, ISBN: 958-600-562-3.

SARACHE W Y Otros, Aplicación de indicadores para el diagnóstico de sistemas de producción, Revista Universidad EAFIT, Medellín, Colombia No 126 (Abr – Jun. 2002)

### COMPLEMENTARIA

BITTE, L. /Ramsey, J. Enciclopedia del MANAGEMENT. Ediciones Centrum Técnicas y Científicas. Barcelona, España. 1992. p. 35-85. ISBN: 3-570-20923-7.

IMAI M., Kaizen: La clave de la ventaja competitiva japonesa, CECSA editores . Ciudad de México, México 1996, ISBN: 968-261-128-8.

### CYBERGRAFÍA

BAC@  
Gestión de la calidad. [en línea] [Citado el 24 de julio de 2006] disponible en <http://www.bac.net/regional/esp/banco/normaiso.html>.

DELOITTE@  
En la oscuridad. Lo que los consejos directivos y los ejecutivos no saben sobre la solidez de sus negocios. [en línea] [Citado el 28 de Marzo de 2006] disponible en [http://www.deloitte.com/dtt/section\\_node/0,1042,sid%253D90944,00.html](http://www.deloitte.com/dtt/section_node/0,1042,sid%253D90944,00.html)

HERRAMIENTAS@  
Herramientas de gestión de la calidad [en línea] [citado el 22 de Julio Del 2006] disponible en <http://www.bac.net/regional/esp/banco/normaiso.html>.

MAKITA@  
Propuesta para desenvolvimiento de indicadores de desempeño como soporte estratégico. [en línea] [Citado el 28 de Marzo de 2006] disponible en <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18140/tde02082002075900/publico/FabioMakita.PDF>

ARBOL@  
Herramientas de gestión y planificación para identificar la información cualitativa dentro de las organizaciones. [en línea] [Citado el 28 de Mayo de 2006] disponible en [http://www.fundibeq.org/metodologias/herramientas/diagrama\\_de\\_arbol.pdf](http://www.fundibeq.org/metodologias/herramientas/diagrama_de_arbol.pdf)

MATRICIAL@  
Herramientas de gestión y planificación para identificar la información cualitativa dentro de las organizaciones. [en línea] [Citado el 28 de Mayo de 2006] disponible en [http://www.fundibeq.org/metodologias/herramientas/diagrama\\_matricial.pdf](http://www.fundibeq.org/metodologias/herramientas/diagrama_matricial.pdf)

PEREZ@  
Importancia de la medición y el control [en línea] [Citado el 09 de Abril de 2006] disponible en: <http://www.degerencia.com/articulos.php?artid=393>

SERRANO@  
La calidad, los costes de calidad y la relación entre el departamento de calidad y el de contabilidad en las empresas certificadas en las normas ISO 9000 de la comunidad valenciana. [en línea] [Citado el 28 de Marzo de 2006] disponible en <http://www.uv.es/~scliment/investigacion/2000/2000.htm>

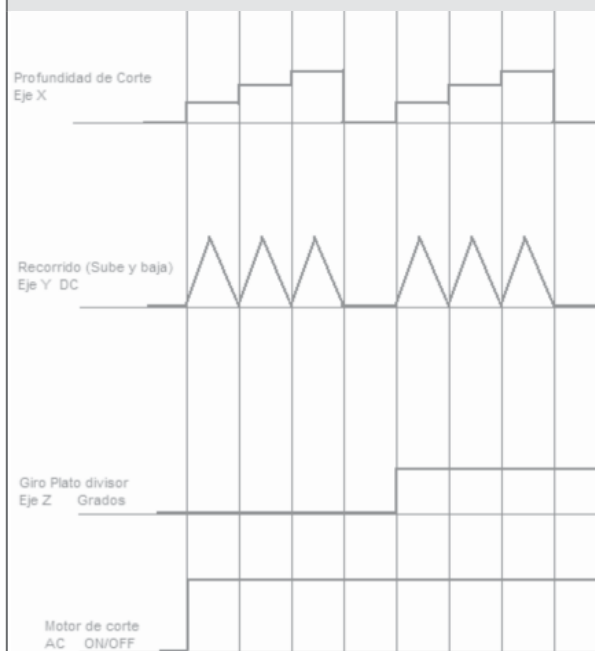
# SISTEMATIZACIÓN DE FRESADORA DE PIÑÓN RECTO

FERNANDO SIERRA IBÁÑEZ  
*fsierrai@eafit.edu.co*  
Departamento de Ingeniería Mecánica

AREA DE ÉNFASIS  
DISEÑO MECÁNICO

ASESOR PRINCIPAL  
IVÁN DARIO ARANGO

SECTOR BENEFICIADO  
UNIVERSIDAD EAFIT



## RESUMEN

Con el proyecto de grado Sistematización de una fresadora de piñón recto se pretende demostrar que no es difícil lograr proyectos de gran magnitud y no se le debe tener miedo a este tipo de proyectos. En primer lugar se tiene un resumen de lo que se hace en el proyecto resaltando los beneficios de cada fase y al final los beneficios totales.

## PALABRAS CLAVE

Perseverancia  
Sistematización  
Mecatrónica (Mecánica, electrónica, Informática)

## INFORMACIÓN DEL AUTOR

Fernando Sierra Ibáñez es una persona sencillamente apasionada por la mecánica. A corta edad su hobby de aeromodelista lo fue vinculando en el mundo de la mecánica hasta fusionarlo con su profesión, es decir su profesión es su hobby. Como estudiante de Ingeniería Mecánica ha desarrollado proyectos dignos de resaltar, como lo son el barco mas rápido para la materia mecánica de fluidos, y la mejor grúa en la materia diseño de máquinas entre otras.

## INTRODUCCIÓN

Todas las empresas siempre están en la busca de la reducción de costos y en el aumento de la producción, con el ánimo de maximizar las ganancias y mejorar la rentabilidad. Los ingenieros tienen en la mira esta meta en las empresas, por lo cual ellos buscan una solución, y entre otras la sistematización de maquinaria es una excelente alternativa. Sistematización de maquinaria es sinónimo de productividad, versatilidad y calidad. Se reducen los costos de operación porque un sólo operario puede poner a trabajar varias máquinas simultáneamente y aún así su trabajo es mucho más ligero. Con una máquina sistematizada el ritmo de trabajo siempre es igual y no depende de la motivación del operario, lo cual optimiza la producción.

En la materia de Diseño de Máquinas II los estudiantes de ingeniería mecánica construyeron una fresadora de piñones rectos en el semestre 2005-2. La máquina actualmente es completamente manual. El Objeto del proyecto es la sistematización de una maquina con la ayuda de algunas tecnologías ya desarrolladas en el laboratorio de Mecatrónica de la Universidad EAFIT.

El mundo actual es bastante inediatista, cada vez las tecnologías aumentan su velocidad de desarrollo y las empresas requieren de procesos rápidos y precisos. Kotler dice que solo hay dos tipos de empresas: las rápidas y las que se mueren (kotler@). De manera que el que no avanza rápido se muere y en esta carrera se suman los ingenieros que de una manera u otra son claves en una empresa productora de bienes o incluso de servicios.

La variedad de los conocimientos involucrados en el proyecto aportan bastante a la formación del ingeniero y, principalmente a la relación e integración de diferentes disciplinas, forma ingenieros y grupos de ingenieros interdisciplinarios.

En Colombia el campo de investigación y desarrollo es muy estrecho por lo cual, en general, se recurre a la importación de costosas máquinas. Con este proyecto se muestra que desarrollar una tecnología propia y/o construir una máquina automática es posible. Los costos pueden ser mucho menores porque precisamente lo más costoso en una máquina es el conocimiento y este se obtiene en el ejercicio como estudiante. Esto empieza a motivar el desarrollo tecnológico en Colombia y la confianza en la ingeniería local. Así se promueve el mercado laboral colombiano como progresista donde los buenos ingenieros del país pueden contribuir al desarrollo económico.

## **DESARROLLO DEL TEMA**

La mecatrónica consiste en la integración de las ingenierías mecánica, electrónica e informática. La meta de esta especialización es lograr mayor versatilidad, flexibilidad, fiabilidad y productividad en los sistemas, por medio de la combinación de: mecanismos, componentes

electrónicos y módulos de computación. Este campo de ingeniería interdisciplinaria tiene gran utilidad en sistemas híbridos de control como los sistemas de producción, robots, subsistemas automovilísticos y productos de uso diario como cámaras fotográficas y de video, lectoras de discos compactos y máquinas lavadoras.

El hardware son todos los dispositivos electrónicos y eléctricos para el control de los motores. En la división de la electrónica se incluyen las fuentes de potencia para alimentar los motores y las tarjetas de control. La electrónica son las tarjetas de control o comúnmente llamados "drivers", y como su definición en ingles es un controlador.

El software es la sección dedicada a la programación e interfaz entre los controladores y el usuario. Debe existir un programa con el cual el usuario interactúe e introduzca los parámetros requeridos para lograr la máquina trabaje. El programa de interfaz a su vez se comunica con los controladores (drivers) y estos controlan los motores.

La mecánica es la división dedicada a poner en el mejor sitio los motores con sus relaciones de transmisión. Es el último paso que interactúa directamente con lo que se va a manufacturar.

Factronic propiedad de Iván Arango tiene desarrollada una tecnología para el control de los motores Paso a Paso. Esta es aplicada a la máquina teniendo en cuenta algunas modificaciones. La tarjeta esta diseñada para manejar tres ejes y por ende tres motores de Paso a Paso. Para la necesidad de este proyecto solo se requieren dos motores Paso a Paso y uno DC, teniendo que modificar un control de un motor.

Antes de seguir referenciado la maquina es importante describirla un poco. El eje Z tiene un plato divisor el cual marca el avance de cada diente del piñón (se gira manualmente) (eje Z en adelante). La máquina cuenta con otro eje que es el eje de profundidad de corte, esta distancia es controlada con un tornillo de potencia y un disco con una escala numérica que representa un desplazamiento longitudinal. Este eje es muy importante porque debe acercar la cuchilla al piñón poco a poco

medida que otro eje hace que el piñón recorra toda la cuchilla (eje X en adelante). Es entonces cuando se encuentra otro eje, se puede llamar el eje de recorrido, este esta dispuesta de manera vertical y se encarga de picar un diente del piñón a medida que el eje de profundidad avanza hasta la profundidad deseada.

Para el desarrollo del software se requiere tener presente cual es la secuencia de movimientos que debe hacer la máquina para fabricar un piñón.

Primero se acerca el eje de corte luego baja y sube el eje con el material de trabajo, luego se aleja el eje de corte y gira el eje con el material de trabajo y comienza de nuevo. A continuación se discute de una manera gráfica:

En la figura 1 se tienen presente los cuatro actuadores que en este caso todos son motores. El eje de profundidad de corte X es el encargado de acercar cada vez más la fresa de corte al material de trabajo. En este caso se ilustra para cuando se requiere espaciar en tres partes la profundidad del corte. Es por eso que se ve

escalonado en tres etapas y luego baja. Dependiendo del tamaño del piñón y del material se requieren más o menos pasadas.

El eje de recorrido "Y", que sube y baja pasando el material de trabajo por la fresa de corte, es dependiente del eje X.

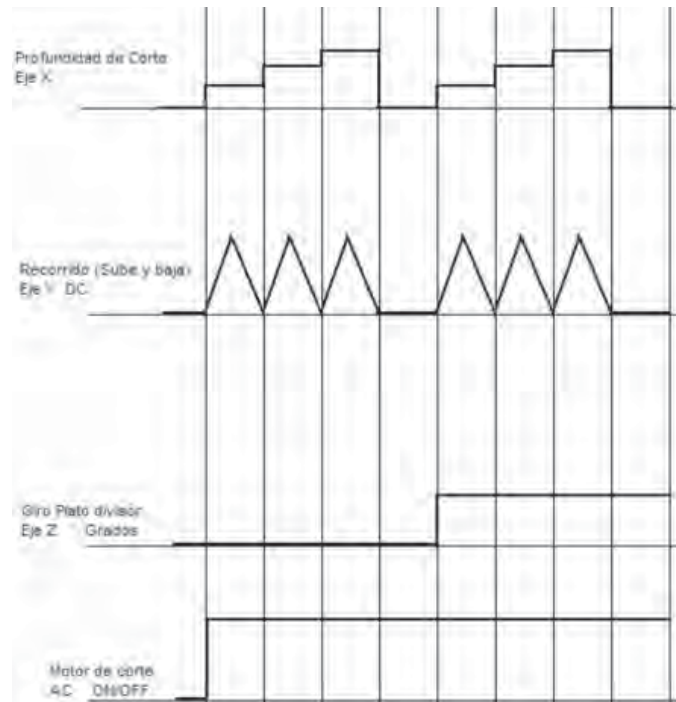
Cada ocasión en la que el eje X se acerque el eje Y tiene que subir y bajar.

El giro del plato divisor, eje Z aumenta cuando el eje X retrocede luego de haber hecho las tres pasadas. Este grado de giro aumenta hasta completar una vuelta completa y es allí donde el trabajo de la máquina termina su labor para la fabricación de un piñón.

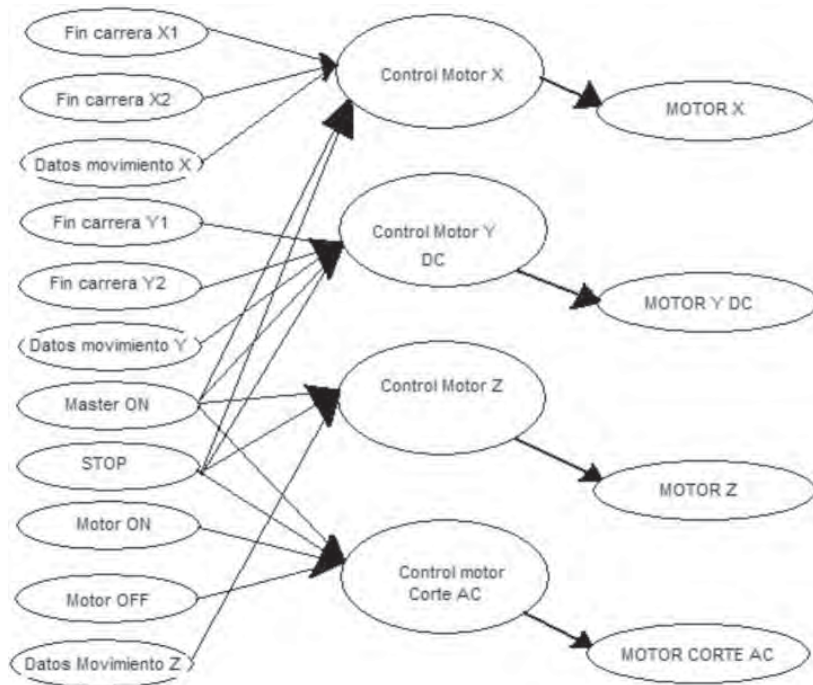
### Estructura del programa

En primer lugar se debe definir un flujo de datos teniendo en cuenta que señales se tienen y para que son. A continuación se tiene muestra un diagrama de flujo de datos:

**FIGURA 1**  
**Diagrama de Gant para el proceso de fresado del piñón**

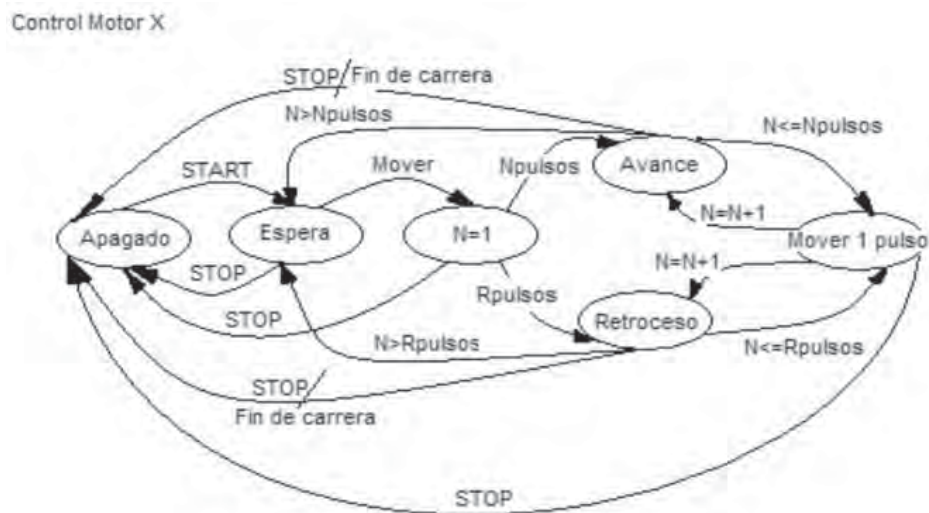


**FIGURA 2**  
**Estructura de flujo de datos**



El gráfico anterior ilustra el flujo de datos, esto es útil porque representa todos los controles involucrados en la máquina y su relación con los actuadores en este caso todos son motores. Con esta información base se procede a diseñar cada uno de los controles como Máquinas de estado finito (MEF) teniendo en cuenta solo los controles que afectan cada uno de los actuadores.

**Figura 3**  
**Control motor X**





El control del Motor Y y Z esta t cico en el diagrama anterior, es decir que el control de estos motores puede ser controlado con esta misma logica.

## CONCLUSIONES

Las aplicaciones mecatr nicas presentan grandes beneficios entre los que se destacan la precisión y eficiencia en tiempo. Sin embargo, su desarrollo exige esfuerzos considerables al involucrar conocimientos de la mecánica.

Control del Motor X: El motor que maneja el eje X es un motor Paso a Paso el cual se mueve a razón de 144 pulsos por revolución. Tiene una reducción de 2.66 con lo que el eje movido gira a razón de 383 pulsos por revolución. El sistema que controla el eje X incluye dos microsuiches de fin de carrera, un número de pulsos que se requieren para avanzar el eje X la distancia requerida, y el start/stop de la máquina. (ver Fig. 22) la electrónica y la informática. El equipo sistematizado se vuelve más preciso y eficiente pero también más complejo, al involucrar más elementos susceptibles de desviaciones. El reto es lograr sistemas estables y con comportamientos controlables; y esta es una meta que exige conocimiento, método y voluntad.

El trabajo metódico y persistente hace posible alcanzar los objetivos esperados. Esto permite afirmar que es viable desarrollar tecnología mecatrónica en nuestro país, y que esta actividad debe fomentarse en la academia y en la industria. Es necesario que el avance de la ingeniería colombiana continúe hasta alcanzar la capacidad de producir máquinas herramienta mecatr nicas competitivas, y poner al día (actualizar) todas las máquinas obsoletas existentes.

## BIBLIOGRAFÍA

### CLÁSICA

CASILLAS, A L. Máquinas: C culos de taller. Máquinas, Madrid 1981. ISSN 8440072163.

FACTRONIC. Iván Arango, Tel: 3013564674

GERLING, HENRICH. Alrededor de las Máquinas-Herramientas. Reverte, Barcelona 1987. ISBN 8429160493.

HAMROCK BERNARD J., JACOBSON, SSHMID. Elementos de máquinas. Mc Graw Hill México 1999. ISBN 0-256-19069-09

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORM S TECNICAS Y CERTIFICACION. Documentación. Presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación. Bogotá-Colombia: ICONTEC, 2002. 37p. (NTC 1486).

MUNÉVAR, Gustavo. gestión de proyectos de Automatización Industrial. En: Automatización Industrial Metalmeccánica. Bogotá, 1995. ISSN 01240218.

UNIVERSIDAD EAFIT MEDELLÍN Laboratorio de Mecatrónica, 2006

### INTERNET

ED.tecnologica@  
Piñones [En línea] [Citado Marzo 2006]  
Disponible desde Internet:  
<http://www.educaciontecnologica.cl/engranajes3.htm>

Herramienta@  
Corte [En línea] [Citado Marzo 2006]  
Disponible desde Internet:  
<http://www.monografias.com/trabajos14/maq-herramienta/maq-herramienta.shtml>

Kotler@

Kotler marketing Group. [En línea]. [Citado Marzo 2006]

Disponible desde Internet:

< <http://www.kotlermarketing.com/> >

Robotics@

Corte [En línea] [Citado Marzo 2006]

Disponible desde Internet:

<http://www.x-robotics.com/motorizacion.htm>

Rosytor@

Mecánica [En línea] [Citado Marzo 2006]

Disponible desde Internet:

<http://www.monografias.com/trabajos12/rosytor/rosytor.shtml>

Wikipedia@

Enciclopedia libre [En línea] [Citado Agosto 2006]

# DISEÑO DE UNA MÁQUINA PARA FABRICACIÓN DE PRODUCTOS DE GRAN VOLUMEN EN POLIPROPILENO RECICLADO

JUAN MANUEL VICENTE P.  
*jvicente@eafit.edu.co*

JUAN PABLO LÓPEZ P.  
*nbedoyaz@eafit.edu.co*  
Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS  
PLÁSTICOS

ASESOR PRINCIPAL  
CARLOS ARTURO RODRÍGUEZ

SECTOR BENEFICIADO  
EMPRESAS DE RECICLAJE



## RESUMEN

Al identificar los métodos de reciclaje de plásticos utilizados a nivel local, se encontró que la gran mayoría de empresas utilizan procesos poco adecuados, en su mayoría los mismos sistemas que se utilizan para transformar los polímeros originales o vírgenes.

La conformación de las piezas de gran volumen como las tapas de alcantarillado, estacones y demás, se utiliza el método de vaciado directamente al molde. Estas piezas por su volumen pueden tardar hasta 20 minutos en su conformación, lo que genera discontinuidades en las piezas por un enfriamiento aleatorio en donde el material que entra inicialmente se enfría primero que el que entra luego de 20 minutos.

El proyecto da solución a los defectos generados en la fabricación de este tipo de piezas mediante la selección de los sistemas más adecuados, esto implica seleccionar las componentes desde el sistema de alimentación hasta el sistema de conformación, pasando por la etapa más importante que es la plastificación.

Para seleccionar cada una de estas componentes se acude a un proceso previamente establecido de diseño metódico, con el cual se evalúan y comparan los sistemas de acuerdo a una lista de requerimientos.

## ABSTRACT

When you identify the methods of plastic recycling that are being used in Colombia, you realize that most of the companies in this business, doesn't used the proper process, most of the systems used to transform recycled polymers are the same used for original materials.

The conformation of big volume plastic pieces such as chairs, plastic wood, etc., is made by an extruder which put material into the tooling, because of the pieces size they last about 20 minutes during the conformation process, this generate discontinuous parts, where the material cool first.

The project brings a solution to all the defects generated during the process, by the selection of the components, starting at the feeding zone and finishing in the conformation step, but is very important to select cautious the plastification step which, is the most important process in the conformation of polymers.

To select each one of the components, it is used a design method selected previously, in which the project evaluate and compare the different systems according to a list of requirements.

### **PALABRAS CLAVE**

Extrusión, plastificación, monohusillo, corrotante, pellets, material post-industrial, material post-consumo, aglutinado.

### **KEY WORDS**

Extrusion, plastification, single screw, corrotating, pellets, post-industrial, post-consumer, densify.

### **INTRODUCCIÓN**

El proyecto tiene como fin estudiar los diferentes procesos que pueden ser utilizados en la conformación de piezas de polipropileno de gran volumen, se investigaran y se analizaran los parámetros que puedan afectar la productividad de las maquinas y la calidad del producto final, con el fin de seleccionar los componentes de un sistema que minimice la generación de piezas de mala calidad, maximizando la eficiencia del proceso. Los procesos de conformación del producto final no deben ser costosos ya que se desea fabricar productos de buena calidad a muy bajos costos.

El uso de los polímeros esta en constante crecimiento y algunos catalogan esta era como la "Era del plástico", en donde ha remplazado materiales metálicos y cerámicos, en todos los campos, llegando a ocupar funciones que

nunca se hubieran imaginado en los años 80's. Con los polímeros existe la posibilidad de generar formas y lograr resistencia que otros no pueden en relaciones peso/resistencia/costo. Todos los polímeros están catalogados como materiales reciclables, existiendo algunas dificultades a la hora de la práctica en su reproceso.

El reciclaje era visto anteriormente como materia prima de mala calidad, debido a que la tecnología no estaba muy avanzada, pero con el daño que se genera actualmente al entorno, el hombre se ve en la necesidad de estudiar el reciclaje como una ciencia, en la cual se tratan todos los materiales que se pueden reprocesar como el papel, cartón y materiales poliméricos, entre otros.

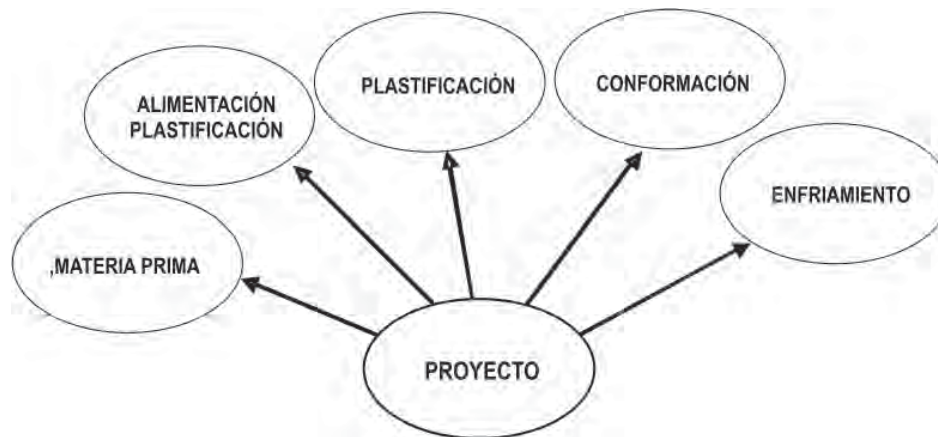
El plástico reciclado comienza a ganar credibilidad en las empresas, las cuales mezclan material virgen con material reciclado, sin embargo inicialmente las normas gubernamentales impiden que se pueda explotar en todas las áreas de producción donde hay contacto directo con alimentos y la cultura de separar es muy pobre, además los procesos requeridos para lograr su un buen reciclaje no se justifican económicamente.

### **DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

El procesamiento de piezas plásticas de gran volumen recicladas, a nivel local, es realizado de una forma muy empírica y rudimentaria en algunas empresas, con tecnologías poco apropiadas para garantizar la producción y características de las piezas. Al reconocer esta debilidad en la industria, nuestro proyecto busca la forma de realizarlas de una manera más eficiente, con mayor producción y calidad.

El proyecto estará enfocado en los principales procesos, que sufre la materia prima, para pasar de granos sólidos hasta pieza final, los cuales se muestran en el diagrama a continuación:

## PROCESOS PARA LA TRANSFORMACIÓN DE LA MATERIA PRIMA



CRITERIO	PESO	SOLUCIÓN 1			SOLUCIÓN 2			SOLUCIÓN 3		
		Magnitud	Valor	Peso	Magnitud	Valor	Peso	Magnitud	Valor	Peso
Verificación de parámetros	0,036	Indicador Temp zonas, P salida, A motor, P de llenado, RPM, Temp de fundido	4	0,144	Indicador Temp zonas, P salida, Amperaje motor	2	0,072	Indicador Temp zonas, P salida, A motor, P de llenado, RPM, Temp de fundido	4	0,144
Consumo energético	0,075	Alto	1	0,075	muy bajo	4	0,3	Medio	2	0,15
Inversión	0,1	60 millones a 70 millones	2	0,2	75 millones a 100 millones	0	0	45 millones a 60 millones	3	0,3
Capacidad de evacuación de humedad	0,16	Media	2	0,32	Alta	3	0,48	Muy Baja	0	0
Facil mantenimiento	0,1	Medios	2	0,2	Muy altos	0	0	Medios	2	0,2
Homogenización	0,12	Alta	3	0,36	Muy Alta	4	0,48	Medio	2	0,24
Piezas críticas	0,15	2 piezas	2	0,3	3 piezas	1	0,15	2 piezas	2	0,3
Control de parámetros	0,084	Controles de temp PID, alarma de sobrepresión, alarma de A motor, Alarma temp fundido	4	0,336	Controles de temp PID, alarma de sobrepresión, alarma de amperaje motor	3	0,252	Controles de temp PID, alarma de sobrepresión, alarma de A motor, Alarma temp fundido	4	0,336
Calificación de mano de obra	0,0225	Tecnologo	3	0,068	Tecnologo extrusion o con experiencia	2	0,045	Tecnologo	3	0,068
Cantidad de operarios	0,0225	1 Operarios	4	0,09	2 Operarios	3	0,068	2 Operarios	3	0,068
Porcentaje de rechazo	0,03	11% a 18%	2	0,06	11% a 18%	2	0,06	11% a 18%	2	0,06
Alarmas de falla y suiches de protección	0,05	Controles de temp PID, alarma de sobrepresión, alarma de A motor, Alarma temp fundido	4	0,2	Controles de temp PID, alarma de sobrepresión, alarma de amperaje motor	3	0,15	Controles de temp PID, alarma de sobrepresión, alarma de A motor, Alarma temp fundido	4	0,2
Riesgos ergonómicos	0,05	Poco esfuerzo, poca frecuencia	3	0,15	Esfuerzo medio, alta frecuencia	1	0,05	Esfuerzo medio, alta frecuencia	1	0,05
TOTAL	1			2,503			2,107			2,115

El procesamiento de plásticos puede hacerse por medio de muchos de los procesos que se utilizan en la conformación de los metales, como se dijo anteriormente el costo es mucho menor aunque se trate del mismo proceso, debido a que las temperaturas de fusión son muy bajas comparada con la de los metales por lo tanto se requiere de menos cantidad de energía para su transformación.

En general el sistema que se desea obtener, es para la fabricación de piezas grandes volúmenes como la

madera plástica, estructura para bancas y sillas, las cuales requieren de poco acabado superficial y de gran volumen. No es económicamente factible producirlas con sistemas como el de la inyección, por el alto costo de los moldes y por las dimensiones de la máquina en general y además son piezas que no requieren de la precisión que se puede obtener por el proceso de inyección.

Para estos requerimientos se evalúan tres alternativas, que son evaluadas de acuerdo a los siguientes criterios.

## **Definición de la alternativa seleccionada**

En general la alternativa seleccionada, cuenta con un muy buen control de parámetros lo que facilita reconocer problemas con facilidad y la capacidad de reproducir condiciones de procesos sin depender de las condiciones externas. La extrusora con venteo son de fácil manejo y su mantenimiento no se hace mas complicado que las de una sola etapa convencional.

Para recuperado, se recomienda presecar o retirarle la humedad al polímero por medio de este medio. Con el polipropileno, los problemas de absorción de humedad son pocos, pero al utilizar materia prima totalmente post consumo es importante retirar la humedad que adquieren en los procesos de lavado y aglutinado.

El sistema de presión para llenar los moldes disminuye la posibilidad de obtener piezas mal llenadas y aumenta sus capacidades de resistir mayores cargas, con acabados más parejos.

## **CONCLUSIONES**

En el reciclaje de plásticos hay una gran problemática con los materiales que se consiguen en el medio, dificultando el diseño de las componentes del sistemas, sin embargo el proyecto logro analizar algunas muestras de materiales que se usan actualmente en las empresas antioqueñas pudiendo establecer algunos parámetros para la materia prima.

Se logró una claridad en la metodolia de diseño que se utilizo, lo que mantuvo el horizonte del diseño y a la vez hizo mas eficiente este proceso.

A través de este proyecto, identificamos la importancia de cada elemento para obtener mejores resultados con mayor eficiencia energética y de producción. En el momento la gran mayoría de empresas pequeñas le apuestan mas a maquinas multipropósito en donde se pueden trabajar gran cantidad de polímeros en diferentes formas, pero en donde se castiga fuertemente la eficiencia del proceso. Tarde que temprano estas

empresas tendrán que cambiar su visión y enfocarse a especializar sus procesos para obtener mayores producciones, de mejor calidad, a mas bajo costo

Actualmente en el mundo de los plásticos hay tecnologías bastante avanzadas en el reciclaje, sin embargo en Colombia los procesos son bastante rudimentarios, disminuyendo la eficiencia de los mismos.

El proyecto hace énfasis en el sistema de plastificación del procesamiento de materiales plásticos, siendo este el proceso mas delicado y en el que la materia prima puede degradarse mas fácilmente, además posee muchas variables a controlar.

Los materiales poliméricos y sus procesos se encuentra en una etapa muy dinámica de desarrollo. Recuperar los materiales post-consumo se han captado gran parte de la atención de estos nuevos desarrollos, en donde cuidar el medio ambiente es uno de los principales enfoques del momento en la humanidad y la legislación cada vez es mas estricta con los productores, sobre la manera de recuperar y darle de nuevo uso a sus productos luego de ser desechados por el consumidor final.

El reciclaje de los materiales plásticos, se ha realizado durante décadas pero su desarrollo a nivel mundial es relativamente nuevo. La información técnica del proceso es muy reservada, pero el principio realmente es el mismo de los procesos convencionales sobre los plásticos, con algunas modificaciones que mejoran el proceso.

Se logra dar claridad a la forma en que los sistemas de las máquinas interactúan entre sí con el fin de mejorar el desempeño de la maquinaria que se desea diseñar.

El proceso de reciclaje en Colombia es realizado de forma muy empírica, las empresas que actualmente aplican estos procesos se basan en la experiencia, en el ensayo y error, generando una ventaja para quienes deseen ingresar en este campo con soluciones técnicas.

La fabricación de una máquina de este tipo no es muy costosa para el beneficio que le puede traer a



una empresa, se considera que es bastante rentable mientras se tengan claros los objetivos de la compañía, se conozca el mercado y se aplique ingeniería a los procesos.

La labor del ingeniero no se basa únicamente en el diseño, la especialización en las diferentes técnicas (Hidráulica, neumática, metalmecánica, entre otras) e industrias, hace mucha veces que sea mas rentable y que se logren mejor los objetivos, cuando el ingeniero es capaz de dar solución a sus problemas y de satisfacer las necesidades de su proceso mediante la identificación de los componentes y la selección de las herramientas y productos que los especialistas le brindan.

Se considera que el sistema seleccionado es el idóneo para este tipo de proceso ya que resuelve muchas de las limitaciones que se presentaron al comienzo de este proyecto.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- SÁNCHEZ V, SAÚL. Moldeo por inyección de termoplásticos, 1 ED. México DF. 2003.
- RAUWENDAAL, Chris. Polymer Extrusion. Segunda Edición. Alemania, Carl Hanser Verlag, 1990.
- CHUNG, Chan I. Extrusion of Polymers. Theory and Practice. Alemania, Carl Hanser Verlag, 2000.
- ASQUELAND, Donald R. Ciencia e ingeniería de los materiales, tercera edición, México, editorial Thomson, 2000, ISBN 968-7529-36-9.
- MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Sector plásticos, guías ambientales. Bogota, Colombia Julio de 2004. ISBN 958-97393-4-2.
- MORTON. JONES. Procesamiento de plásticos. Primera edición. Editorial limusa, 1999 México, ISBN 968-18-4434-3.
- KALPAKJIAN. SMITH. Manufactura ingeniería y tecnología. Cuarta edición, Editorial Pearson education, México, 2002
- GOFF, John y WHELAN Tony. The Dynisco Extrusion Processes Handbook, Segunda edición. The Dynisco Companies.
- WORTBERG, JOHANNES. Screw and barrel design for grooved feed vs smooth bore extruders, institute of product engineering – Engineering Design and Plastics Machinery. University of Duisburg. Duisburg, Germany.
- RODRIGUEZ, Alberto. Artefactos Diseño Conceptual. Primera edición. Fondo Editorial Universidad EAFIT, 2003 Medellín. ISBN 958-8173-31-0.
- CROSS. Metodos de diseño. Estrategias para el diseño de productos. Ed. Limusa Wiley, 1999.
- MAIER, Clive y CALAFUT, Teresa. Polypropilene The Definitive user's Guide and Databook. Editorial Plastics Design Library, 1998. New York. ISBN 1-884207-58-8.

## **CIBERGRAFÍA**

- (Soyentrepreneur@1998)  
Soyentrepreneur, actualidad del plástico. Liliana Ramírez Disponible en:  
<http://www.soyentrepreneur.com/pagina.hts?N=9329>
- (ECCI@2006)  
Escuela colombiana de carreras industriales, Procesamiento de plásticos en Colombia. Disponible en:  
[http://www.ecci.edu.co/programas/ip\\_inv.php](http://www.ecci.edu.co/programas/ip_inv.php)
- (PLASTIVIDA@2006)  
Características del polipropileno. Disponible en:  
<http://www.plastivida.com.ar/5.htm>

(EREMA@2006)

Tecnología en reciclaje de plásticos.

Disponible en:

<http://www.ereama.at/es/64/>.

(XALOY@2006)

Geometría básica de los tornillos.

Disponible en:

(<http://www.xaloy.com/TORNILLOS.pdf>)

(NGR@2006)

Tecnología en reciclaje de plásticos.

Disponible en:

<http://www.ngr.at/machines/machines.html>

(RINCON@2006)

Moldeado de piezas por extrusión.

Disponible en:

[http://html.rincondelvago.com/procesos-de-fabricacion\\_moldeado-de-plastico.html](http://html.rincondelvago.com/procesos-de-fabricacion_moldeado-de-plastico.html)

(BOGOTA/HISTORIAS@2006)

Judicializaran a quienes vendan o compren tapas.

Disponible en:

<http://www.bogota.gov.co/histo.php?idh=14026&patron=1>

(WIKIPEDIA@2006)

Wikipedia la enciclopedia libre.

Disponible en:

<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/4/43/Archimedes.png/300px-Archimedes.png>.

# **IMPLEMENTACIÓN DE ÍNDICES CMD<sub>1</sub> EN LA ENGOMADORA TEÑIDORA SUCKER MÜLLER DE FABRICATO TEJICÓNDOR S.A.**

**SANDRA MILENA MEDINA DE LOS RÍOS**  
*smedinad@eafit.edu.co*  
Departamento de Ingeniería Mecánica

**ÁREA DE ÉNFASIS**  
MANTENIMIENTO DE SISTEMAS TÉCNICOS

**ASESOR PRINCIPAL**  
ING. LUIS ALBERTO MORA GUTIÉRREZ

**SECTOR BENEFICIADO**  
EMPRESA TEXTIL FABRICATO TEJICÓNDOR S.A.

INDICADORES	VALOR (min)	DEFINICIÓN
MTTR	102.81	Tiempo para realizar reparaciones.
MTBMc	2401.87	Tiempo entre mantenimientos correctivos.
MTB Mp	34167.07	Tiempo entre mantenimientos planeados.

## **RESUMEN**

Las tendencias mundiales de gestión de mantenimiento a través de indicadores y su impacto en la industria de bienes y servicios en aspectos gerenciales, tecnológicos, productivos, medioambientales, normativos y educativos, es cada vez mayor, y busca acceder a la más avanzada información en este campo.

La propuesta de proyecto surge de la necesidad de Fabricado Tejicóndor S.A. de medir los indicadores CMD a través de distribuciones y no de promedios en la engomadora teñidora Sucker-Müller, encargada de la preparación y teñido de las telas denim-índigo, principal fuente de ingresos de la compañía; éste cálculo permite conocer su estado presente y futuro, y ayuda en la toma de decisiones del área de mantenimiento de la planta de acabados.

## **ABSTRACT**

The world-wide tendencies of management of maintenance through indicators and their impact in the industry of goods and services in managemental, technological, productive, environmental, normative and educative aspects, are every greater time, and look for to accede to the plus outpost information in this field. The project proposal arises from the necessity of Fabricado Tejicóndor S.A. to measure indicators RAM (Reliability, Availability, Maintainability); through distributions and not of averages in the Sucker-Müller machine, ordered of the preparation and dyeing of fabrics denim-indigo, main source of income of the company; this analysis allows to know its present and future state, and helps in the decision making for maintenance department of ended product area.

## **PALABRAS CLAVE**

Indicadores, Confiabilidad, Mantenibilidad, Disponibilidad, Análisis, Pronósticos.

## **KEY WORDS**

Indicators, Reliability, Availability, Maintainability, Analysis, Forecasting.

## INTRODUCCIÓN

Los indicadores de mantenimiento y los sistemas de planificación empresarial asociados al área de efectividad permiten evaluar el comportamiento operacional de las instalaciones, sistemas, equipos, dispositivos y componentes de esta manera será posible implementar un plan de mantenimiento orientado a perfeccionar la labor de mantenimiento (CYBERTESIS@2006).

## CONFIABILIDAD

La frecuencia con la cual ocurren las fallas en el tiempo, se conoce como confiabilidad. Un equipo bien diseñado, perfectamente montado, correctamente probado y apropiadamente mantenido no debe fallar nunca; sin embargo, la experiencia ha demostrado que incluso los equipos mejor diseñados, montados y mantenidos no eliminan completamente las fallas (Bazovsky, 2004, 54).

La probabilidad que un equipo tiene de desempeñar satisfactoriamente las funciones para las cuales es diseñado, durante un período de tiempo específico y bajo las condiciones de operación, ambientales y de entorno adecuadas se conoce como confiabilidad (Mora, 2006, 69) (Rodríguez y otros, 2004, 10) (Ebeling, 2005) (Dounce, 1998, 136).

Las descripciones de confiabilidad en términos cuantitativos son: tiempo medio entre fallas (MTBF<sup>1</sup>), tiempo medio para fallar (MTTF<sup>2</sup>) y tiempo medio entre mantenimientos (MTBM<sup>3</sup>) (Vallejo, 2004, 27).

La ecuación o representación matemática de la función de confiabilidad viene dada por la Ecuación 1.

### ECUACIÓN 1

#### Representación matemática de la función de confiabilidad

$$R(t) = P[T \geq t]$$

<sup>1</sup> MTBF: *Mean Time Between Failures*.

<sup>2</sup> MTTF: *Mean Time To Failure*.

<sup>3</sup> MTBM: *Mean Time Between Maintenance*.

Leemis, 1995, 46; Ebeling, 1997, 23.

Donde:

R(t) Es una función decreciente de confiabilidad o supervivencia; que decrece a medida que incrementa el tiempo.

R(0)= 1, Todo elemento antes de iniciar su funcionamiento tiene una confiabilidad máxima, del cien por ciento (100%).

t ≥ 0, t Es el tiempo determinado para evaluar el funcionamiento de la máquina o equipo.

$$\lim_{t \rightarrow \infty} R(t) = 0$$

Expresa que cualquier elemento o máquina siempre entra en estado de falla así sea en un tiempo grande o infinito.

Curva de Davies o de la bañera. La curva de la bañera, es una curva que permite analizar los fallos durante el período de vida útil de un equipo (aparato o máquina). Tiene forma de bañera debido a que la vida útil de los dispositivos tiene un comportamiento que viene reflejado por tres etapas diferenciadas.

Distribuciones utilizadas en el cálculo de confiabilidad. Los valores de la probabilidad de falla, la probabilidad de éxito o confiabilidad, la vida media, los parámetros de una distribución o cualquier otro parámetro aplicable, constituyen los grandes interrogantes a partir de los cuales se establece el estudio de la confiabilidad (RELIASOFT@2000):

- Distribución Exponencial.
- Distribución de Weibull.
- Estimación de la desconfiabilidad (por métodos gráficos y mínimos cuadrados).
- Pruebas de bondad de ajuste (Ji<sup>2</sup>, Kolmogórov-Smirnov y Anderson-Darling).

Importancia. La competitividad es cada vez más crítica y debatida en todos los países del mundo; por tal motivo el reto de los países no es solo realizar grandes inversiones o rediseñar para mejorar, sino hacer buenas rutinas de mantenimiento y fabricar productos cada vez mas confiables (Lyu,1996,51).

## MANTENIBILIDAD

Es la probabilidad para que un elemento, máquina o dispositivo, pueda regresar nuevamente a su estado de funcionamiento normal después de una avería, falla o interrupción productiva (funcional o de servicio) (Mora, 2006, 76).

La rapidez con la cual las fallas o el funcionamiento defectuoso en los equipos son diagnosticados y corregidos, se entiende como mantenibilidad.

Importancia. La mantenibilidad se mide de forma clara en términos de los tiempos empleados en las diferentes restauraciones, reparaciones o realización de las tareas de mantenimiento requeridas para llevar nuevamente el elemento o equipo a su estado de funcionalidad y normalidad (Mora, 2006, 75).

### ECUACIÓN 2

#### Representación matemática de la función de Mantenibilidad

$$M(t) = P [T \leq t]$$

Mora, 2006, 78.

Donde:

M(t): Función de mantenibilidad o de reparación, la cual es creciente, va aumentando en la medida que se incrementa el tiempo t.

M(0)=0: Denota que siempre la probabilidad de realizar un mantenimiento en un tiempo cero es cero, en la medida que se amplía el tiempo de realización, la curva de mantenibilidad aumenta para volverse máxima en un tiempo mayor o infinito; ésto revela que en la medida

que se asigne un tiempo más grande y máximo T para realizar un mantenimiento, la probabilidad exitosa de realizarlo en un tiempo t crece.

T: Es el tiempo máximo o límite superior total.

t: Es el tiempo determinado para realizar la acción de mantenimiento.

$T \leq t$ : Denota que siempre el tiempo total T es menor o igual que el tiempo de evaluación t de estudio de la reparación, o dicho de otra manera la finalización de la reparación se logra siempre en un tiempo T menor a t, t siempre es mayor o igual a cero.

$$\lim_{t \rightarrow \infty} M(t) = 1$$

Expresado como  $M(t) = 1$ , denota que cualquier elemento tiene una probabilidad tendiente al 100% de ser bien reparado así sea en un tiempo infinito.

## DISPONIBILIDAD

La disponibilidad es la probabilidad de que el equipo esté operando satisfactoriamente en el momento en que sea requerido después del comienzo de su operación (Blanchard y otro,1995;127) (Rodríguez y otros, 2004, 21) (Vallejo, 2004, 44) (Céspedes y otro, 2003, 57).

Importancia. La disponibilidad es una medida importante y útil en casos en que el usuario debe tomar decisiones, es una medida que suministra una imagen más completa sobre el perfil de funcionalidad (Céspedes y otro, 2003, 21).

### ECUACIÓN 3

#### Ecuación general de disponibilidad

$$\frac{UT}{UT + DT}$$

Vallejo, 2004, 44.

Donde:

UT: Tiempo de funcionamiento.

DT: Tiempo de parada.

Por las necesidades de la compañía de medir la gestión de los mantenimientos preventivos y por los datos suministrados en el sistema de información, se utiliza la disponibilidad alcanzada que no tiene en cuenta los tiempos logísticos ni administrativos.

## CÁLCULOS

La medición de los parámetros CMD, es el primer paso para establecer una metodología de pronósticos, pues proporciona todas las bases para el análisis y desarrollo de los mismos.

Los índices CMD, permiten conocer las fallas de un equipo de manera global o específica de acuerdo a un historial, identificando las particularidades de las fallas y a la capacidad del equipo en ser recuperado para el servicio.

Los cálculos de CMD, son en su mayoría promedios. Su determinación bajo la metodología universal de las distribuciones es mucho más exacta, una herramienta estadística que permite conocer con mayor exactitud la variable a determinar.

Los resultados finales entre disponibilidad inherente y alcanzada, permiten conocer la magnitud del mantenimiento programado, y su proporción dentro de las actividades de mantenimiento.

## RESULTADOS

A partir de los indicadores mostrados en la tabla 1, se calcula la disponibilidad inherente que arroja un valor de 95.9% y para la disponibilidad alcanzada un valor de 93.99% lo que implica una diferencia de 1.9%, esto se comprende como la porción de tiempo utilizado para realizar los mantenimientos programados en la máquina Sucker Müller 3.

**TABLA 1**  
**Indicadores asociados a la confiabilidad y la mantenibilidad**

INDICADORES	VALOR (min)	DEFINICIÓN
MTTR	102.81	Tiempo para realizar reparaciones.
MTBMc	2401.87	Tiempo entre mantenimientos correctivos.
MTBMp	34167.07	Tiempo entre mantenimientos planeados.
Mp	720.56	Tiempo medio para ejecutar tareas preactivas de mantenimientos planeados.
M	143.38	Tiempo de mantenimiento activo requiendo para realizar cualquier tarea de mantenimiento.

## PRONÓSTICOS

El pronóstico o predicción es una herramienta muy útil, mas no imprescindible en cualquier proceso de toma de decisiones. Entre sus aplicaciones se cuentan la determinación de las necesidades de inventario, la determinación de ventas, y casi cualquier otro tipo de variable que se pueda medir en el tiempo (Levin, 1997, 724).

Las proyecciones desarrolladas se hacen en base a la estadística de series de tiempo, bajo un proceso lógico y secuencial de análisis de los modelos clásicos (ajuste de tendencia lineal, exponencial, cuadrático, potencial y Curva en S); además de los modelos SES<sup>4</sup>, DES<sup>5</sup>, SEST<sup>6</sup>, DEST<sup>7</sup>, HWM<sup>8</sup> y HWA<sup>9</sup>; no se trabaja con los

<sup>4</sup> SES: Suavización exponencial simple.

<sup>5</sup> DES: Suavización exponencial doble.

<sup>6</sup> SEST: Suavización exponencial con tendencia.

<sup>7</sup> DEST: Suavización exponencial doble con tendencia.

<sup>8</sup> HWM: Estacionalidad multiplicativa.

<sup>9</sup> HWA: Estacionalidad aditiva.



modelos modernos (A.R.I.M.A. o Box Jenkins), los pronósticos se calcularon para los seis meses siguientes (Septiembre de 2006- Febrero de 2007) y se verificaron los pronósticos del mes de septiembre de 2006, a través de los datos suministrados por el sistema de información y dan satisfactorios.

## CONCLUSIONES

El manejo a través de indicadores, permite a la empresa evaluar su desempeño y modificar sus hábitos de trabajo, a la vez que asume nuevas responsabilidades, tareas y acciones en pro del mejoramiento de los aspectos relevantes; esto repercute de manera significativa en la productividad y la gestión de todo el proceso.

El registro (histórico) de la máquina es indispensable para establecer medidas y estrategias de trabajo, permite conocer su estado actual y a través de él se analizan los indicadores CMD, indispensables para pronosticar su estado futuro y establecer estrategias de trabajo.

Al comparar las disponibilidades alcanzada e inherente, se observa mucha similitud, ya que se toma a partir de un caso real en un entorno ideal, donde se establecen fronteras al sistema y se analiza la máquina en su totalidad no de manera parcial; siendo así el promedio de tiempo que los mantenimientos preventivos intervienen en la disponibilidad del equipo es de 1.9%.

## BIBLIOGRAFÍA

### CLÁSICA

Bazovsky, Igor. - Reliability Theory and Practice – Edit. Dover Publications Incorporated – New York, NY, USA – 2004 – ISBN: 0486438678.

Vallejo, Juan Santiago Jaramillo– Mora, Alberto Gutiérrez (Director) - Desarrollo, validación, contraste y pronóstico del cálculo CMD - Trabajo de fin de carrera de Ingeniería Mecánica – Universidad EAFIT – Medellín – Colombia – 2004.

Mora, Alberto Gutiérrez – Mantenimiento Estratégico para Empresas Industriales o de Servicios: Un Enfoque Sistémico Kantiano - AMG Editores – Enero de 2006. – Medellín. – Colombia. - ISBN: 958-33-8218-3.

Rodríguez, Alberto Garcia. - Henao, John Harvey. - Gonzalez, Juan Camilo. - Vallejo Jaramillo, Juan Santiago – Gonzalez, Juan Sebastián Duque. – Castañeda, Leonel Francisco Heredia – Mora, Alberto Gutierrez - Diseño Para La Medicion De Confiabilidad, Mantenibilidad Y Disponibilidad De Equipos En Mantenimiento Industrial. - Informe Final de Investigación. – Medellín. – Colombia. - Universidad Eafit. – 2004 - 123p.

Ebeling, Charles E. – An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering – Waveland Press, Inc. – New York – USA – 2005 – ISBN: 1577663861.

\_\_\_\_\_, Charles. - An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering. - New York. – NY.- USA: - McGraw-Hill. – 1997. - ISBN 0070188521.

Dounce, Enrique Villanueva – La productividad en el mantenimiento industrial – Compañía Editorial Continental, SA de CV. Segunda Edición – México, DF – México – 1998 – ISBN: 968-26-1089-3.

Leemis, Lawrence M. - Reliability: Probabilistic Models and Statistical Methods. - Editorial Prentice Hall International Series in Industrial and Systems Engineering - New Jersey – USA- 1995 – ISBN: 0-13-720517-1.

Lyu, Michael R. - Handbook Of Software Reliability Engineering.- New York. – NY. – USA. - McGraw-Hill. 1996. - 850p. - ISBN 0070394008.

Blanchard, Benjamín S. – Verma, Dinesh – Peterson, Elmer – A Key To Effective Serviceability And Maintenance Management – Edit. Wiley Interscience - Wiley, John & Sons, Incorporated – Series nuevas

dimensiones en Ingeniería – USA – December – 1995  
- ISBN: 0486438678.

Céspedes, Pedro Alejandro – Toro Osorio, Juan Carlos – Mora, Gutiérrez, Luis Alberto (Director) – Metodología para medir confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad en mantenimiento – Trabajo de fin de carrera de Ingeniería Mecánica – Universidad EAFIT – Medellín – Colombia – 2003.

Levin, Richard - Estadística para administradores - Editorial Prentice-Hall - New Jersey – USA – March – 1997 - ISBN: 9688806757.

## INTERNET

CYBERTESIS@,2006.

Publicación del Ingeniero PhD. Luis Amándola. España.  
[http://cybertesis.ubiobio.cl/tesis/2004/masias\\_i/html/TH.3.html](http://cybertesis.ubiobio.cl/tesis/2004/masias_i/html/TH.3.html). consultada el 26 de Julio de 2006.

RELIASOFT@, 2000.

Disponible en la página web: [www.reliasoft.com](http://www.reliasoft.com), consultada en Junio 12 de 2000.

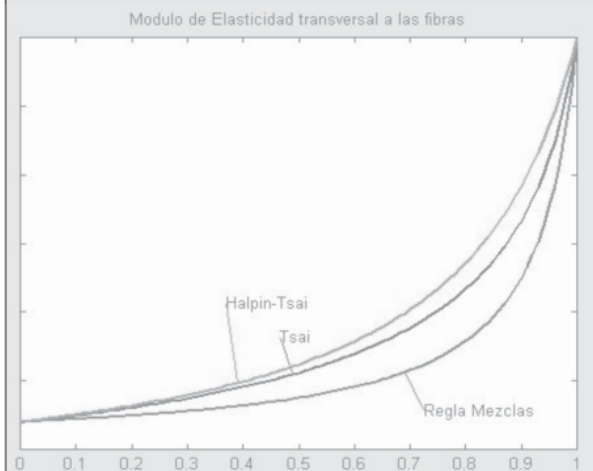
# CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS MEDIANTE EL MÉTODO DE DISEÑO DE EXPERIMENTOS

JUAN ESTEBAN TORRES  
*jtorrese@eafit.edu.co*  
Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS  
XXXXXXXX

ASESOR PRINCIPAL  
ANDRES FRANCO BEDOYA

SECTOR BENEFICIADO



## RESUMEN

Es el fin de este trabajo encontrar la manera de modelar el comportamiento de las propiedades mecánicas del poliéster reforzado con fibra de vidrio (PRFV) en el rango elástico lineal.

Al momento del proceso de construcción del material, factores tales como posición, dirección, cantidad y tipo de fibras, tiempo y temperatura de curado de la resina, volumen relativo de fibras y de resina, etc. tienen un efecto sobre las propiedades finales del material.

## ABSTRACT

It is the goal of this work to find a way to model the response behavior of a composite material, in terms of its mechanical properties. This means, when by the time of construction, factors like position, quantity and direction of the fibers, cured time and temperature of the matrix are changed, this will have an effect on the final characteristics of the material. This work focuses on modeling the mechanical properties of the resulting material, such as Modulus of Elasticity, Stiffness, Yield Strength and Tensile Strength, as a function of the initial corresponding values or constitutive elements, which are controllable by the producer or the designer.

## PALABRAS CLAVE

Fibra de vidrio  
Resina  
Fibra  
Diseño de Experimentos  
Superficie de Respuesta

## INTRODUCCIÓN

En este trabajo se buscó la forma de modelar las principales propiedades mecánicas de un poliéster reforzado con fibra de vidrio unidireccional. En este caso, dichas propiedades son el módulo de elasticidad en la dirección de las fibras,  $E_1$ , y el módulo de elasticidad en la dirección transversal a las fibras,  $E_2$ .

Para esto se utilizó el método del diseño de experimentos, en donde se obtuvieron dos modelos con base a resultados de pruebas experimentales. Antes de esto, se analizaron algunos de los modelos existentes para luego hacer algunas comparaciones entre ellos.

## **REVISIÓN A LOS MODELOS EXISTENTES**

El estudio de los materiales compuestos se divide en dos áreas de comportamiento del material, la micro- y la macro-mecánica (Jones, 1998):

Micromecánica: es el estudio del comportamiento del material compuesto, en donde la interacción de los materiales constituyentes es examinada en detalle como parte de un material heterogéneo.

Macromecánica: es el estudio del comportamiento del material compuesto, en donde el material se asume como homogéneo, y los efectos de los materiales constituyentes se promedian para dar como resultado propiedades del material compuesto como un todo.

El estudio micromecánico sirve, como complemento al estudio macromecánico, para determinar matemáticamente las propiedades mecánicas del material compuesto final con base en las propiedades de los materiales constituyentes. Sin embargo, las teorías y modelos deben estar respaldadas por pruebas experimentales, lo cual resultaría como una gran fuerza de diseño, si los resultados teóricos coinciden con los resultados prácticos.

Por otro lado, se debe tener atención con los resultados, ya que los modelos poseen algunas suposiciones, tales como un perfecto enlace entre fibras y matriz, lo cual en caso de no cumplirse, produciría unas propiedades reales por debajo de los resultados teóricos.

Los modelos existentes más conocidos son:

Regla de las mezclas  
Ecuaciones de Tsai  
Ecuaciones de Halpin – Tsai  
Modelo de Hashin  
Ecuaciones de Miravete, etc.

## **METODOLOGÍA**

El proceso de caracterizar muestras en compuestos consta de diferentes fases. Primero se debe elaborar un plan y determinar las propiedades que se desean o se necesitan obtener, y con base en esto, se determina el tipo de pruebas necesarias y revisan las normas pertinentes, las cuales sirven más como guía o consejo que obligación. Luego se determina la geometría, el número de probetas necesario y el método con el cual se fabricarán éstas.

### **Plan de pruebas**

Las probetas fueron fabricadas por el método RTM Light. Existen diferentes factores que afectan las propiedades en los compuestos. Estos son entre otros:

Propiedades mecánicas de los mismos componentes:

- Fracción volumétrica de cada componente
- Disposición de las fibras, sea en una o dos direcciones o en distribución aleatoria
- Proceso de fabricación
- Aditivos utilizados, tales como catalizadores, aceleradores, etc.
- Condiciones de trabajo, etc.

Sin embargo, este trabajo se centra en analizar el efecto de las variables fracción volumétrica de las fibras  $V_f$ , presión de inyección de la resina  $P$  y porcentaje de catalizador utilizado  $C$ .

En la Tabla 1, se observan los rangos entre los cuales se trabajó con dichas variables.

Con estas tres variables se construyó una superficie de respuesta para cada propiedad, es decir, dos superficies de respuesta en total. Además de esto, se utilizaron 2 puntos para cada variable, el mínimo y el máximo valor, de donde resultan 8 diferentes combinaciones, las cuales se aprecian en la Tabla 2.

**TABLA 1**  
Rangos de trabajo de los factores y alias para la superficie de respuesta

Variable	Rango	Alias
fracción volumétrica de las fibras	[0.2 – 0.8]	X1
presión de inyección de la resina	[30 - 40] [psi.]	X2
porcentaje de catalizador utilizado	[1.0 – 3.0] [%]	X3

**TABLA 2**  
Combinaciones y número de repeticiones por punto

No.	X2	X3	X1	Réplicas
P1	30	1,0	0,2	2
P2	30	1,0	0,2	2
P3	40	1,0	0,2	2
P4	40	1,0	0,2	2
P5	30	3,0	0,2	2
P6	30	3,0	0,2	2
P7	40	3,0	0,2	2
P8	40	3,0	0,2	2
P9	30	1,0	0,8	2
P10	30	1,0	0,8	2
P11	40	1,0	0,8	2
P12	40	1,0	0,8	2
P13	30	3,0	0,8	2
P14	30	3,0	0,8	2
P15	40	3,0	0,8	2
P16	40	3,0	0,8	2

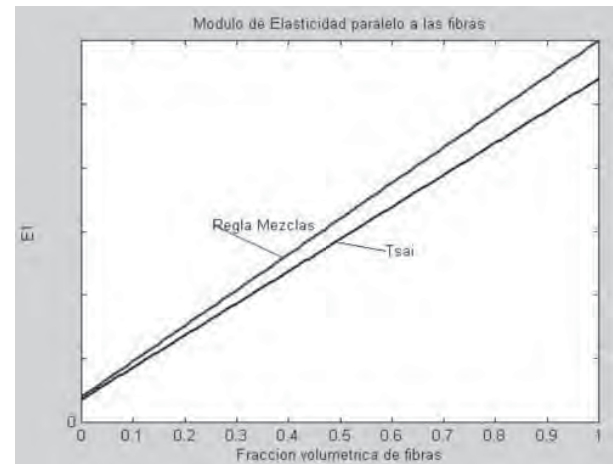
## RESULTADOS

### Resultados analíticos

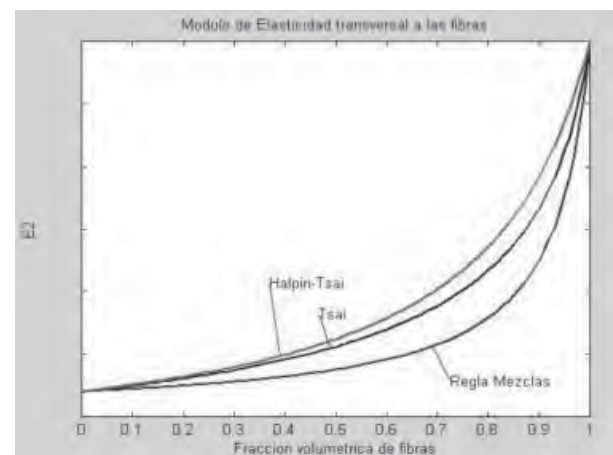
Con ayuda del Software Matlab, se escribió un programa para determinar el módulo de Elasticidad en las dos direcciones, E1 y E2, para los diferentes valores de fracción volumétrica de fibras  $V_f$  utilizando los diferentes modelos, y así lograr compararlos.

A continuación en las Figuras 1 y 2 se muestran los resultados obtenidos para E1 y para E2, respectivamente.

**FIGURA 1**  
Resultado teórico de E1 según diferentes modelos



**FIGURA 2**  
Resultado teórico de E2 según diferentes modelos



De las figuras anteriores se observa que debido a mayor Módulo de Elasticidad de las fibras, a medida que  $V_f$  aumenta, también aumentan los valores de E1 tanto como de E2.

También se observa que para el caso de E1, el modelo de Tsai es más conservador, es decir, el modelo cuyo resultado es un menor módulo de elasticidad, que el de

la Regla de las Mezclas, mientras que para E2, el modelo de la Regla de las Mezclas es el más conservador, seguido por el modelo de Tsai, y por último, el modelo de Halpin-Tsai.

### Resultados de las pruebas a tracción

Las pruebas a tracción se efectuaron con una tasa de aplicación de carga de 2MPa / s, y se utilizó una escala de deformación de 1/5 para las gráficas en todos los ensayos. A continuación se muestran los resultados de la prueba a tracción para cada una de las probetas en la Tabla 3.

**TABLA 3**  
Resultados de las pruebas a tracción

Nº	E1	E2
P1	25.511	1.541
P2	20.045	1.569
P3	20.047	2.037
P4	6.750	1.044
P5	4.155	869
P6	12.570	635
P7	17.068	2.403
P8	17.338	2.273
P9	4.297	1.166
P10	3.639	1.385
P11	9.828	715
P12	1.898	732
P13	1.604	699
P14	6.887	811
P15	3.579	606
P16	6.371	639

### ANÁLISIS DE RESULTADOS

Con base en los resultados obtenidos, se efectuó un diseño de Experimentos para cada variable de respuesta, E1 y E2, por separado. Esto se hizo con ayuda del Programa Computacional DESIGN EXPERT 6.0.6.

### Análisis para Módulo de Elasticidad E1

A partir de los resultados, se obtuvo la ecuación que modela la variable de salida, como se observa a continuación en la Figura 3.

**FIGURA 3**

**Ecuación final para Módulo de Elasticidad E1**

**Final Equation in Terms of Actual Factors:**

$$E1 =$$

$$-33289.53369$$

$$+946.68012 * Presion$$

$$+14026.78875 * Catalizador$$

$$+1.48430E+005 * Vf$$

$$-381.37637 * Presion * Catalizador$$

$$-3494.53425 * Presion * Vf$$

$$-60708.96270 * Catalizador * Vf$$

$$+1615.48922 * Presion * Catalizador * Vf$$

### Análisis para Módulo de Elasticidad E2

A partir de los resultados, se obtuvo la ecuación que modela la variable de salida, de igual manera que se procedió con los resultados de E1, como se observa a continuación en la Figura 4

**FIGURA 4**

**Ecuación final para Módulo de Elasticidad E2**

**Final Equation in Terms of Actual Factors:**

$$E2 =$$

$$+3624.18741$$

$$-74.30681 * Presion$$

$$-250.13333 * Catalizador$$

$$+967.01855 * Vf$$

$$+1.24401 * Presion * Catalizador$$

$$-8.85656 * Presion * Vf$$

$$-3189.29611 * Catalizador * Vf$$

$$+98.44972 * Presion * Catalizador * Vf$$



## CONCLUSIONES

Tanto en los modelos como en las pruebas de tracción se obtuvieron mayores valores de E1 y de E2 para valores altos de Vf, lo cual era de esperarse debido a la dependencia de las propiedades del composite final de la magnitud de las propiedades del refuerzo, como lo expresan los autores consultados en sus modelos micromecánicos.

Con esta investigación se obtuvieron modelos complementarios a los actuales, en donde se tienen en cuenta otras variables que afectan el proceso de fabricación de laminados. Los resultados obtenidos les serán útiles especialmente a los fabricantes para así maximizar las propiedades mecánicas de sus productos a partir de parámetros comunes de proceso. No obstante es importante aclarar que el estudio debe extenderse a las otras dos propiedades (G12 y  $\nu_{12}$ ) debido a que describen completamente el comportamiento del material y son completamente independientes.

Las variables Presión de Inyección y Porcentaje de Catalizador tienen efecto sobre las variables de respuesta y, como se mostró anteriormente, se maximizan las respuestas si se utiliza un valor alto de catalizador (3.0%) y valor alto de presión (40psi), además de obtener un corto tiempo de curado de la resina.

Los modelos encontrados concuerdan con los modelos micromecánicos existentes, además de ser más completos, puesto que incluyen variables del proceso de fabricación.

## BIBLIOGRAFÍA

- GIBSON, R. F. Micromechanics. Composites engineering handbook. Primera Edición. Editorial Marcel Dekker, Inc. Michigan. Nueva York. Estados Unidos. 1997. pp167-202. ISBN 0 8247 9304 8.
- JONES, Robert M. Mechanics of composite materials. Segunda edición. Filadelfia. Estados Unidos. Editorial Taylor & Francis Group. 1998. 1 5603 2712 X. 519p

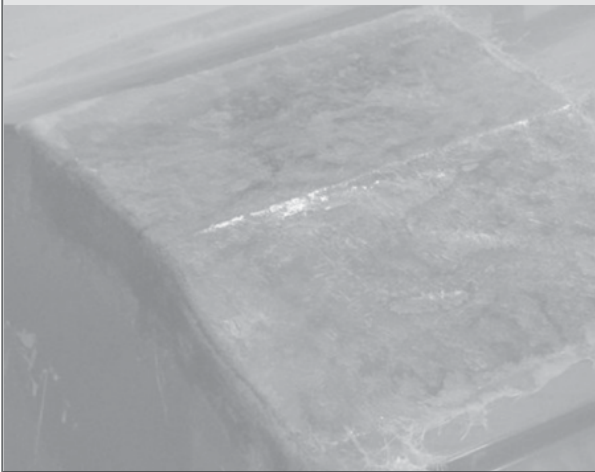
**ESTUDIO TEÓRICO-  
PRÁCTICO DEL SISTEMA  
DE MOLDEO CERRADO POR  
INFUSIÓN CON VACÍO Y  
CONTRAMOLDE FLEXIBLE  
DE SILICONA, PARA LA  
FABRICACIÓN DE PIEZAS  
EN POLIÉSTER REFORZADO  
CON FIBRA DE VIDRIO**

**ANDRÉS FELIPE ANAYA ALFARO**  
*aanayaal@eafit.edu.co*  
Departamento de Ingeniería Mecánica

**AREA DE ÉNFASIS**  
PLÁSTICOS

**ASESOR PRINCIPAL**  
JUAN SANTIAGO VILLEGAS LÓPEZ

**SECTOR BENEFICIADO**  
XXXXXXX



## **RESUMEN**

Los sistemas de moldeo cerrado para la fabricación de piezas en materiales compuestos son mundialmente aceptados, debido a que permiten reducir los tiempos de fabricación y la generación de subproductos perjudiciales para la salud humana, como los vapores orgánicos volátiles. Dentro de los sistemas de moldeo cerrado, existen una gran variedad de alternativas. El sistema de moldeo cerrado que se debe emplear en un proceso productivo determinado depende de factores como cantidad de piezas a fabricar, inversión requerida, instalaciones, costos de operación, tecnología, y mano de obra.

Dentro de los sistemas de moldeo cerrado para la fabricación de piezas en plástico reforzado, está el sistema de moldeo por infusión con vacío y contramolde flexible en silicona denominado CCBM<sup>1</sup>. Este sistema de moldeo es novedoso y está siendo empleado en industrias brasileras, norteamericanas y europeas. El proyecto consiste en la implementación teórico-práctica del sistema de moldeo cerrado CCBM, para la fabricación de una pieza prototipo en Poliéster Reforzado con Fibra de Vidrio (P.R.F.V.), este sistema de moldeo es comparado con sistemas de moldeo tradicionales como el moldeo por contacto a mano y el VARTM<sup>2</sup>. Esta comparación se realiza después de la fabricación de la pieza prototipo por los diferentes métodos que son objeto de estudio. De los resultados obtenidos se establece según las necesidades del proceso productivo de la fabrica de botes de Eduardoño S.A., cuál es el sistema de moldeo adecuado para la fabricación de piezas en P.R.F.V.

---

<sup>1</sup> CCBM: Closed Cavity Bag Moulding.

<sup>2</sup> VARTM (Vacuum Asisted Resin Transfer Moulding): Sistema de moldeo cerrado que emplea un contramolde desechable compuesto por una membrana en nylon.

## ABSTRACT

The closed moulding process to manufacture composites parts are accepted and used in different countries around the world, because the time to manufacture a composite part is short and the dangerous emissions generated during the transformation process can be reduced. In the closed moulding process there are different alternatives to use, the optimum process to use depend on many factors like number of parts to manufacture, required inversion, installations, operational cost, required technology and qualify labor.

In the closed moulding process exist a system that used a flexible upper mold and is an infusion process that used vacuum to suction the resin to the system, this process is named CCBM. CCBM is a newly closed moulding process that used in the composites industries in North America, Brazil and Europe. The project consist in implement the CCBM closed moulding process to manufacture a prototype part, these implementation is do it based on a theory development. The CCBM is compared with traditional moulding process like Hand Lay Up and VARTM. The comparison is after manufacture a prototype part by the different moulding process that are study objects. Based on the results is established the optimum moulding process to use in the boats factory of Eduardoño S.A.

## PALABRAS CLAVES

CCBM, VARTM, Moldeo por contacto a mano, Contramolde, Resina poliéster, Tiempo de gel, Peróxido metil etil cetona (MEK), Peróxido acetil acetona (AAP), Poliéster Reforzado con Fibra de Vidrio (P.R.F.V.).

## KEY-WORDS

Closed Cavity Bag Moulding (CCBM), Vacuum Assisted Resin Transfer Moulding (VARTM) Hand Lay Up, Upper mold, Polyester Resin, Gel time, MEK, AAP, Glass Reinforced Plastic (GRP).

## INTRODUCCIÓN

Debido a la necesidad de fabricar productos de alta calidad a un bajo costo, es necesario buscar procesos alternativos que permitan mejorar continuamente el proceso productivo de una empresa. Para el caso de los materiales compuestos, específicamente en la fabricación de piezas en P.R.F.V., se cuenta con diferentes procesos de fabricación que permiten tener una amplia gama de posibilidades. El proceso de transformación adecuado se puede elegir de acuerdo a las especificaciones del producto a fabricar, a la capacidad instalada de la empresa y a la demanda del mercado. A pesar de la existencia de esta gran cantidad de posibilidades, la necesidad del mejoramiento continuo de las empresas productoras de piezas en materiales compuestos, genera una búsqueda continua para la implementación de nuevos métodos de fabricación que permitan reducir costos, sin afectar las propiedades y características de las piezas fabricadas. Esta búsqueda da origen al método de moldeo cerrado denominado CCBM. Este método permite la fabricación de piezas en P.R.F.V., de similares propiedades mecánicas a las que se consiguen con el método de moldeo a mano, reduciendo considerablemente los tiempos de fabricación y permitiendo aumentar la productividad en la empresa. (Memorias Seminario. MOLDEO CERRADO: DISEÑO DE MOLDES Y TECNICAS DE FABRICACIÓN DE PRODUCTOS. 2005)

## DESARROLLO

1. **TÉCNICAS DE TRANSFORMACIÓN DE PLÁSTICO REFORZADO**
2. **CLASIFICACIÓN DE TÉCNICAS DE TRANSFORMACIÓN SEGÚN MOLDE**

### 2.1 Procesos de transformación por moldeo abierto

En este grupo se clasifican todos aquellos procesos de transformación, que cuentan con un molde como

único elemento para la fabricación de la pieza, en esta categoría se encuentran los siguientes procesos. (PARRILLA, 1993, p. 60)

- 2.1.1 Moldeo por contacto a mano (Hand Lay Up).
- 2.1.2 Moldeo por proyección simultánea (Spray Up).
- 2.1.3 Moldeo por enrollamiento de filamentos (Filament Winding).
- 2.1.4 Moldeo por centrifugado.

## **2.2 Procesos de transformación por moldeo cerrado**

En este grupo se clasifican todos aquellos procesos de transformación que cuentan con un molde y un contramolde como elementos para la fabricación de piezas. Los diferentes procesos de transformación de plástico reforzado que emplean sistemas de moldeo cerrado son:

- 2.2.1 Moldeo por transferencia de resina (RTM).
- 2.2.2 RTM- Light.
- 2.2.3 Moldeo a presión y temperatura.
- 2.2.4 Moldeo por prensado en frío.
- 2.2.5 Moldeo por bolsa de vacío (Vacuum Bagging).
- 2.2.6 Moldeo por extrusión (Pultrusion).
- 2.2.7 Moldeo con autoclave.
- 2.2.8 Moldeo CCBM.
- 2.2.9 VARTM (Vacuum Asisted Resin Transfer Moulding).

## **3. ¿POR QUÉ CAMBIAR A SISTEMAS DE MOLDEO CERRADO?**

Los sistemas de moldeo cerrado para la transformación del plástico reforzado, presentan una serie de ventajas sobre los sistemas de moldeo abierto, estos son:

- 3.1** Reducción de emisiones de vapores orgánicos volátiles. (RUTZ, p. 3)
- 3.2** Calidad: Se obtienen piezas en serie idénticas. (RUTZ, p. 16)
- 3.3** Productividad: Un operario puede fabricar varias piezas de manera simultánea. (RUTZ, p. 16)
- 3.4** Relación Fibra - Resina: En los sistemas de moldeo cerrado la relación fibra- resina en el laminado es controlable, mientras que en los sistemas de moldeo abierto es difícil de controlar. (RUTZ, p. 16)
- 3.5** Acabado: se pueden obtener piezas con excelente acabado superficial por ambas superficies del laminado. (RUTZ, p. 17)
- 3.6** Costo por unidad producida: el costo por unidad producida es menor que el obtenido por un sistema de moldeo abierto.

## **4. SISTEMAS DE MOLDEO A TRABAJAR**

### **4.1 Moldeo por contacto a mano.**

Es la técnica más antigua para la transformación del plástico reforzado, es un sistema de moldeo abierto que trabaja a presión atmosférica y a temperatura ambiente.

### **4.2 Moldeo cerrado ccbm.**

Proceso de transformación simple, con tiempos cortos de puesta a punto, este emplea un molde rígido y un contramolde flexible fabricado en silicona.

### **4.3 Moldeo cerrado vacuum asisted resin transfer moulding (vartm).**

Este sistema de moldeo es muy empleado para la fabricación de piezas de gran tamaño y diversas formas, el tiempo de puesta a punto para la fabricación de una pieza es elevado en comparación con el CCBM. Este emplea un molde rígido y un contramolde flexible desechable.

## 5. ENSAYOS REALIZADOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE MOLDEO CERRADO CCBM

(Peroxido de Acetil Acetona): peroxido orgánico de alta reactividad empleado para acelerar el proceso de curado de la resina poliéster.

### 5.1 Ensayos realizados a la resina poliéster.

#### 5.1.1 Exotermia<sup>3</sup> a diferentes porcentajes de catalización

Empleando como catalizador MEK, se realizan ensayos a diferentes porcentajes con el fin de establecer como se comporta la resina en las condiciones de trabajo. Se tomaron tres muestras que fueron catalizadas al 1%, 1.25% y 1.5% respectivamente.

#### 5.1.2 Exotermia para diferentes relaciones de MEK-AAP<sup>4</sup>

Se realizan 5 ensayos evaluando diferentes relaciones de mezcla de MEK y AAP (50-50, 60-40, 70-30, 80-20 y 90-10). En los ensayos realizados se cataliza 100 gramos de resina poliéster al 1.5% con la mezcla de MEK y AAP preparado.

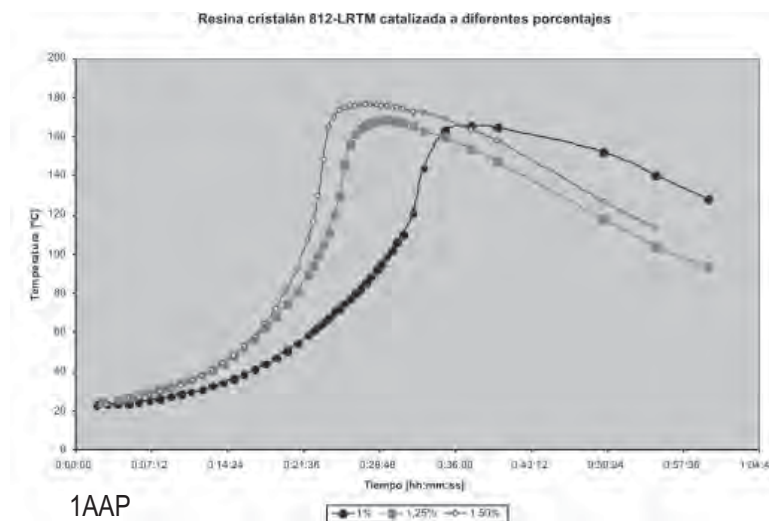
De acuerdo a los resultados obtenidos se establece que la proporción de mezcla adecuada para el proceso debe ser de 80-20.

### 5.2 Ensayos realizados a la silicona para la fabricación del contramolde

En el proceso de selección de la silicona se evaluaron dos tipos. El primero es silicona acética comercial de uso domestico, empleada para la fabricación y reparación de cabinas de baños y ventanas. El segundo tipo de silicona evaluado, es de dos componentes empleada para la fabricación de moldes.

A continuación se ilustra las condiciones finales del laminado y de la silicona después de realizar este procedimiento.

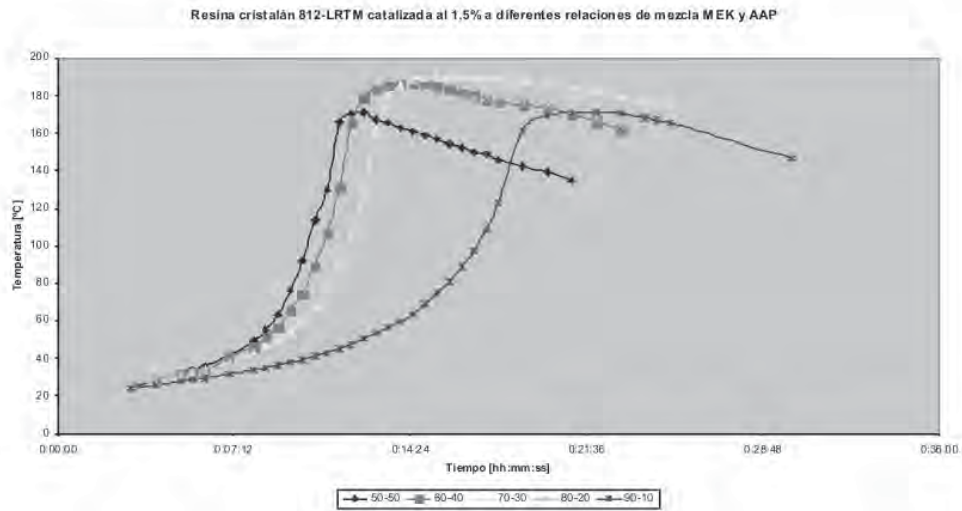
**ILUSTRACIÓN 1**  
Resina catalizada a diferentes porcentajes



<sup>3</sup> Temperatura máxima que alcanza la resina poliéster durante el proceso de polimerización.

<sup>5</sup> Compartimiento ubicado en la proa del bote.

**ILUSTRACIÓN 2**  
**Resina catalizada al 1.5% a diferentes relaciones de peróxidos (MEK-AAP)**



**TABLA 1**  
**Ensayos para establecer silicona del contramolde para moldeo CCBM**

	Apariencia final del laminado	Apariencia final de la sección de silicona
<b>Silicona Acética</b>		
<b>Silicona para moldes</b>		

De los resultados obtenidos se concluye:

- A. La silicona acética presenta una degradación sobre la superficie que se encuentra en contacto con el laminado.
- B. La silicona para moldes no presenta cambios físico-químicos después de la ejecución del procedimiento.



## 6. PIEZA PROTOTIPO

Para la implementación del sistema de moldeo cerrado CCBM y para la comparación de este con sistemas de moldeo tradicionales como el VARTM y el moldeo por contacto a mano, es necesario seleccionar una pieza en P.R.F.V. pequeña, asimétrica y con geometrías complejas. La pieza seleccionada es el soporte izquierdo para el motor de la moto de agua que se fabrica en Eduardoño S.A. referencia XL700B.

## 7. ANÁLISIS DE COSTOS

El análisis de costos se realiza de manera individual para cada método, este se calcula a partir de los consumos de materia prima y mano de obra para la fabricación de la pieza prototipo por los diferentes métodos que son objeto de análisis.

**TABLA 2**  
Resumen costos de los sistemas de moldeo analizado

Descripción	Costo CCBM	Costo VARTM	Costo Hand Lay Up
Adecuación pestaña de molde	\$ 333.670	N/A	N/A
Contramolde	\$ 286.156	N/A	N/A
Marco para sello	\$ 179.442	N/A	N/A
Pieza fabricada	\$ 29.044	\$ 55.539	\$ 38.157
Inversión requerida	\$ 494.000	\$ 2.527.000	N/A

**TABLA 3**  
Costo de unitario por pieza fabricada en función de las unidades producidas

Unidades producidas	Costo unitario de una pieza en función de la cantidad de piezas fabricadas		
	CCBM	Moldeo por contacto a mano	VARTM
1	\$ 828.311,53	\$ 38.156,59	\$ 55.539,21
30	\$ 55.686,46	\$ 38.156,59	\$ 55.539,21
31	\$ 54.627,03	\$ 38.156,59	\$ 55.539,21
87	\$ 38.231,20	\$ 38.156,59	\$ 55.539,21
88	\$ 38.126,80	\$ 38.156,59	\$ 55.539,21

De los resultados obtenidos se observa que el costo por pieza fabricada en el sistema de moldeo cerrado VARTM, siempre es mayor al costo de fabricación de una pieza por el sistema de moldeo por contacto a mano, debido a esto este sistema no es una buena alternativa para cambiar un proceso productivo donde se emplee el sistema de moldeo por contacto a mano. Para el sistema de moldeo cerrado CCBM es necesario fabricar más de 87 unidades de la pieza prototipo para que este sistema sea una alternativa viable para el cambio del sistema de moldeo abierto por contacto a mano.

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Debido a que actualmente en Colombia no existe una regulación que controle las emisiones que se generan en los procesos de transformación del plástico reforzado, las diferentes empresas de este sector pueden emplear sistemas de moldeo abierto en sus procesos productivos según sus necesidades. Los sistemas de moldeo cerrado como el RTM, el RTM-Light y el CCBM, son viables para empresas que fabriquen productos de plástico reforzado en serie. Para producción de pocas unidades lo recomendable es emplear sistemas de moldeo abierto tradicionales como el moldeo por contacto a mano. Para el caso particular de la fábrica de botes de Eduardoño S.A., el sistema de moldeo cerrado CCBM puede ser empleado para la fabricación de piezas de alta rotación, como las que se requieren para la fabricación de la moto de agua referencia XL-700B. También puede ser empleado para la fabricación de piezas como tapas para repisas<sup>5</sup> y consolas empleadas en los botes de portafolio.

En caso que comiencen las autoridades ambientales a regular las emisiones generadas en el proceso de transformación del plástico reforzado, se recomienda que para la fabricación de pocas unidades de una pieza se debe emplear sistemas de moldeo cerrado que no requieran grandes inversiones y costos de adecuación como el VARTM. Para procesos productivos donde se fabriquen piezas en serie y que haya restricciones de espacio se recomienda que se emplee el sistema de moldeo cerrado CCBM, debido a que los contramoldes de cada pieza son fabricados en silicona y no se requiere de gran espacio para ser almacenados.

El proyecto ha sido desarrollado con el fin de tener un adecuado entendimiento del sistema de moldeo cerrado CCBM y de las variables que sobre él influyen, para analizar la viabilidad de aplicarlo para la fabricación de piezas en la fábrica de botes de Eduardoño S.A. Es importante darle continuidad a este proyecto, implementando este sistema de moldeo para la fabricación de piezas de mayor tamaño que la pieza

prototipo, como el casco de un bote. Esto garantizaría establecer las limitaciones que pueda llegar a tener el sistema de moldeo CCBM debido al tamaño de la pieza fabricada.

Como la tendencia a nivel mundial es regular las emisiones generadas por las industrias, en un futuro no muy lejano en Colombia se comenzará a regular las diferentes fuentes generadoras de emisiones. Para la fábrica de botes de Eduardoño S.A. es importante adelantarse a este fenómeno buscando nuevas tecnologías que le permitan fabricar productos de calidad y cumplan con las regulaciones establecidas.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- BJOORKSTEN, J. *Poliéster and their applications*. Reinhold Publishing, Co., New York, 1976.
- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS T CERTIFICACIÓN. Documentación presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación. 5 Edición, Bogotá.
- Memorias Seminario. *MOLDEO CERRADO: DISEÑO DE MOLDES Y TECNICAS DE FABRICACIÓN DE PRODUCTOS*. Andercol. Bogota, Colombia. Agosto 23 y 24 de 2005.
- QUINN, J. A. *Composites- Design Manual U.S. Edition*. James Quinn Associates Ltd. Liverpool
- RUTZ, CT. *Cook Composites and Polymers (CCP). Lesson learned while designing low-volume closed-mold processes to replace open mold lamination*. Kansas City.
- MODERN PLASTIC ENCYCLOPEDIA . Mac Graw Hill. Vol. 56, number 10A. New York 1979.
- ORREGO BUSTAMANTE, Nicolas Ramiro. VELEZ URIBE, Rafale Ignacio. *El poliéster insaturado reforzado con fibra de vidrio y no reforzado*. Andercol S.A., Medellín.

PARRILLA, F. Resinas poliéster, plásticos reforzados. Editorial La ilustración. Villa Azcapotzalco, Mexico 1993.

PROFESIONAL BOAT BUILDER. Infusion. Revista número 32, pag 28-34.

## INTERNET

@ale

Contiene información, acerca de procesos de transformación de materiales compuestos. Disponible en: <http://www.ale.nl/ale/index.php?ci d=75>

@DanKimmel

Contiene artículos y foros sobre temas como pesca y construcción naval. Disponible en: <http://hometown.aol.com/djkimmel/fishing/buildboat3.htm>

@Encarta

Plásticos. Última actualización 2002. Disponible en: [http://es.encarta.msn.com/encyclopedia\\_761553604/Pl%C3%A1sticos.html](http://es.encarta.msn.com/encyclopedia_761553604/Pl%C3%A1sticos.html)

@jjmechanic

Contiene información, acerca de procesos de transformación de materiales compuestos. Disponible en: [http://www.jjmechanic.com/process/v\\_bag.htm](http://www.jjmechanic.com/process/v_bag.htm)

@netcomposites

Contiene información, acerca de procesos de transformación de materiales compuestos. Disponible en: <http://www.netcomposites.com/education.asp?sequence=81>

@owenscorning

Contiene información, acerca de procesos de transformación de materiales compuestos. Disponible en: [http://www.owenscorning.com.br/processos\\_e.asp](http://www.owenscorning.com.br/processos_e.asp)

@plastech

Contiene información, acerca de procesos de transformación de materiales compuestos. Disponible en: <http://www.plastech.co.uk/Mtrtm.html>

@.tifac

Contiene información, acerca de procesos de transformación de materiales compuestos. Disponible en: <http://www.tifac.org.in/news>

@ turkcadcam

Contiene información, acerca de procesos de transformación de materiales compuestos. Disponible en: <http://www.turkcadcam.net/rapor/kompozit-malzemeler/spray-up.jpg>

@woodweb

Contiene información acerca de los diferentes equipos y presiones requeridas para el moldeo por bolsa de vacío. Disponible en: [http://www.woodweb.com/knowledge\\_base/Vacuum\\_application\\_FAQ.html](http://www.woodweb.com/knowledge_base/Vacuum_application_FAQ.html)

# DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA PARA DOBLAR TUBERÍA CUADRADA Y REDONDA

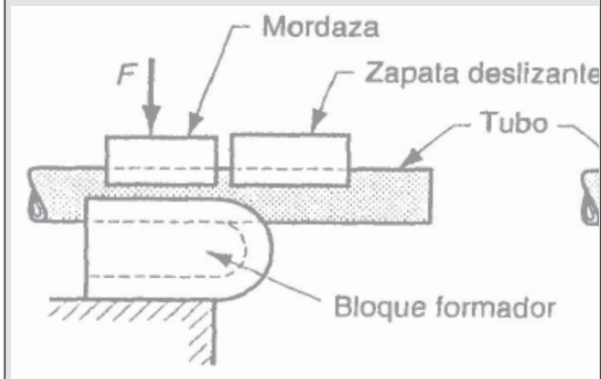
ANDRES FERNANDO LEMOS A.  
*alemosa1@eafit.edu.co*

MAURICIO MURIEL O.  
*mmurielo@eafit.edu.co*  
Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS  
DISEÑO MECÁNICO

ASESOR PRINCIPAL  
ING. ALBERTO RODRÍGUEZ GARCÍA

LUGAR DE DESARROLLO  
UNIVERSIDAD EAFIT



## RESUMEN

El proyecto consiste en el diseño y construcción de una máquina dobladora de tubos manual, la cual debe doblar tubería redonda en diámetros de 1, 1.5, 1.9 pulgadas con un calibre máximo de 16 y un ángulo de doblez máximo de 180 grado. Para dicho diseño se partió de un análisis de las máquinas existentes en el mercado y sus mecanismos, luego se escogió el diseño apropiado de acuerdo a unas necesidades y requisitos, junto con la parte de diseño conceptual para luego realizar la cuantificación de flujos y dimensionamiento.

## PALABRAS CLAVES

**Ventaja mecánica:** La ventaja mecánica se define en máquinas simples, como la razón entre la fuerza resistente y la fuerza aplicada.

**Adendo:** Altura por encima del diámetro primitivo del diente de un piñón.

**Dedendo:** Altura por debajo del diámetro primitivo hasta la base del diente de un piñón.

**Calibre:** Es espesor de pared del tubo

**Deformación Elástica:** Es la tendencia del tubo de recuperar su forma original al eliminar las fuerzas que están siendo aplicadas sobre el.

**Deformación plástica:** es cuando el tubo sobrepasa la deformación elástica quedando deformado permanentemente.

## ABSTRACT

The project consists of the design and construction of a machine bender of pipes manual, which must double round pipeline in diameters of 1, 1.5, 1.9 inches with a maximum caliber of 16 and one angle of maximum fold of 180 degree. For the above mentioned design it split of an analysis of the existing machines on the market and his mechanisms, then the appropriate design of agreement

was chosen to a few needs and requirements, together with the part of conceptual design then to realize the quantification of flows and sizing.

## KEY WORDS

**Mechanical advantage:** The mechanical advantage is defined in simple machines, as the reason between the resistant force and the applied force.

**Adendo:** Height over the primitive diameter of the tooth of a pine kernel (pinion).

**Dedendo:** Height below the primitive diameter up to the base of the tooth of a pine kernel (pinion).

**Caliber:** It is a thickness of wall of the pipe .

**Elastic deformation:** It is the trend of the pipe of recovering his original form on having eliminated the forces that are being applied on.

**Plastic deformation:** it is when the pipe exceeds the elastic deformation remaining deformed permanently.

## INTRODUCCIÓN

La utilización de estructuras hoy en día se ha vuelto muy común, ya que estas poseen una infinidad de aplicaciones y satisfacen casi todos los tipos de mercados. Las que no presenten soldaduras y elementos de unión son las más utilizadas en la actualidad puesto que no permiten la concentración de esfuerzos, dando así una mayor rigidez y capacidad de carga.

Las dobladoras de tubo se convierten entonces en una herramienta esencial a la hora de construir cualquier estructura, sus diversos usos comprenden, redes eléctricas chasis, mofles, accesorios para vehículos, muebles, juegos infantiles entre otros. Su principio radica en el posicionamiento de las matrices de una forma especial para que puedan dar la forma que el usuario desee. Existen diferentes tipos de máquinas para la realización de este trabajo, las cuales se diferencian unas de otras según su mecanismo de operación.

Para nuestro caso el diseño y fabricación de esta dobladora surge como una necesidad para el proceso de fabricación en la industria de los remolques. El proyecto busca como objetivo principal construir una máquina que cumpla con una serie de requisitos acordes para este propósito de la industria del transporte.

## TÉCNICAS DE DOBLADO

### Doblado por compresión

La pieza de trabajo se sujeta y dobla alrededor de un dado estacionario con la ayuda de un bloque o un rodillo seguidor. Hay algo más de fuerza de compresión que elongación sobre la pieza de trabajo (aun cuando haya elongación sobre la parte exterior del doblado). De ahí deriva, el nombre del método.

El doblado por compresión es un método, que con frecuencia se realiza a mano, sobre tubos u otros perfiles de mayores espesores de pared y radios de doblado más amplios. Los tubos de pared delgada usualmente no se doblan por este método.

El radio mínimo a la línea del eje del tubo, para dobleces por compresión, es 4 veces el diámetro del tubo.

Para lograr doblar tubos de paredes más delgadas, se debe tener un buen soporte y, pueden hacerse dobleces con radios de sólo 2.5 veces el diámetro del tubo. Los ángulos de doblado llegan a ser hasta de 170° por doblado. Debido a que, hay muy poco alargamiento en la cara exterior, los tubos cromados o pintados pueden doblarse con este método.

### Doblado por arrastre

Se sujeta la pieza de trabajo contra un dado que tiene la forma del doblado -como en el doblado por compresión. Pero, ahora el dado gira jalando la pieza de trabajo mediante una matriz de presión y, en muchos casos, sobre un mandril.

En el doblado de tubos de pared delgada, este método es el adecuado para doblar radios pequeños. Permite

un control más estrecho, sobre la pieza de trabajo, que cualquier otro método de doblado.

Los dobleces por arrastre se hacen cuando las necesidades dimensionales son estrictas (por ejemplo, en la industria aeronáutica) o cuando se requieren dobleces muy cerrados de tubos de pared delgada. Aunque se pueden lograr radios de doblado iguales al diámetro del tubo, éstos requieren un cuidado extraordinario, un mandril interno de perfecto ajuste así como zapatas y matrices exteriores.

El doblado por arrastre es más común que el doblado por compresión cuando se emplea equipo motriz. Pueden hacerse dobleces de hasta 180°.

### Doblado por prensado con cabezal

Se coloca la pieza de trabajo entre dos soportes y se presiona contra un dado redondo (cabeza o punzón). Los dos soportes giran sobre un pivote conforme el cabezal se mueve hacia adelante manteniendo el soporte de la pieza de trabajo.

Aunque brinda poco control sobre el flujo del metal, este método es muy rápido. Se emplea en aplicaciones donde se utilizan tubos gruesos o perfiles laminados o extruidos, siempre que se permita alguna distorsión en la sección de la pieza de trabajo y que sea importante tener una rápida producción.

Con la disponibilidad de máquinas en la actualidad, el doblado por prensado con cabeza se aplica a tuberías de 10 a 350 mm. de diámetro. Este método funciona para dobleces de hasta 165° además, se pueden doblar perfiles extremadamente gruesos.

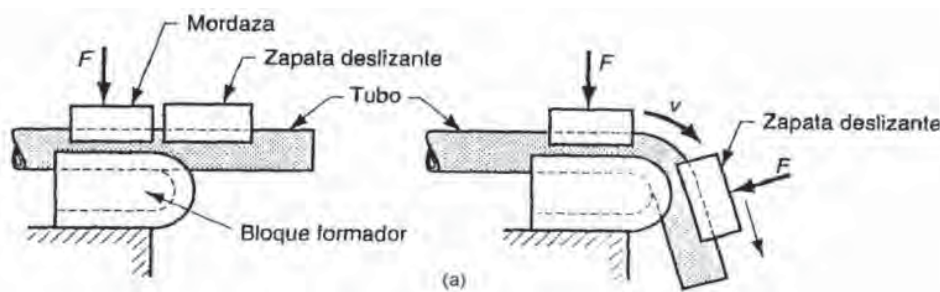
El radio mínimo de doblado a la línea de centro por este método es 3 veces el diámetro del tubo. A menos que, sean tolerables deformaciones o aplastamientos en la sección doblada (así como en algunas aplicaciones estructurales). Se prefieren los radios de 4 a 6 diámetros del tubo.

## DISEÑO DE MATRICES

### Formas y configuraciones

Cuando se dobla por el sistema de compresión se debe tener en cuenta la siguiente configuración: (a)

FIGURA 1  
Matrices para el doblado por compresión

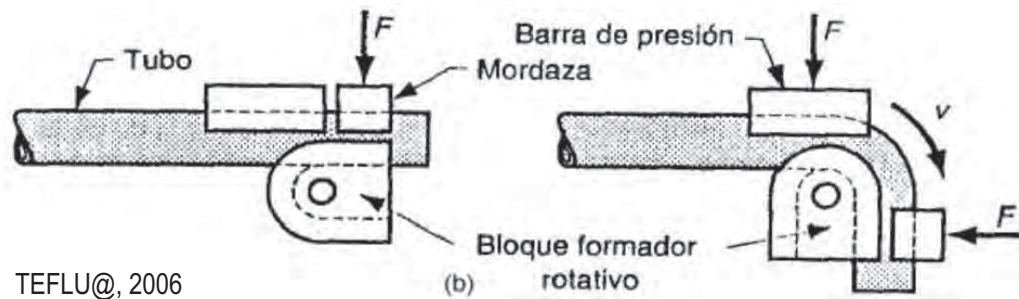


TEFLU@, 2006

Cuando se trata de matrices por sistema de arrastre la forma de posicionarlas para el proceso de doblado es diferente y se debe hacer de la siguiente forma: (b)

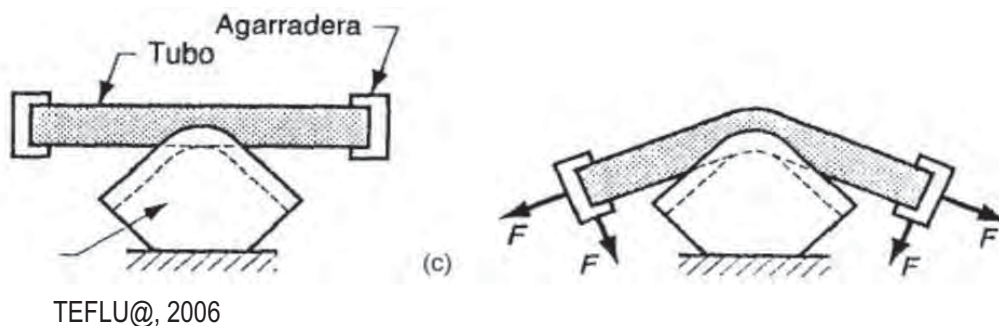


**FIGURA 2**  
Matrices para el doblado por arrastre



Para poder lograr una deformación por el sistema de prensado con cabezal las matrices de doblado se fijan de la siguiente manera: (c)

**FIGURA 3**  
Matrices para el doblado por prensado



Teniendo en cuenta que estas máquinas sólo son utilizadas en el doblado de perfilería redonda o cuadrada, existen diferentes tipos de máquinas para la realización de este trabajo, las cuales se diferencian unas de otras según su mecanismo de operación como:

### **HIDRÁULICAS MANUALES**

Es operada manualmente, lo cual significa que la energía proviene de una fuente humana y la ventaja mecánica transformada en el sistema mediante un gato hidráulico similar al utilizado en el levantamiento de vehículos.

### **HIDRAULICAS AUTOMÁTICAS**

Están conformadas por un sistema hidráulico accionado por un motor eléctrico el cual introduce mediante una

bomba la energía al líquido hidráulico para si expandir el cilindro que producirá el doblado en el tubo.

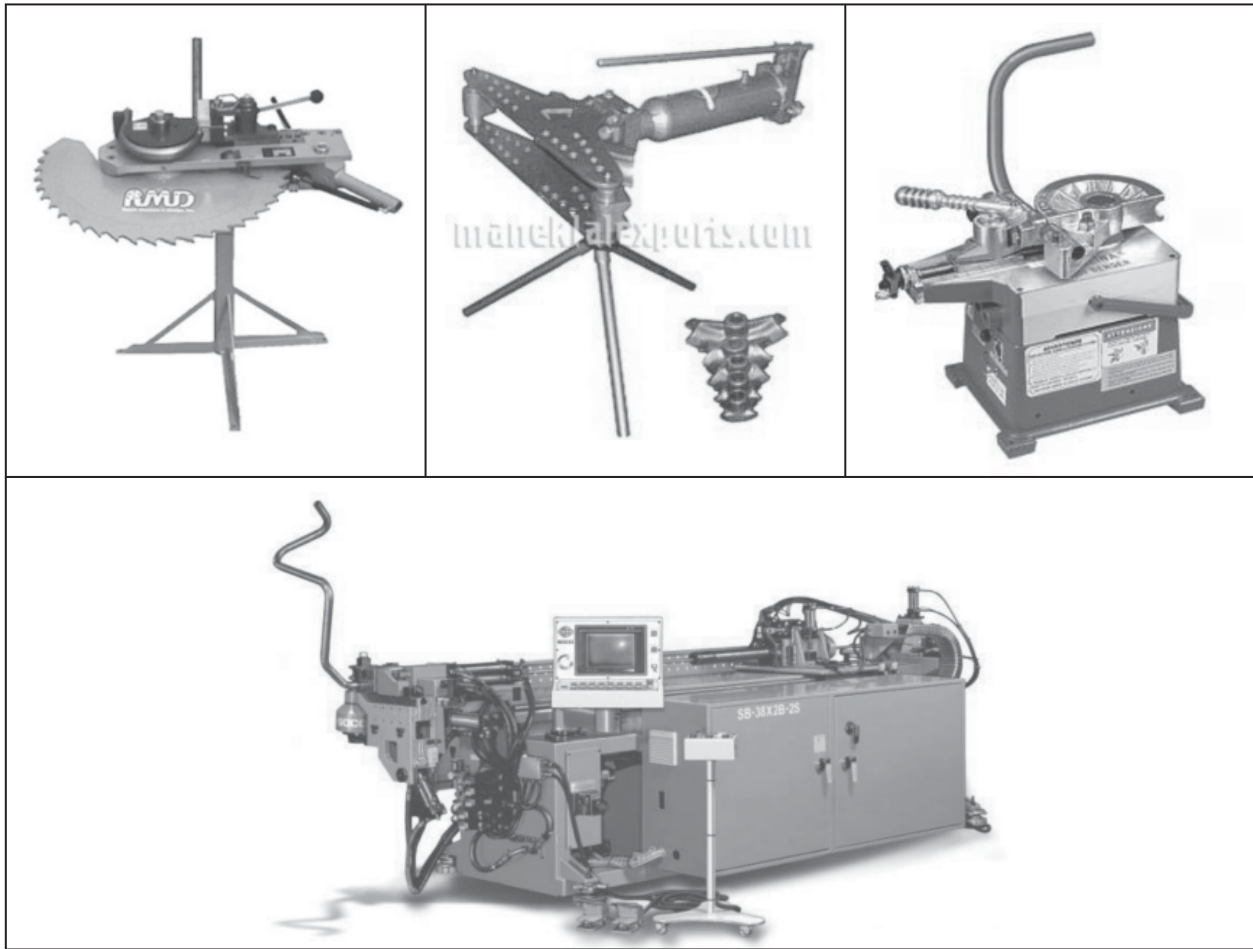
### **MANUALES**

Son máquinas que funcionan mediante una fuente de energía humana con elementos mecánicos tales como: palancas, levas, piñones, etc. Pero presentando una limitante con los otros tipos máquinas porque su funcionamiento debido a la baja energía disponible hace que sólo se puedan doblar cierto tipo de perfiles.

### **ELECTRO MECÁNICAS**

La fuente de energía es eléctrica y se transforma en mecánica mediante una moto reductor.

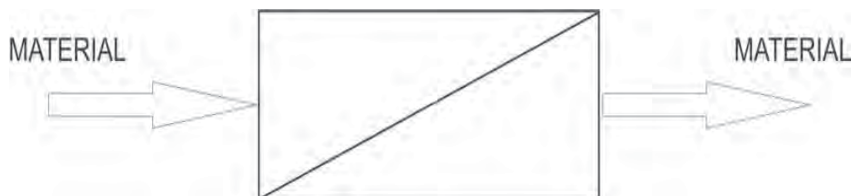
### ALGUNAS MÁQUINAS EXISTENTES



### DISEÑO CONCEPTUAL

La función principal del “aparato” es variar la forma de un flujo material. Pero lo denominaremos como máquina , de la misma manera que lo hacemos con una de moler, o de cocer. Lo cual quiere decir, que cuando el flujo material de ingreso al artefacto, puede ser variado, este puede cambiar la denominación de aparato para doblar un tubo, por máquina para doblar tubos.

FIGURA 4  
Función principal



## ΔTIPO

En este caso específico la transformación que debe ocurrir es DOBLAR.

**FIGURA 5**  
Transformación que realiza la máquina

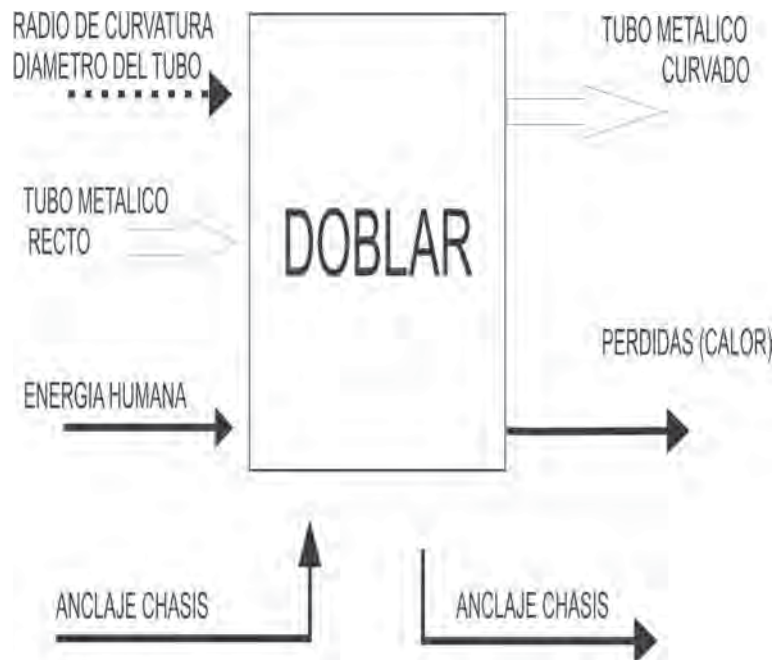


Para que la máquina logre su función, deben ingresar diferentes tipos de flujos, como lo son la energía que debe hacer la persona sobre la máquina, el material en nuestro caso los tubos, la información como lo es el diámetro del tubo y el ángulo al cual se desea doblar, por último las fuerzas que debe hacer el piso o tierra sobre la máquina.

### ENTRADAS Y SALIDAS DE LA MÁQUINA

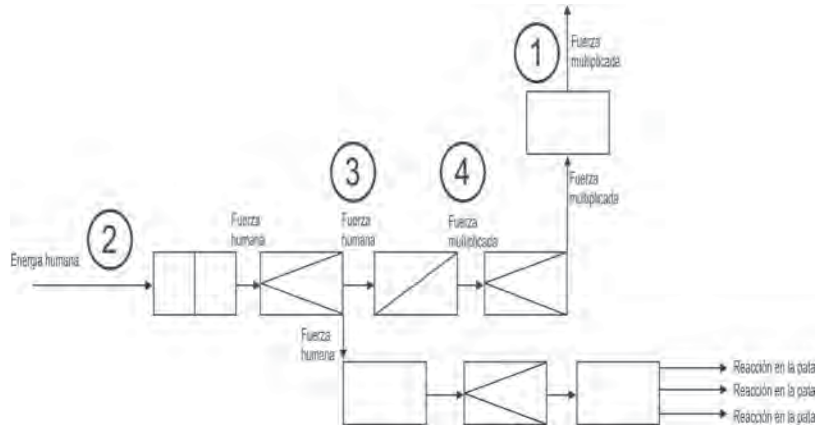
Para las entradas de la máquina tenemos, el radio al cual queremos doblar y el diámetro del tubo, en tubo de metal, la fuerza humana y el anclaje de entrada por otro lado en las salidas de la máquina encontramos los tubos doblados, y la fuerza que realiza la máquina sobre el piso o tierra la cual llamamos anclaje chasis.

**FIGURA 6**  
Salidas y entradas en la máquina



Hasta este punto se han determinado los flujos que ingresan y salen para garantizar la función. En adelante se observa como los flujos y con que magnitudes circulan por las partes que componen el artefacto.

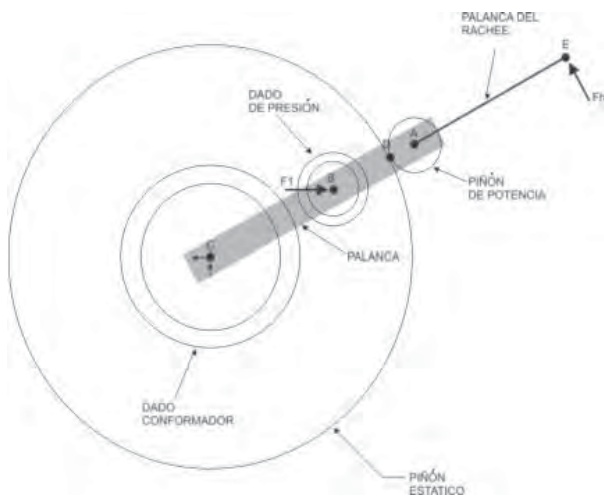
**FIGURA 7**  
**Estructura funcional del mecanismo**



**Componentes principales de la máquina**

Para poder determinar las fuerzas y su flujo, primero se debe tener conocimiento de los elementos que conforman el artefacto

**FIGURA 8**  
**Máquina con sus elementos principales**



Dado conformador  
Dado de presión  
Palanca  
Piñón de potencia

Piñón estático  
Palanca de rachee  
Prensa de soporte

**Requisitos**

**Ergonómicos:**

La máquina debe ser manual, de fácil manipulación para que el operador no tenga que realizar demasiada fuerza, para uso de varones de una preparación física normal entre los 20 y los 30 años.

**Ambiente:**

El ambiente en el cual esta máquina trabajara será un taller mediano- pequeño.

**Artefacto:**

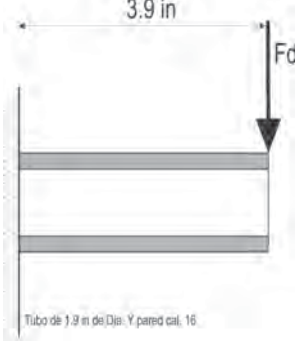
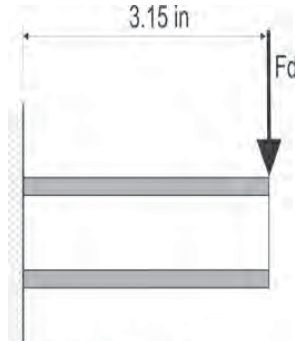
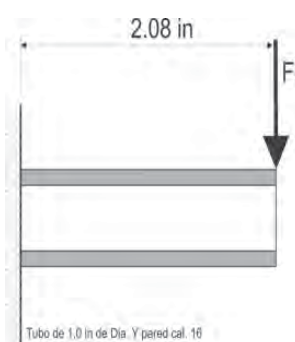
En el artefacto se pretende que doble tubos cuadrados y redondos hasta 2 in de cobre, aluminio y acero, que se pueda observar el ángulo al cual se desea doblar

- Deseos
- Liviana
- Resistente al esfuerzo
- Económica
- Para un taller mediano o pequeño
- Resistente a la corrosión
- Algunas partes intercambiables
- Fácil mantenimiento
- Mayor cantidad de piezas normalizadas

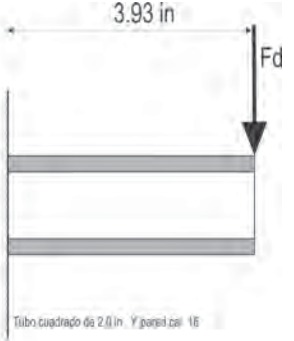
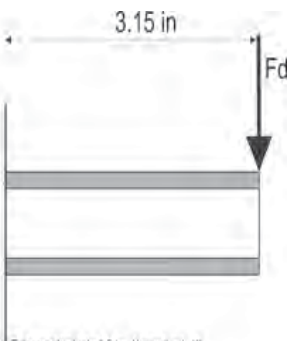
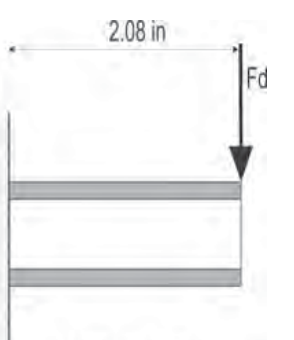
## Cuantificación de los flujos

En el cálculo de esta fuerza es necesario recordar que los cálculos se hacen en la zona plástica del material, cuando el material se deforma y no posee memoria para retornar a su posición inicial.

## Fuerza de doblado para tubos redondos

TUBO	FUERZA DE
 <p>Tubo de 3.9 in de Dia. Y pared cal. 16</p>	1302808
 <p>Tubo de 3.15 in de Dia. Y pared cal. 16</p>	1013580
 <p>Tubo de 2.08 in de Dia. Y pared cal. 16</p>	623005

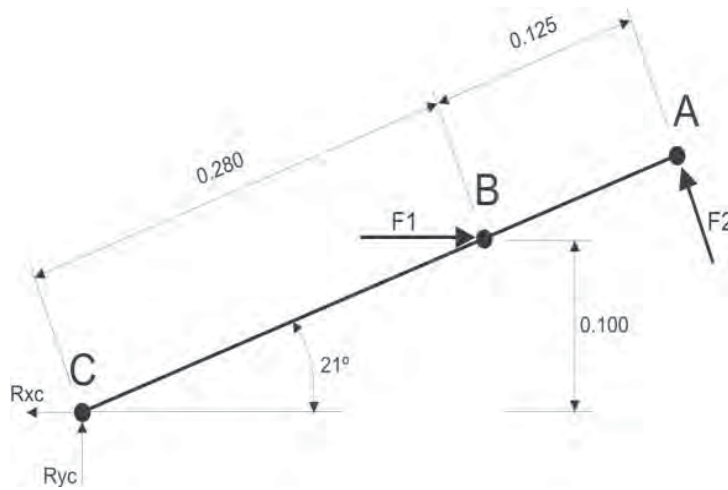
## Fuerza de doblado para tubos redondos

TUBO	FUERZA DE
 <p>Tubo cuadrado de 3.93 in. Y pared cal. 16</p>	290964
 <p>Tubo cuadrado de 3.15 in. Y pared cal. 16</p>	1977.88
 <p>Tubo cuadrado de 2.08 in. Y pared cal. 16</p>	1248.85

## Cálculo de las fuerzas en la palanca

Para lograr una mayor facilidad de doblado, se debe ubicar la fuerza de doblado en el punto B, para lograr así una mayor palanca.

**FIGURA 9**  
**Fuerzas que fluyen por la palanca**



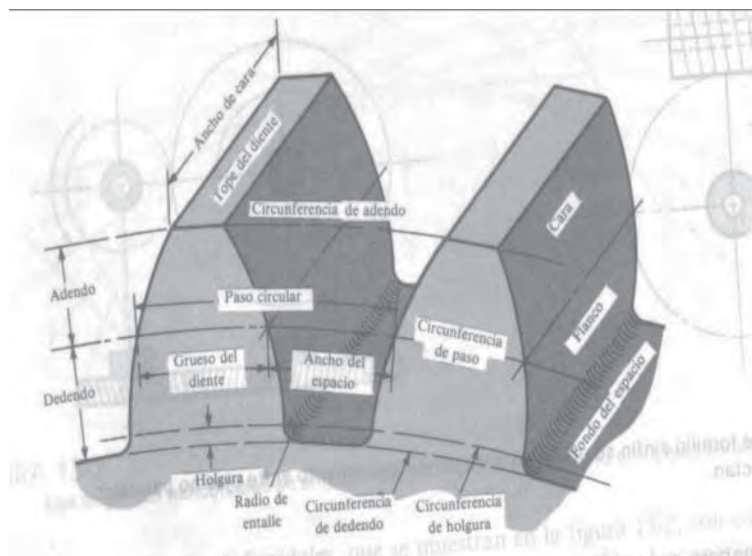
El resultado de la fuerza en el punto A es de 235.63Kgf

### Calculo del piñón

En el cálculo del piñón se toma uno de los dientes como una viga en voladizo, con una fuerza aplicada en el extremo del diente.

El calculo del paso es realizado por medio de formulas existentes, y luego de esto se procede a determinar el ancho requerido del piñón para poder resistir las fuerzas a la cuales será sometido.

**FIGURA 10**  
**Cálculo en el piñón**





$$F_3 = 234.16 \text{ Kgf} = 2296.32 \text{ N}$$

$$L = 0.0121 \text{ m}$$

$$M = L F_3 = 27.78 \text{ Nm}$$

$$h = 0.0084 \text{ m}$$

$$c = 0.0042 \text{ m}$$

$$B = 0.00932 \text{ m} = 9.32 \text{ mm}$$



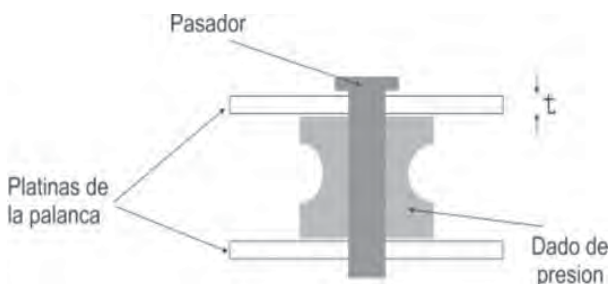
El material mas adecuado para la fabricación de los piñones es la lamina de 3/8" la cual tiene un espesor de 9.52 mm.

### Cálculo de los pasadores

La mayor fuerza resultante en los pasadores que fijan al dado de presión, al dado conformador con la palanca, se presenta en el dado de presión, la cual tiene un valor de 1302.808 Kgf.

El pasador se encuentra sometido a un esfuerzo cortante puro, pero por la forma de construcción de la máquina la fuerza es dividida por dos.

**FIGURA 11**  
Cálculo de los pasadores



Utilizando un material 1020 con  $S_y = 380 \text{ MPa}$  para la fabricación de estos elementos tenemos que el diámetro debe de ser mínimo de 5.66mm por cortante y 2.65 por aplastamiento.

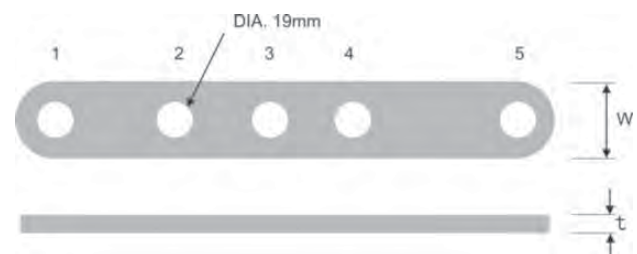
### Cálculo de la palanca

Para los cálculos de la palanca se tiene en cuenta las perforaciones que esta posee ya que estas son concentradoras de esfuerzos y pueden afectar la función de esta.

La palanca posee 5 perforaciones, 2, 3, 4 soportan los dados de presión, en 1 gira la palanca, centrada en el dado formador y en 5 se encuentra soportado el piñón de potencia.

Entre las perforaciones 1, 2, 3, 4 la palanca se encuentra a tensión. Entre los numerales 2, 3, 4, 5 se encuentra a flexión debido a un momento generado por la fuerza resultante del piñón de potencia

**FIGURA 12**  
Cálculo de la palanca



Después de realizar los cálculos pertinentes se llega a que el espesor de la palanca debe ser de 3/8".

## 7. CONCLUSIONES

Mediante el proceso de diseño que se llevo a cabo, se encontró un mecanismo apropiado, ya que presenta una gran ventaja mecánica al realizar el movimiento de palanca.

La máquina construida y diseñada cumple con los deseos y requisitos básicos para pertenecer a la industria de los

remolques dentro del concepto una mediana o pequeña empresa, teniendo en cuenta que aplica para doblar tubería redonda.

La tubería cuadrada no puede ser doblada con el modelo de máquina construido, ya que esta requiere de una fuerza mayor de dobles en las dimensiones de tubería propuestas.

Para trabajar con este tipo de tubería, las dimensiones de la máquina deben ser mayores.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

RODRIGUEZ, Alberto. Artefactos: Diseño Conceptual. Primera Edición. Fondo Editorial Universidad Eafit .Medellín, Colombia.2003 ISBN: 970-17-0163-1.

BEER, Ferdinand P. y JOHNSTON, E. Russell Jr. Mecánica de Materiales. Mc Graw Hill. Segunda Edición. Bogota, Colombia. 1993. ISBN: 958-600-127-X.

SHIGLEY, Joseph Y MICHKE Charles R. Diseño en Ingeniería Mecánica. Mc Graw Hill. Sexta Edición. México DF. 2002. ISBN: 970-10-3646-8.

HAMROCK, Bernard J., JACOBSON Bo y SCHMID Steven R. Elementos de Máquinas. Mc Graw Hill. México DF.2000. ISBN: 070-10-2799-X.

### INTERNET

(MANEKLAL@, 2006) DOBLADORAS DE TUBOS, Citado 20 de Agosto de 2006. Disponible en: [www.maneklalexports.com/Espanol/McTools/PipeBend.htm](http://www.maneklalexports.com/Espanol/McTools/PipeBend.htm)

(MAQUIVENTA@, 2006) FERROMAYOREO DE OCCIDENTE S.A., Citado 19 de Agosto de 2006. Disponible en: [http://www.maquiventa.com/ferremayoreo\\_metal\\_01.htm](http://www.maquiventa.com/ferremayoreo_metal_01.htm)

(LLANTA BAJA@, 2006) DOBLADORAS DE TUBOS, Citado 18 de Septiembre de 2006. Disponible en: [www.llantabaja.com/productos/bend\\_pak.html](http://www.llantabaja.com/productos/bend_pak.html)

(BII1@,2006) DOBLADORAS DE TUBO, Citado 25 de Septiembre de 2006. Disponible en:<http://www.bii1.com/benders.htm>

(TOOLPLUS@, 2006) DOBLADORAS DE TUBOS, Citado 26 de Octubre de 2006. Disponible en: <http://www.toolsplus1.com/mb105.htm>

(PRO-TOOLS@, 2006) DOBLADORAS DE TUBOS, Citado 20 de Septiembre de 2006. Disponible en: <http://www.pro-tools.com/200k.htm>

(ERCOLINA-USA@, 2006) DOBLADORAS DE TUBOS, Citado 12 de Octubre de 2006. Disponible en: <http://www.ercolina-usa.com/gigabender.htm>

(COMEQ@, 2006) DOBLADORAS DE TUBOS, Citado 15 de Octubre de 2006. Disponible en: <http://www.comeq.com/index.htm>

(CURVAC@, 2006) DOBLADORAS DE TUBOS, Citado 15 de Octubre de 2006. Disponible en: <http://curvac.com/index2.htm>

(TEFLU@, 2006) DOBLADORAS DE TUBOS CNC, Citado 21 de Octubre de 2006. Disponible en: <http://www.teflu.com.mx/paginas/untitled/automotrices.html>

(INDUSTRIAS SAMB@, 2006) VENTA DE Máquinas DOBLADORAS, Citado 22 de Octubre de 2006. Disponible en: <http://www.industriasamb.com/amb.htm>

# DISEÑO DE UN BANCO DE TRABAJO PARA MOTOCICLETAS

THOMAS WOODCOCK DELGADO  
*twoodcoc@eafit.edu.co*

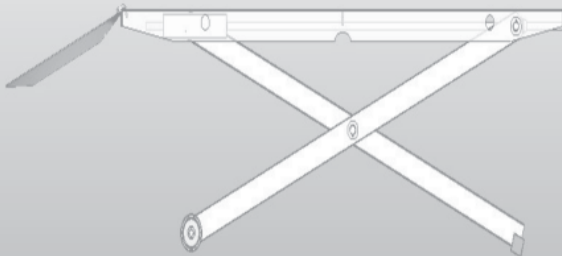
MIGUEL URIBE ÁLVAREZ  
*muribe2@eafit.edu.co*

Departamento de Ingeniería Mecánica

**ÁREA DE ÉNFASIS**  
DISEÑO DE SISTEMAS TÉCNICOS –  
DISEÑO MECÁNICO

**ASESOR PRINCIPAL**  
ING. ALBERTO RODRÍGUEZ

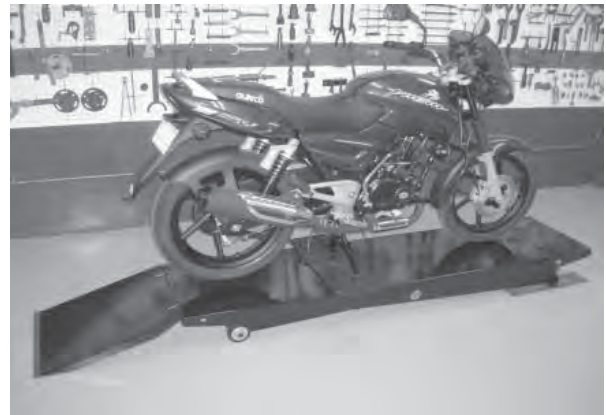
**BENEFICIADOS**  
REALIZADORES DEL PROYECTO



## RESUMEN

El presente documento muestra el diseño de un banco para motocicletas capaz de elevar una carga de 300Kg. desde una altura mínima de 20cm a una altura de 80cm sobre el nivel del piso.

### ILUSTRACIÓN 1 Producto final



Se desarrolla y presenta para un artefacto su estructura física con sus elementos constitutivos. Se empieza con una lista de requisitos, que luego se verifica su cumplimiento y se continúa con la determinación de la función principal, la estructura de funciones parciales y la estructura organizacional, el dimensionado de flujos, la especificación de partes a comprar y el dimensionado de partes a construir. Todo lo anterior se hace con el fin de realizar un modelo en la fase de materialización.

## PALABRAS CLAVE

Banco de trabajo para motocicletas, lista de requisitos, función principal, flujos, modelo.

## ABSTRACT

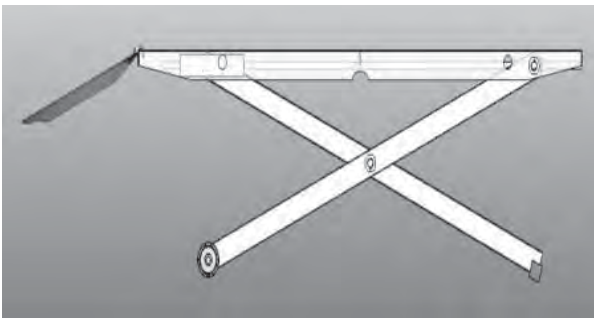
The present document states the design of a motorcycle lift, able to support the forces generated by a motorcycle and taking into account the chance of having a technician over the bench while operating. The total amount of load is 300Kg and it is able to lift it from 20cm to a final altitude of 80cm over the floor level.

The physical structure with the constitutive elements of the device are developed and displayed. This begins with a list of requirements, which are then verified to see if they were fulfilled and continues with the determining of the main function, the structure of partial functions and the organizational structure, the flow dimensioning, the specification of parts to buy and dimensioning of parts to construct. All of the above are done in an effort to make a model in the materialization phase.

## KEYWORDS

Motorcycle lift, list of requirements, main function, flow, model.

**ILUSTRACIÓN 2**  
Vista lateral del banco



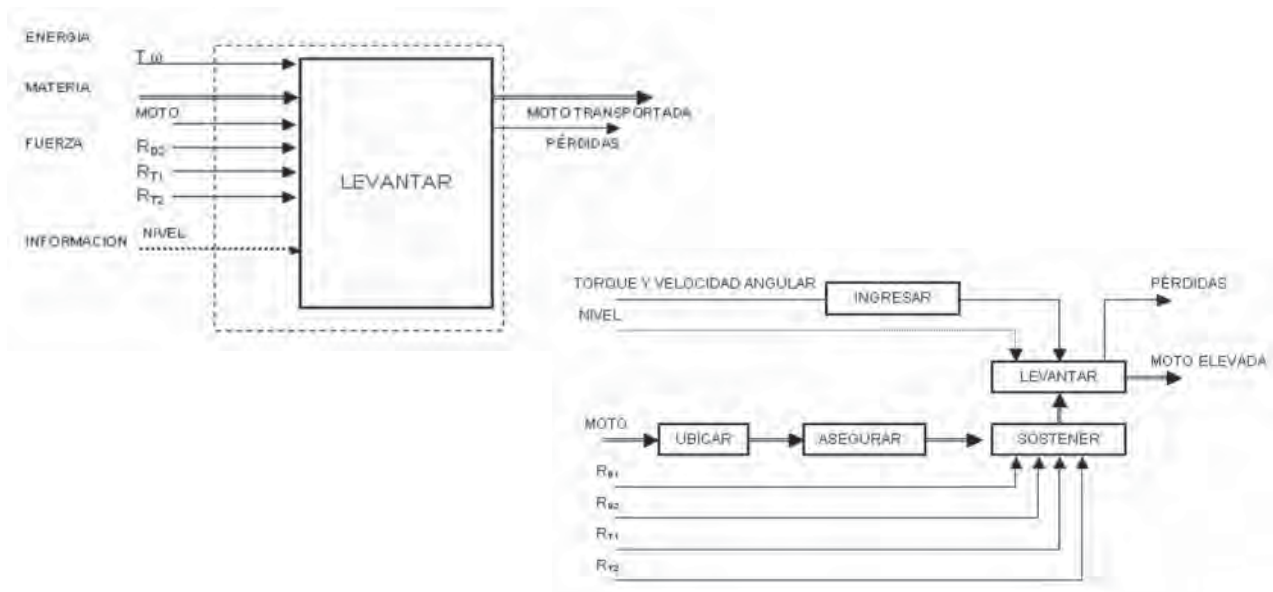
## INTRODUCCIÓN

Este trabajo consiste en diseñar y construir un prototipo funcional de un banco de trabajo para motocicletas, que se base en toda la parte técnica de cálculos, selección de materiales, planos de fabricación, etcétera, conocimientos éstos adquiridos a lo largo de la carrera, ofreciendo la posibilidad de seleccionar y aprovechar la gran cantidad de partes comerciales de que se disponen en este medio y en consecuencia, buscando la posibilidad de reducir en gran parte los costos que este proyecto conlleva.

## DISEÑO CONCEPTUAL

Se realizó un diseño conceptual convencional, donde se hizo una marcada diferencia entre los flujos existentes, como son: energía, materia y fuerza, para dar cumplimiento a la función principal.

**ILUSTRACIÓN 3**  
Flujo de fuerzas y energía

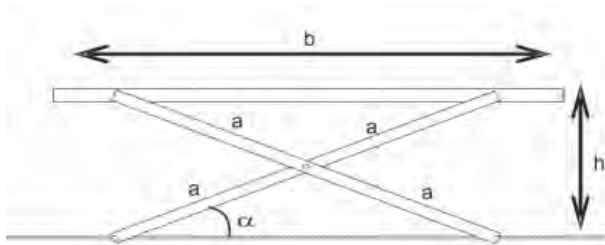


De la realización de la estructura funcional, surge la necesidad de dividir el banco en sistemas, para seguir un proceso de cálculo adecuado y acorde con la ruta que plantea el diseño conceptual. Queda entonces dividido así:

- Sistema de transmisión de potencia.
- Sistema de soporte
- Uniones entre sistemas

Para determinar la forma y el tamaño, se hizo basándose en información acerca de este tipo de vehículos existentes en el mercado, y en una síntesis dimensional básica.

**ILUSTRACIÓN 4**  
Síntesis dimensional



$$h_1 = 20\text{cm} = 0.2\text{m}$$

$$h_2 = 80\text{cm} = 0.8\text{m}$$

$$\text{Sen}\alpha_1 = \frac{h_1}{2a}$$

$$\text{Sen}\alpha_2 = \frac{h_2}{2a}$$

$$2.a \leq b$$

## CÁLCULOS

Se realizó una secuencia de cálculos muy simple, siguiendo los sistemas propuestos en la fase conceptual, donde se inicia con el dimensionado del sistema de potencia, utilizando como fuente de movimiento una pistola neumática.

Se continuó con el sistema de soporte y finalmente se calculó todo el sistema de acople entre los dos sistemas mencionados anteriormente.

## MANUFACTURA

La construcción de este artefacto conlleva varios procesos de manufactura, donde el más representativo es el doblado de lámina, ya que es gracias a éste que se logra un aspecto estéticamente agradable.

## CONCLUSIÓN

Se construyó un banco de trabajo para motocicletas con todas las especificaciones de diseño.

El modelo construido maneja flujos con magnitudes comparables a las estimadas en la parte teórica y cumple satisfactoriamente con la función prometida, haciendo que se satisfaga plenamente con los objetivos propuestos.

## BIBLIOGRAFÍA

- RODRÍGUEZ, Alberto. Artefactos: Diseño Conceptual. Primera Edición. Fondo Editorial Universidad EAFIT. Medellín, Colombia. 2003. ISBN: 970-17-0163-1.
- HAMROCK, Bernard J., JACOBSON Bo y SCHMID Steven R. Elementos de Máquinas. Mc Graw Hill. México D.F. 2000. ISBN: 970-10-2799-X.
- BEER, Ferdinand P. y JOHNSTON, E. Russell Jr. Mecánica de Materiales. Mc Graw Hill. Segunda Edición. Bogotá, Colombia. 1993. ISBN: 958-600-127-X.
- BEER, Ferdinand P. y JOHNSTON, E. Russell Jr. Mecánica Vectorial para Ingenieros: Estática. Mc Graw Hill. Sexta Edición. México, D.F. 1997. ISBN: 970-10-1021-3.
- 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

## INTERNET

### Officemotos @

Elevador hidráulico para motos OF 4000. [En línea]  
[Citado el 13 de abril de 2006]. Disponible en:  
<http://www.officemotos.com.br/rpneuma4000.htm>

### Handy Industries Power Lift ½ ton @

Elevador neumático para motos Power Lift ½ ton [En línea] [Citado el 13 de abril de 2006]. Disponible en:  
[http://www.handyindustries.com/shop/product\\_view.asp?idProduct=1153&D=6&S=0](http://www.handyindustries.com/shop/product_view.asp?idProduct=1153&D=6&S=0)

### Ryme Shop MK-55700 @

Elevador para motocicletas MK-55700 [En línea]  
[Citado el 13 de abril de 2006]. Disponible en:  
[http://www.rymeshop.com/  
FichaArticulo~x~ELEVADOR-ATV-MOTOCICLETA~ID  
Articulo~2134~IDDetalleCatalogo~4715.html](http://www.rymeshop.com/FichaArticulo~x~ELEVADOR-ATV-MOTOCICLETA~IDArticulo~2134~IDDetalleCatalogo~4715.html)

### Ryme Shop MK-55450 @

Elevador para motocicletas MK-55450 [En línea]  
[Citado el 13 de abril de 2006]. Disponible en:  
[http://www.rymeshop.com/  
FichaArticulo~x~ELEVADOR-DE-TIJERA~IDArticulo~2  
135~IDDetalleCatalogo~4717.html](http://www.rymeshop.com/FichaArticulo~x~ELEVADOR-DE-TIJERA~IDArticulo~2135~IDDetalleCatalogo~4717.html)

### Torletti @

Elevador de pie para motos [En línea] [Citado el 13 de abril de 2006]. Disponible en:  
<http://www.hbtorletti.com.ar/elevadores.htm>



# **RESUMEN ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD DE UNA ESTACIÓN DE SERVICIO VIRTUAL DE GAS NATURAL VEHICULAR**

**DIANA CATALINA CHICA VÉLEZ**  
*dchicav1@eafit.edu.co*

**JUAN DAVID MURIEL MONAGAS**  
*jmuriel1@eafit.edu.co*

Departamento de Ingeniería Mecánica

**AREA DE ÉNFASIS**  
PROYECTOS

**ASESOR PRINCIPAL**  
JOSÉ ALFREDO VÁSQUEZ

**SECTOR BENEFICIADO**  
UNIVERSIDAD EAFIT

**BENEFICIADOS**  
REALIZADORES DEL PROYECTO



## **INTRODUCCIÓN**

Un estudio de prefactibilidad surge del planteamiento de un problema que busca satisfacer una necesidad humana, definiendo un proyecto como la solución inteligente a dicho problema. El carácter de este proyecto es económico, ya que su viabilidad depende de la factibilidad financiera.

### **1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

En Medellín, el gas se distribuye a través de una tubería de acero paralela al río Medellín, que recorre todo el Valle de Aburrá con ramales que van hasta los diferentes municipios o circuitos de barrio. Una estación reguladora se asocia a cada circuito, y a partir de este punto se utiliza tubería de polietileno hasta la acometida de cada inmueble.

El transporte de gas natural en Medellín se ve por lo tanto limitado a la red urbana. Con base en esto se analizará la viabilidad de prestar el servicio de gas natural vehicular a través de la creación de una estación virtual de servicios de GNV. Virtual porque el gas es transportado sin red. Éste sería transportado por medio de camiones con unas condiciones específicas hacia un punto determinado, donde se repartirá el gas a los carros de la misma manera que lo hacen las estaciones en la ciudad.

### **2. 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 y utilización de combustibles alternativos ecológicos, económicos y seguros. Entre estos combustibles alternos se encuentra el Gas Natural Vehicular, reduciendo en forma importante el volumen de contaminantes que se emiten diariamente, además el gas natural a diferencia de otros combustibles no está sujeto a los vaivenes de las tasas de cambio ni de los precios internacionales.

El proyecto resolverá la necesidad de los propietarios de vehículos que viajan o viven a las afueras de la ciudad y utilizan, o desearían usar gas como combustible.

### **3. ESTUDIO SECTORIAL**

#### **3.1 MACROENTORNO**

##### **3.1.1 Dimensión tecnológica**

Dentro de las tecnologías actuales en el uso de combustibles, el uso de gas natural es la más vanguardista y prometedora, tanto por asuntos de costos económicos; ahorro del 50% frente a la gasolina, por la incertidumbre en la provisión de otros combustibles; como el petróleo, y a las tendencias de los precios al alza a nivel internacional, como por el tema de contaminación ambiental.

Con respecto a las tecnologías venideras, la más prometedora para la movilización vehicular es el uso de la pila de combustible de hidrógeno, la cual no solamente tiene un precio mucho más alto, y un peso elevado, sino que además no se cuenta con estaciones de suministro de hidrógeno. Además, el gas natural es un producto sustituto para ésta tecnología en caso de que no existan estaciones de hidrogeno.

##### **3.1.2 Dimensión geográfica y social**

El proyecto pretende tener una cobertura del mercado de los municipios de Guarne y Rionegro.

##### **3.1.3 Dimensión político legal**

El decreto 609 de marzo de 1990 decreta que el servicio público de transporte, distribución y suministro de gas natural, se prestará de acuerdo con lo dispuesto en el decreto - ley 1056 de 1953, y en los reglamentos que expida el ministerio de minas y energía. En este artículo se definen los términos más importantes a tener en cuenta respecto al tema de gas natural vehicular. También estipula los pasos y requisitos que una persona, firma nacional o firma extranjera debe seguir en caso que desee vincularse a un proyecto de esta naturaleza.

##### **3.1.4 Dimensión Ambiental**

El estudio de impacto ambiental permite afirmar que no hay restricciones apreciables en términos de deterioro grave al medio ambiente por el uso de gas natural como combustible para automóviles. El medio ambiente no presenta ninguna restricción al proyecto sino más bien es un medio de publicidad bastante importante.

Según el decreto 1220 de 2005, en su artículo 8, el proyecto requiere de una licencia ambiental para su operación. y le competen al ministerio del ambiente, vivienda y desarrollo territorial

##### **3.1.5 Dimensión Económica**

Para el análisis de esta dimensión, se consideraron algunos de los indicadores económicos que podrían repercutir positiva o negativamente sobre la viabilidad del proyecto. Con base en estos indicadores se pueden realizar proyecciones sobre el comportamiento de las variables a futuro.

#### **3.2 ANÁLISIS DEL SECTOR INDUSTRIAL**

##### **3.2.3 Categoría**

El proyecto pertenece al sector económico categoría E según la ONUDI, debido a que su actividad está relacionada directamente con la distribución de gas.

##### **3.2.4 Estructura económica del mercado**

Actualmente en el Valle de Aburrá se encuentran establecidas 14 estaciones de servicio de gas natural vehicular a lo largo del gaseoducto principal. De otra manera, en el oriente antioqueño y lo largo de las carreteras aledañas a este no existen ninguna estación que preste este servicio, por lo tanto, el proyecto sería un monopolio dentro de la estructura de este mercado. Sin embargo, no es posible manipular los precios como se hace en la modalidad de monopolio, puesto que existen ciertas limitantes a éste; el precio está determinado por el precio de la gasolina, ya que la idea es que siempre haya un ahorro del 50% respecto al uso de esta. Además

no se puede permitir que resulte más económico ir hasta alguna de las estaciones antes descritas en Medellín, o que sea más económico el combustible tradicional.

### **3.2.5 Definición del bien o servicio**

El GNV es una mezcla de hidrocarburos, principalmente metano, que se encuentra en la naturaleza, en yacimientos subterráneos bien sea solos o compartiendo los mismos con petróleo. No requiere costosos procesos de refinamiento, garantizando los más bajos precios al consumidor.

### **3.2.6 Análisis del entorno**

Mercado proveedor (materias primas)

El gas natural llega a las estaciones existentes por medio del gasoducto principal, siendo su proveedor EPM. Sin embargo el proveedor directo del proyecto no es el mismo, ya que la idea es adquirir el gas con la presión permitida por la legislación para ser transportado hasta la estación. Esto con el fin de disminuir costos, pues el hecho de comprimir el gas requiere de la adquisición de un compresor el cual es el bien más costoso del negocio. El proveedor directo del gas, sería entonces alguna de las 14 estaciones existentes, la cual proporcionaría el gas comprimido. Este gas se almacena en los cilindros que van en los módulos transportados hasta la estación.

Área del mercado: mercado objetivo, área geográfica, población, etc.

Se pretende abarcar el mercado de los vehículos particulares habitantes de los municipios de Rionegro y Guarne, además de los vehículos que viajan diariamente hacia el oriente antioqueño o que utilizan sus carreteras para llegar a otros destinos y que funcionen con gas natural vehicular como combustible.

### **3.2.7 Segmentación del mercado**

El mercado objetivo al que se dirige el proyecto se divide en dos grandes nichos a los cuales se piensa atacar con estrategias diferentes esperando poder llegarles

a todos ellos, estos son: automóviles pertenecientes a los municipios de Rionegro y Guarne divididos en particulares, taxis, camperos y camiones, y automóviles de la ciudad que viajan al oriente antioqueño, divididos en aquellos que pasan por las carreteras Las Palmas, Variante las Palmas, la autopista Medellín – Bogotá, Carretera Envigado, cada una de ellas, dividida en particulares, taxis, camperos y camiones.

## **4. ESTUDIO DEL MERCADO**

### **4.1 ANÁLISIS DE LA DEMANDA**

Para obtener los datos de la demanda según la segmentación del mercado, se tomaron los datos entre semana y fines de semana de los vehículos que pasaban por estas carreteras. Otros valores importantes y a tener en cuenta son el incremento de automóviles en Medellín y el incremento de automóviles con GNV. Estos se pueden retomar para el análisis y comportamiento del mercado en Rionegro y Guarne. Según el porcentaje de vehículos que existen actualmente en el valle de aburrá convertidos a GNV y la variación de este porcentaje en los últimos años se proyecta la existencia de autos convertidos a GNV. Sin embargo, se asumió que solo el 30% de estos utilizarán la estación, ya que por datos obtenidos en estaciones de gasolina del oriente, solo 30% de los carros que viajan hacen uso de las estaciones.

Gracias a datos suministrados por EPM, se conocen los diferentes volúmenes de cilindros que emplean los vehículos y por medio de la secretaria de transporte se conoce la distribución de tipos de vehículos en Medellín. A semejando estos datos a los del mercado del proyecto se obtiene la cantidad de metros cúbicos anuales que demanda el proyecto.

### **4.2 ANÁLISIS DEL PRECIO**

Existen múltiples maneras de hacer un análisis con el fin de conocer el comportamiento a futuro del precio del gas natural. Para este caso se hicieron tres análisis: Un primer análisis consiste en evaluar los precios de años anteriores del gas y proyectar estos a lo largo del horizonte del proyecto. Un segundo análisis consiste en

ligar el precio del gas al precio de la gasolina y encontrar una ecuación que relacione el comportamiento de ambas a través del tiempo con el fin proyectar el precio del gas. El último análisis consiste en cumplir la publicidad hecha por EPM, la cual consiste en que usando gas natural se obtiene un ahorro del 50% respecto al uso de gasolina como combustible. Este análisis lleva a proyectar el precio de la gasolina, y con este, obtener un precio de gas que sea equivalente al ahorro antes mencionado, teniendo en cuenta un galón de gasolina, rinde en kilometraje lo mismo que rinden 3 m<sup>3</sup> de GNV. Se selecciono el segundo análisis por ser el más conservador.

### **4.3 DETERMINACIÓN DE INGRESOS PROYECTADOS (EN EL HORIZONTE DEL PROYECTO)**

Teniendo en cuenta el análisis de la demanda antes hecho, y el análisis acerca del precio del gas natural vehicular, se pueden conocer los ingresos esperados.

### **4.4 ANÁLISIS DE LA OFERTA**

En el sector donde se encuentra el proyecto no existe actualmente ninguna otra estación de servicio de gas natural vehicular. Por lo tanto se puede decir que este es un monopolio en el sector respecto al servicio que ofrece.

La competencia local existente en el sector la constituyen las estaciones de gasolina, aunque ofrecen un servicio diferente, el producto que venden es sustituto del ofrecido por el proyecto. A nivel de precio el ahorro es considerable, además tiene otros beneficios frente a la gasolina como lo son la reducción de emisiones atmosféricas emitidas por su uso.

## **5. ESTUDIO TÉCNICO DEL PROYECTO**

### **5.1 ANÁLISIS DEL TAMAÑO O CAPACIDAD DEL PROYECTO**

La capacidad instalada depende de las características técnicas del llenado, no del volumen que pueda transformar el compresor, por lo que solo se podrán

atender un cierto número de automóviles por día. La capacidad se determinara a partir del número de carros que se pueden abastecer las 24 horas del día, los 7 días de la semana. El abastecimiento de gas en cualquier tipo de automóvil se demora aproximadamente 5 minutos desde que llega a la isla hasta que sale. De esta manera se puede obtener el tiempo total que tiene la estación para hacer el abastecimiento y el número de vehículos que puede cubrir en dicho tiempo.

La capacidad determinada por el compresor es suficiente para cubrir la demanda hasta el año 8 de operaciones donde la demanda supera la capacidad instalada. Sin embargo, la cantidad de gas de más requerida sobre la capacidad instalada no justifica una reinversión en otro compresor en los últimos años del proyecto.

### **5.2 ANÁLISIS DE LA LOCALIZACIÓN ÓPTIMA DEL PROYECTO**

La metodología de la Onudi establece dos términos para la localización óptima de un proyecto.

La macro localización de la estación de servicio es en el municipio de Rionegro. Para la micro localización se analizaron diferentes ubicaciones partiendo de algunos criterios por medio de una matriz de pesos ponderados donde, de forma tanto cuantitativa como cualitativamente, se otorgan unas calificaciones en cada uno de los criterios de los diferentes lotes evaluados, encontrando así el lugar mas adecuado:

### **5.3 INGENIERÍA DEL PROYECTO**

Dadas las condiciones en las cuales se desarrolla el proyecto, se concluye que partiendo de las situaciones de demanda, recolección del insumo y el producto final entregado, la tecnología del proceso es de intermediación.

#### **5.3.1 Ciclos del proceso**

El gas se distribuye por medio del gaseoducto principal y luego por redes secundarias que llevan el gas directamente a cada una de las estaciones del valle de Aburra. El gas llega a las estaciones a una presión muy

baja (entre 4 y 16 bares), por lo tanto, es necesario que por medio de un compresor se aumente esta presión hasta 250 bares. El gas es comprado a una de estas estaciones de servicio y almacenado en cilindros dispuestos en módulos, los cuales son transportados en un camión hasta la estación en el oriente antioqueño donde se hace el descargue de los módulos.

Después de hacerse efectivo el descargue de los módulos, se procede a la liberación del gas que se encuentra en los cilindros. Cada modulo cuenta con 39 cilindros de almacenamiento, en arreglos de 4 cilindros. El volumen en cada arreglo se controla con un transmisor de presión que indica la presión del arreglo. Cuando la presión del arreglo es menor que 4 bares, se activa la válvula de salida de gas de otro arreglo para consumir el gas allí contenido, este procedimiento se lleva a cabo hasta consumir todos los cilindros de un modulo. Debido al cambio de volumen al cual es sometido el gas cuando se encuentra contenido en los módulos, es necesario calentarlo con el fin de que este no consuma su energía interna para expandirse y caiga la temperatura, lo cual podría conducir a congelamiento, y daño de los equipos y tubería. Por esta razón se necesita un sistema que caliente el gas y así evitar el congelamiento de la red. En este caso se ha optado por un intercambiador de calor. Después del intercambiador de calor se encuentra un transmisor de presión en la línea del gas, el cual indicará la presión de este, si es menor de 200 bares (presión de suministro), se abre una válvula la cual permite que el gas se dirija al compresor para ser presurizado, de lo contrario se abre otra válvula que dirige el gas hacia el suministro. El despacho de GNV se hace a través de surtidores, mediante mangueras que se conectan al vehículo. La presión de llenado es controlada por un regulador de presión a 200 bares.

## **6. ESTUDIO ADMINISTRATIVO DEL PROYECTO**

### **6.1 ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL DEL PROYECTO**

Este estudio se presenta el diseño de la organización que se requiere para administrar y controlar todo el

funcionamiento de las fases del proyecto. Para las diferentes fases del proyecto se requerirá de una área administrativa (junta directiva y administrador) y área operativa (Isleños y conductores).

### **6.2 Procedimientos administrativos**

Las actividades a subcontratar por medio de empresas expertas en el tema son: revisor fiscal, mantenimiento, transporte de valores y vigilancia privada

## **7. ESTUDIO LEGAL DEL PROYECTO**

### **7.1 Definición del tipo de sociedad o constitución legal**

Conforme a la legislación colombiana (Código de Comercio) y partiendo de los requisitos y características de cada una de las sociedades, se decidió considerar para el proyecto la confirmación de una sociedad de responsabilidad limitada.

### **7.2 Normatividad legal que rodeará al proyecto**

Existen licencias, permisos, decretos, etc. que rodean al proyecto en general, entre ellas se encuentran: Obtención de permisos y divulgación del proyecto, licencia Ambiental, licencia de construcción, permiso del Ministerio de Minas y Energía

La principal norma que rige el proyecto es el Decreto 8058 de 1996, por la cual se reglamenta el almacenamiento, manejo y distribución del gas natural comprimido, para uso en vehículos automotores y la conversión de los mismos.

### **Estudio económico-financiero del proyecto**

En este estudio se analiza la viabilidad económica y financiera del proyecto empleando indicadores como el valor presente neto (VPN) y la tasa interna de retorno (TIR), los cuales determinan si el proyecto es o no factible económicamente.



Para la financiación del proyecto, ésta podría realizarse a través de un préstamo de EPM. Esta empresa, ofrece la alternativa de prestar hasta un 80% del total de la inversión requerida, a un interés del DTF + 5 puntos.

El ejercicio se realizó con un préstamo del cincuenta por ciento del total de inversión (Activos fijos + Activos diferidos + Capital de trabajo). Aquí se analizaron las diferentes modalidades de pago con sus amortizaciones. La modalidad más atractiva fue la de pago único al final. En esta modalidad de pago se acumulan los intereses causados por el saldo de la deuda y se pagan al final con el monto de dinero prestado.

Se estudiaron diferentes alternativas de inversión, y se decidió realizar el estudio con una tasa de oportunidad del 20% efectiva anual. Por otra parte, esta es la tasa sugerida por la Onudi para un estudio de prefactibilidad.

Se analizó el flujo de caja operativo del proyecto, donde los ingresos representan la entrada de dinero, los egresos operacionales representan todos los gastos en los cuales se debe incurrir para llevar a cabo todas las actividades primordiales del proyecto durante su operación. Por otro lado el flujo de caja del inversionista tiene en cuenta el aporte de los inversionistas y los préstamos a largo plazo. Y el flujo de caja del proyecto no tiene en cuenta la adquisición de deuda.

En el flujo de caja del inversionista se hallaron los valores del VPN y la TIR para cada una de las diferentes modalidades de pago. Dado los resultados obtenidos en cada una de las diferentes modalidades de pago es aconsejable llevar a cabo el proyecto. Esto no solo fundamentado en que el VPN es mayor que cero, si no que el monto de este es hasta 3 veces mayor que el monto de inversión a realizar. Además el dato mas certero es la TIR la cual muestra la rentabilidad de la inversión, y en cada una de las modalidades de pago este rendimiento es mayor al 100%.

Aunque el flujo de caja del proyecto arroja valores menores a los apalancados, sus resultados son más que satisfactorios. La disminución en la rentabilidad se debe a la no deducción que se hace sobre los impuestos cuando se pagan intereses. Sin embargo, los indicadores muestran la viabilidad de realizar el proyecto.

## CONCLUSIONES

Dadas las condiciones del entorno y la tecnología existente en el medio se concluye que el proyecto es un aporte no solo para el sector sino para el país por ser la primera estación en prestar este servicio.

Dados lo flujos estimados de demanda, se pude concluir que estos son mas que satisfactorios para alcanzar unas utilidades que hacen viable llevar a cabo el proyecto pese a que el escenario en que fueron calculados es muy conservador.

Se concluye que el precio del gas al ser manejado mediante la figura de un monopolio, y teniendo en cuenta todos los costos extras que acarrear este nuevo esquema, sigue siendo, mas económico que el uso de la gasolina.

Con la tecnología existente es posible prestar el servicio que el proyecto describe sin necesidad de desarrollar estudios para la investigación y desarrollo de nueva tecnología.

Con la implementación de una sencilla estructura organizacional y subcontratación de actividades es posible operar el proyecto durante todos los periodos de una forma exitosa.

La normatividad colombiana permite un pleno desarrollo del proyecto, donde ninguna de las leyes a cumplir representan obstáculo alguno el desarrollo y operación del proyecto sino que por el contrario, estimula la inversión en el proyecto, gracias al atractivo ambiental que este representa.

Aunque la cantidad de dinero a invertir para la realización del proyecto es alta, el retorno el retorno de esta inversión se obtiene en los primeros años del proyecto.

Las utilidades generadas por el proyecto no solo hacen de este un proyecto viable, sino también atractivo.



## **BIBLIOGRAFÍA**

BACA CURREA, Guillermo. Ingeniería Económica. Bogotá: Fondo Educativo Panamericano, 2002 233 p.

GAMBOA VELÁSQUEZ, Ramiro. Curso Básico de Administración de Empresas: Finanzas. Bogotá: Norma, 1994 96 p.

GARCÍA SERNA, Oscar León. Valoración de empresas, Gerencia de Valor y EVA. Medellín: Fondo editorial Universidad EAFIT, 2003 57 p.

Empresas Públicas de Medellín. Memorias del foro "Tecnología empresarial EPM 50 años", Medellín, 2005.

## **INTERNET**

Galileo@

Galileo. Gas natural comprimido. Disponible en: <http://www.galileoar.com/2005/castellano/galileo.htm>

Minminas@

Ministerio de minas y energía. Gas natural. Disponible en: <http://www.minminas.gov.co/minminas/pagesweb.nsf?opendatabase>

# **ESTADO ACTUAL DE LA GESTION DE MANTENIMIENTO DE LAS PYMES DEL SECTOR MANUFACTURERO CON VOCACIÓN EXPORTADORA DEL VALLE DE ABURRÁ**

**JORGE ABDO ABUCHAR SUÁREZ  
OSCAR DAVID ECHEVERRI SUÁREZ**  
Escuela de Ingeniería  
Departamento de Ingeniería Mecánica

**ÁREA DE ÉNFASIS**  
MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

**ASESOR PRINCIPAL**  
ING. CARLOS MARIO TAMAYO D.

**SECTOR BENEFICIADO**  
UNIVERSIDAD EAFIT



## **RESUMEN**

El desarrollo de los mercados lleva a las empresas manufactureras, a tener cada día mas presente la gestión de mantenimiento para así poder dar respuesta a estos requerimientos a través de alta productividad, esta se logra teniendo una mantenibilidad, disponibilidad y confiabilidad de sus equipos.

“Las Pequeñas Y Medianas Empresas (PYME) son un actor estratégico del desarrollo de cualquier territorio, no solo debido a su participación en la generación de valor agregado y fuentes de empleo, sino porque gracias a su flexibilidad constituyen un dinamizador de la actividad productiva y porque juegan un papel clave en la conservación de niveles de equidad en la distribución de la riqueza” (Área, 2004,p9).

El proyecto identifico mediante una investigación, a través, de una encuesta, el conocimiento y aplicación de la gestión de mantenimiento de las PYME en el sector manufacturero del Valle de Aburra, encontrando que estas empresas tiene escaso conocimiento sobre la gestión de mantenimiento y solo enfocan sus esfuerzos en el mantenimiento correctivo.

## **ABSTRACT**

The development of the markets takes to the companies manufacturers, to have every day but it presents the maintenance administration for this way to be able to give answer to these requirements through high productivity, this it is achieved having a mantenibilidad, readiness and dependability of its teams.

“the small and medium companies (PYME) they are a strategic actor of the development of any territory, not alone due to their holding in the added value generation and employment sources, but because thanks to their flexibility they constitute a forceful of the productive activity and because they play a key paper in the conservation of levels of justness in the distribution of the wealth” (area, 2004, p9).

The project identifies by means of an investigation, to inclination, of a survey, the knowledge and application of the administration of maintenance of the pyme in the sector manufacturer of the valley of it bores, finding that these companies have scarce knowledge on the maintenance administration and alone they focus their efforts in the maintenance corrective.

## **PALABRAS CLAVE**

PYMES, Gestión, Mantenimiento, Exportaciones.

## **KEY WORD**

Pyme, Maneuver, Maintenance, Exports

## **INTRODUCCIÓN**

Colombia esta en la búsqueda de tratados de libre comercio con diferentes países; si las PYME quieren exportar deben empezar, a tener en cuenta muchos aspectos de normativas internacionales como las certificaciones, estándares en diferentes procesos de las organizaciones como el mantenimiento, las ventas, el medio ambiente, etc.

## **GESTIÓN DE MANTENIMIENTO**

“La palabra gestión se relaciona con la dirección de empresas, aplicada a un sistema técnico y social cuya función básica es crear bienes y/o servicios que contribuyan a elevar el nivel de vida de la humanidad” (De miguel, 1993,p77).

Las empresas buscan ser eficaces, eficientes y proteger la naturaleza; la gestión es el integrador para lograr estas premisas.

La gestión de mantenimiento es la planeación y ejecución de las tareas de mantenimiento para maximizar la disponibilidad de maquinaria y equipos para la producción, minimizando las fallas y paros; lográndolo con el menor costo posible, hacer más con menos.

La gestión de mantenimiento esta basada en las características que definen los diferentes tipos de mantenimientos.

Los criterios que influyen en los diferentes tipos de mantenimiento están asociados a los siguientes elementos:

### **Origen del tipo de mantenimiento**

Costos asociados con los recursos humanos y con las herramientas que se requieren para implementar un tipo de mantenimiento.

Costos de inventarios y costos de productos defectuosos, defectos reprocesamiento.

Nivel de capacitación del recurso humano.

Garantías de buen mantenimiento (Mora, 1999,p59).

La gestión de mantenimiento debe estar conformada por los siguientes criterios:

- Tipos de mantenimiento.
- Planeación estratégica.
- Presupuesto.
- Capacitación del personal.
- Costos.
- Organización.
- Selección de los repuestos.
- Fijación de los stocks.
- Selección de los proveedores.

### **PYME**

Los criterios utilizados internacionalmente para la clasificación de las empresas son los niveles de ventas, empleo y activos. En Colombia y de acuerdo con la ley MIPYME (ley 590 de 2002) se utilizan criterios de nivel de empleo y de activos.

La ley entiende por micro, pequeña y mediana empresa, toda unidad de explotación económica, realizada por persona natural o jurídica, en actividades empresariales,

agropecuarias, industriales, comerciales o de servicios, localizadas en zonas urbanas o rurales, que cumplan con los siguientes parámetros:

**TABLA 1**  
**Datos de interés sobre las PYME en Colombia**

ESTABLECIMIENTOS	
MIPYME URBANA EN COLOMBIA	TIPO DE EMPRESA
695.000	Microempresarios Informales
235.000	Microempresarios Formales
65.000	PYME
5.000	Grandes Empresas de ellas 556 en la Manufactura.
EMPLEO	
PORCENTAJE	EMPLEO
57%	Empleo Industrial
70%	Empleo Total
SECTOR MANUFACTURERO MIPYME	
PORCENTAJE	SECTOR
31%	Exportaciones no Tradicionales
30%	Producción Bruta
28%	Valor Agregado
EXPORTADORES PYME	
AÑO	PEQUEÑOS EXPORTADORES
1998	3500
2004	6800

FUENTE: <http://www.acopi.org.co>

**Microempresa:** Personal no superior a 10 trabajadores. Activos totales inferiores a 501 salarios mínimos mensuales legales vigentes.

**Pequeña Empresa:** Personal entre 11 y 50 trabajadores. Activos totales mayores a 501 y menores a 5.001 salarios mínimos mensuales legales vigentes.

**Mediana:** Personal entre 51 y 200 trabajadores. Activos totales entre 5.001 y 15.000 salarios mínimos mensuales legales vigentes (Área, 2004,p24).

## METODOLOGÍA

Para la obtención de los resultados de este artículo se desarrollaron los siguientes pasos durante la investigación que permitieron seleccionar las variables importantes para medir el estado actual de la gestión de mantenimiento en las Pymes manufactureras del Valle de Aburra con vocación exportadora.

### PASO 1. Formulación del problema

El problema radica en identificar si las empresas tienen vocación exportadora y las características del proceso de mantenimiento interno y subcontratado en las PYMES.

### PASO 2. Lista de información a recolectar

Se emplea como base de datos la guía telefónica e información suministrada por expertos en el área. Se calcula el tamaño estadístico muestral a partir de los resultados numéricos obtenidos en el paso anterior. Se diseña un cuestionario en donde los encuestados por medio de su experiencia y conocimiento lo responden. Se hace entrevistas directas por medio de la aplicación del cuestionario. Con la ayuda del software se logra identificar como es el estado actual de la gestión de mantenimiento.

### PASO 3. Planeación del diseño de la investigación

Las decisiones cursadas para llevar a cabo el trabajo empírico de investigación, en cuanto al tipo de investigación que se desea, la forma en que se recolectan los datos y el instrumento de investigación que se usa para encontrar cada uno de los datos requeridos.

### PASO 4. Proceso de muestreo

El paso a desarrollar contiene la definición de todas las características relacionadas con el universo, tipo de muestreo, tamaño de la muestra, especificación del marco muestral, detalles del elemento muestral, plan de muestreo, etc., en sus diferentes facetas en las investigaciones a realizar.

### **PASO 5. Ejecución del trabajo del campo**

Los autores del proyecto realizan este paso, el cual consta básicamente de la recolección de los datos con el instrumento de medición. Para la recolección de los datos se utilizan los siguientes medios: entrevistas personales, correo electrónico, llamadas telefónicas y visitas a empresas.

### **PASO 6. Análisis de los datos**

Los cuestionarios terminados deben ser revisados para verificar si están completos y corregir toda anomalía o error que se presente. Luego se procede con la tabulación, por medio de un software. Una vez totalizados los datos se procede a su análisis con la ayuda de la estadística.

## **CONCLUSIONES**

Se observa que las PYMES del sector manufacturero con vocación exportadora del Valle de Aburrá, piensan que los factores más influyentes en el momento de exportar sus productos son: la producción y las ventas; se hace énfasis en no poder tener un equilibrio entre estos dos aspectos al momento de realizar negociaciones con clientes extranjeros, para estas empresas el mantenimiento de equipos se encuentra en el quinto lugar de importancia al momento de realizar dicha actividad, lo cual indica que las empresas desconocen que la producción y la gestión de mantenimiento tienen una relación directa, de la cual se puede obtener el equilibrio necesario para poder exportar.

Se encuentra que el 56.7% de las PYMES encuestadas poseen un departamento de mantenimiento formalmente constituido, lo cual es un porcentaje bajo, si se tiene en cuenta que este es un aspecto importante en el momento de realizar una adecuada gestión de mantenimiento, realizar negociaciones con empresas extranjeras, obtener certificaciones (nacionales e internacionales), tener conocimiento del proceso productivo, disminuir los reprocesos, disminuir tiempos de paro, tener mejor relación con los proveedores de mantenimiento, lograr una mayor eficiencia en los equipos de producción y tener una mayor confiabilidad en los mismos.

En las PYMES en las que existe un departamento de mantenimiento, se observa que la persona a cargo de la gestión es principalmente el jefe del departamento y en las que este no existe, el encargado, en la mayoría de los casos es el jefe de producción, lo que implica que las decisiones tomadas son más empíricas que técnicas.

El 60% de las PYMES en cuestión imparten capacitación a su personal asignado al mantenimiento de los equipos, siendo esto bajo porque la capacitación y el conocimiento de los procesos utilizados para la producción ayudan a mejorar el desempeño de la empresa, con miras a aumentar la productividad y la calidad de los productos a exportar.

La capacitación que se le brinda al personal de mantenimiento es de tipo interna y externa, esta se realiza cuando la empresa o el personal requiere adquirir un conocimiento determinado para ejecutar correctamente una labor o para lograr un beneficio en la empresa.

Los programas de capacitación permiten a las organizaciones entrenar su recurso humano de acuerdo a sus lineamientos estratégicos de misión y visión y así optimizar sus recursos de tiempo y dinero. La capacitación es una forma sólida de dirigir el cambio desde la organización hacia la persona y que ayuda a suplir deficiencias de la educación perteneciente a la fuerza laboral.

El área de soldadura es en la que más se imparte capacitación seguida de mantenimiento, calidad y lubricación, ya que estos son aspectos importantes dentro de las tareas que se deben realizar en cualquier empresa; estas capacitaciones las brindan en su mayoría los proveedores de insumos necesarios para el mantenimiento.

En las PYMES el tipo de mantenimiento más realizado son las reparaciones de emergencia (mantenimiento correctivo); seguido del preventivo, que es la realización según programas establecidos; también aparece el mantenimiento programado, que son los cambios de repuestos a intervalos fijos, estos son recomendados por los proveedores de los equipos.

Cuando los equipos se paran por un daño, se observa como en un porcentaje importante de las PYMES el equipo es reparado y se realizan anotaciones y en un porcentaje muy similar se realiza la reparación sin ningún tipo de control, y tan solo es llevado el control en un bajo porcentaje de estas.

En la mayoría de las PYMES del sector no se realizan mejoras o modificaciones a sus equipos con el fin de facilitar el mantenimiento, esto podría ser debido a que en la mayoría de estas desconocen la importancia del mantenimiento para la vida útil de sus equipos.

Las PYMES con vocación exportadora realizan mejoras en sus equipos para mejorar la producción, ratificando que es más importante producir que mantener.

La mayoría de las PYMES objeto de estudio (63%) cuentan con hojas de vida para sus equipos, de estas su mayoría (58%) no las tienen actualizadas. La hoja de vida de la máquina es primordial en la planeación de la gestión de mantenimiento, ya que en ella se registran los tiempos de las intervenciones, las actividades realizadas y sus causas entre otros datos que son fundamentales para el control, seguimiento y futuras manipulaciones de la máquina.

Al indagar sobre cual es el objetivo del mantenimiento en su empresa, se encontró que no existe una claridad sobre este aspecto, porque no se halló uno en común, esto implica que cada empresa esta buscando un objetivo particular de acuerdo al grado de gestión que tienen implementado.

En la mayoría de las PYMES del sector los procedimientos para los mantenimientos de los equipos se basan en la experiencia de los trabajadores, y en un bajo porcentaje se tienen en cuenta la información suministrada por el fabricante, la información de otros catálogos similares y guías internas de procedimientos.

Con un 43.3% de PYMES que sólo realizan mantenimiento cuando se requiere, se evidencia la alta cantidad de empresas que no tiene programas de mantenimiento establecidos.

Se observa que la información recolectada de los mantenimientos es almacenada aun en mayor medida en archivadores; los mas preocupante es que hay un porcentaje elevado que no lleva ningún sistema de almacenamiento de información, llegando a que no se identifiquen y analicen los problemas repetitivos del los equipos.

La gran mayoría (96.7%) de las PYMES subcontratan mantenimiento cuando se requiere; siendo en su gran mayoría eléctrico, electrónico, manufactura de repuestos y mecánico; ya que esta subcontratación trae como beneficio la especialización por parte del contratista.

El presupuesto para mantenimiento es tenido en cuenta, pero no es asigna directamente al área de mantenimiento, distribuido en un 23.3 % en el presupuesto general de la empresa; 23.3% en el presupuesto de producción y 30% a las funciones de mantenimiento.

El control de los costos de mantenimiento no se realiza en un alto porcentaje, esto podría ser porque el manejo de la información no es el más adecuado o por los diferentes objetivos que persiguen las PYMES al realizar las tareas.

La persona a cargo de gestionar la adquisición de repuestos es compras, esto puede traer consecuencias negativas ya que estos no son conocedores del tema de mantenimiento y solo basaran los criterios de compras en los costos de estos.

Un alto porcentaje de las PYMES no tiene información y/ o clasificación de los proveedores de mantenimiento y no realizan evaluación de estos, esto combinado con la falta de criterios en el manejo de los inventarios y seguimiento de los proveedores, lleva a tener un problemas de logística a la hora de comprar y almacenar los insumos necesarios para la gestión de mantenimiento.

Más del 75% de las PYMES del sector no se encuentran certificadas en ningún tipo de norma, en la mayoría de los casos contestaron que se estaban certificando.



El mantenimiento correctivo se presenta en gran porcentaje en todas las empresas encuestadas, este consiste básicamente en la reparación de las fallas a medida que ocurren. Su gran inconveniente es que se presentan en forma imprevista; no siempre contándose con los recursos humanos y de repuestos necesarios para su reparación, interrumpiéndose bruscamente los procesos productivos e incrementando los costos de la intervención. Por lo que es prioridad disminuir el mantenimiento correctivo utilizando todo los elementos presentes en la gestión de mantenimiento.

La evaluación de la gestión de mantenimiento no debe basarse únicamente en Producción, si no, en la relación del servicio que preste mantenimiento. Por lo cual los indicadores evaluativos deben apoyarse en criterios como nivel de mantenimiento prestado, cantidad de actividades realizadas exitosamente, cantidad de reclamos, cantidad de servicios normalizados y homologados, calificación del recurso humano, tiempo promedio de solución de problemas y la mejora continua. Esto demuestra que la actividad de mantenimiento es definida como una empresa generadora de servicios.

Luego de la observación que se realizó al sector, se puede decir que este desconoce los beneficios de la gestión de mantenimiento, debido al temor a los altos costos o a la falta de recursos; el mantenimiento está subvalorado por el sector.

## **RECOMENDACIONES**

Para la búsqueda de nuevos mercados es necesario conocer, las diferentes certificaciones que existen, es necesario realizar un estudio que indique que beneficios trae esto para las empresas.

A través de este proyecto se dio una luz sobre el estado actual de la gestión de mantenimiento del sector manufacturero; unas nuevas líneas de investigación sería cada uno de los subsectores presentes con el fin de buscar el que se encuentre en mejor gestión y poder replicar su experiencia a los demás subsectores.

La gestión de mantenimiento es eficiente, cuando todas las áreas de la empresa están todas involucradas en dicho proceso por tal motivo es necesario involucrar a todas las personas en esto, desde el gerente hasta las personas de ventas, para así poder lograr la optimización de la gestión.

Debido a las falencias encontradas en la gestión de mantenimiento es posible encontrar ideas de negocio para poder suplir dichas falencias, para realizar esto hay que tener presente que para los pequeños y medianos empresarios es importante el costo beneficio, por tal motivo a desarrollar un idea de negocio es necesario establecer los beneficios que trae y sus costos.

## **BIBLIOGRAFÍA**

### Referencias Tomadas de Libros

AREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ. Mejoramiento de las PYMES del Valle de Aburrá: Medellín – Colombia: Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia, 2004. pp. Completo.

AREVALO DAVILA, Jorge Eduardo. Montaje de un plan de mantenimiento para un ente gubernamental. Medellín, Colombia. 1992. Proyecto de grado. Universidad EAFIT. Departamento de Ingeniería mecánica.

BORDA E., Javier M. Aplicaciones de la inteligencia artificial en mantenimiento. En: Revista de mantenimiento. Barcelona, Cataluña, España: Runtex, 1987.

BOYD, Harper W; WESTFALL, Ralph y STACH, Stanley F. Investigación de Mercados. México: Noriega Limusa, 1993. P.31. ISBN 8427410093

CABREJOS, Belisario. Investigación de mercadeo. 2 ed. Medellín, Colombia: Centro de publicaciones Eafit. 1989. P. 35, 82-83, 295, 301-303, 318.

CIFUENTES ECHEVERRI, Gustavo Adolfo- SIMPEQ Sistema integral de mantenimiento de plantas

- y equipos. Medellín, Colombia. 1998. Proyecto de grado. Universidad EAFIT. Departamento de Ingeniería mecánica. P. 63.
- CHURCHILL, Gilber A. Marketing Research: methodological foundations. 3 ed. U.S.A: The Dryden Press, 1983.
- DE MIGUEL FERNÁNDEZ, Enrique. Introducción a la gestión "Management". Volumen I y II. Departamento de organización de empresas, Economía financiera y contabilidad. E.T.S.I. Industriales. Universidad politécnica de Valencia .Valencia, España. 1993. P. 77
- ECHVERRI CASTRO, Juan Manuel. Diseño e implementación de un sistema de administración y control de mantenimiento. Medellín, Colombia. 1987. Universidad Eafit. Departamento de Ingeniería mecánica.
- FRANK, Ronald E. y KUEHN, Alfred A . Análisis de mercados. Técnicas cuantitativas: Trillas,1969. P. 39-40
- GASPARO, M. Le responsable maintenance et les bases de dones. Congreso 119 internacional Francófono de mantenimiento. Lieja, Bélgica. Marzo 1984.
- HAMRICK, James. Eastward with T.P.M. and C.M.M.S. Review Maintenance Industrial Engineering. U.S.A. October 1994.
- HENAO PÉREZ, Juan Fernando. Fundamentos de economía y macroeconomía colombiana. Un análisis de las empresas.1 ed. Medellín, Colombia: Pontificia Bolivariana.2000. P. 81-85. ISBN 958-696-121-4.
- HERMIDA, Jorge Alfredo. La crisis de estructura en la pequeña empresa. En: Revista Administración de empresas. Bogotá, Colombia: Marzo, 1978. P. 396-405. ISSN 03253724.
- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACION. Compendio Tesis y otros trabajos de grado 2004. Bogotá – Colombia: ICONTEC, 2004. 109 p. (NTC 1486).
- JOHNSON, Richard A. Probabilidad y estadística para ingenieros de Miller y freund. 5 ed . México: Prentice Hall Hispanoamericana, S.A.1997.ISBN 968-880-961-6. ISBN 0130417734
- KOTLER, Philip; ARMSTRONG, Gary; SAUNDERS, John y WONG, Verónica. Introducción al marketing. 2 ed . Madrid, España: Prentice Hall , 2001. P. 147-153. ISBN 8483221780.
- MORA Gutiérrez, Luís A. Selección y jerarquización de las variables importantes para la gestión de mantenimiento en empresas usuarias o generadoras de tecnologías avanzadas. Medellín, Colombia. 1999. Tesis doctoral. Universidad politécnica de Valencia. Departamento de organización de empresas. P. 56 s1-57 s1, 75 s1-81 s1, 330
- MUÑOZ RAZO, Carlos. Como elaborar y asesorar una investigación de tesis. 1 ed. México : Prentice Hall Hispanoamericana, S.A.1998. P. 7, 207-216. ISBN 970-17-0139-9.
- NAVARRO Elola, Luís; PASTOR Tejedor, Ana Clara y MUGABURU Lacabrera, Jaime Miguel. Gestión integral de mantenimiento. Marcombo Boixerau Editores. Barcelona, España, 1997. ISBN 8426711219.
- NEWBROUGH, E.T. Personal de Albert Ramond y asociados, Inc. Administración del mantenimiento industrial. Editorial Diana. 6 ed. México, México. 1982. P. 115
- REY Sacristán, Francisco. Hacia la excelencia en mantenimiento. Editorial TGP Hoshin, S.L. Madrid, España. 1996.
- ROY, Ewell Paul. Cooperativas: Hoy y mañana. Editorial. Albatro S.R.L. Londres. Inglaterra. 1994. pp. 43-71.

RUIZ, Jorge y LOPERA Jairo. Estrategias para el manejo de servicios educativos en Ingeniería Mecánica en la Universidad Eafit. Facultad de Ingeniería Mecánica. 2002. P. 49, 68.

SOURIS, Jean Paul. El mantenimiento: fuente de beneficios. Editorial Díaz Santos, S.A. Madrid, España. 1997. P. 1-9, 70-74.

----- . Les editions d'organisations. Edición en español por Editorial Díaz Santos, S.A. Madrid, España. 1992. P. 1-9, 70-74.

SCHULTZ, G. Multiple routes to pre-planned maintenance. Review Managing Automation. U.S.A. December, 1996. P. 42.

TAMAYO Domínguez, Carlos Mario. Guía para la elaboración de modelos de gestión del mantenimiento industrial. Medellín, Colombia. 1998. Trabajo de grado para. Universidad Eafit. Escuela de postgrado. P. 24

VENKATESAN, M .Proceedings: 3rd Annual conference Association for Consumer Research. Association for Consumer Research.U.S.A:College Park, Md.1972. ISBN 09054840451.

VILLEGAS, Humberto; GUARIN, Álvaro. Estado del Arte de los sistemas flexibles de manufactura en el sector metalmecánico en Colombia. Medellín, Colombia 1999. Proyecto de investigación ingeniería de Producción Universidad EAFIT. P. 4

VILLEGAS Londoño, Carolina. Investigación sobre la posibilidad de implementar la función de mantenimiento en LUNSA, un grupo de PYMES del sector ladrillero. Medellín, Colombia. 2000. Tesis de grado. Universidad Eafit. Departamento de Ingeniería mecánica. P. 2-26, 36, 44-45

VILLEGAS López, Gustavo Adolfo. Criterios que debe tener en cuenta una empresa usuaria de servicios de mantenimiento para tomar la decisión de desarrollar dicho departamento internamente o contratarlo 122 externamente. Simposio internacional de mantenimiento ACIEM. Bogotá, Colombia. 1998.

## INTERNET

Bartle@:

BARTLE, Phil. Registro de las observaciones y análisis. [en línea]. [citado el 16 de Marzo de 2005]. Disponible en: <http://www.scn.org/ip/cds/mpfc/modules/mon-reps.htm>

Cuestionario@:

OSORIO ROJAS, Ricardo Arturo. El cuestionario. [en línea]. [Citado el 16 de abril de 2005]. Disponible en: <http://www.nodo50.org/sindpitagoras/Likert.htm>

Aldia@

Investigación al día. La entrevista de selección personal vista desde los enfoques. [en línea]. [citado el 13 de marzo de 2005]. Disponible en: <http://www.cem.itesm.mx/dacs/publicaciones/proy/n6/investigacion/igonzalez.htm>

Diseño@:

Department of Language & Linguistics University of Essex. Diseño de formas para la recolección de datos. Tipos de preguntas. [en línea]. [citado en 10 de marzo de 2005]. Disponible en: <http://sever2.southlink.com.ar/vap/formas%20de%20recoleccion.htm>

Gonzalez@

GONZALEZ, Rafael Muñoz. La Investigación de Mercados. Proceso de la Investigación de mercados II. [en línea]. [citado el 16 de marzo de 2005]. Disponible en: <http://www.marketing-xxi.com/proceso-de-la-investigacion-de-mercados-ii-25.htm>

Metologia@:

Metologia observacional y cuasi-experimental en psicología. La observación en la investigación científica. [en línea]. [citado el 11 de Marzo de 2005]. Disponible en: <http://www.uv.es/hbaeza/disparte1.doc>

Personal@:

La entrevista personal. [en línea]. [citado el 23 de marzo de 2005]. Disponible en: <http://es.careers.yahoo.com/oposiciones/tutor/entrevista/personal.htm>

Preventivo@:

Preventivo. Como realizar un mantenimiento preventivo? [en línea]. [citado el 11 de febrero de 2005].

Disponible en:

<http://www.expert.com.mx/spa/prod/mttoprev.htm>

México

Proyecto@:

Proyecto DFID Colombia. Como elaborar encuestas para fortalecer el trabajo de su organización? [en línea].

[citado el 11 de febrero de 2005]. Disponible en:

<http://www.proyectodfidcolombia.org/molino/11/encuestas.htm>

**ESTUDIO DE  
IMPLEMENTACIÓN DE  
GASOLINA CORRIENTE  
+ 10% ALCOHOL  
CARBURANTE EN TODOS  
LOS VEHÍCULOS RENAULT  
ENSAMBLADOS  
EN SOFASA PARA  
LA REDUCCIÓN DE COSTOS  
Y MEJORAMIENTO  
DE LOS ÍNDICES DE  
EMISIÓN DE GASES**

**JUAN CARLOS GÓMEZ FRANCO**  
*jgomezf2@eafit.edu.co*  
Departamento de Ingeniería Mecánica

**AREA DE ÉNFASIS**  
PROYECTOS

**ASESOR PRINCIPAL**  
GERMÁN FORERO GARZÓN

**SECTOR BENEFICIADO**  
SOFASA

## **RESUMEN**

Como proyecto de empresa y trabajo de grado se realizó un estudio detallado del comportamiento, los requerimientos, necesidades y compromisos a mediano y largo plazo de la implementación del Biocombustible en todos los vehículos Renault, con el fin de responder a las expectativas de reducción de costos que tiene proyectada la compañía.

Una vez planteada la posibilidad de obtener un ahorro en SOFASA por medio de la utilización de Biocombustible, se procedió a realizar reuniones de seguimiento periódicas con el asesor con el fin de garantizar el cumplimiento de las tareas previamente establecidas en el cronograma de trabajo.

Se utilizó la metodología apropiada para dar solución a las necesidades y aportar al mejoramiento continuo, minimizando los costos y aminorando los índices de emisión de gases. Además se realizaron una serie de ensayos prácticos obteniendo así, resultados positivos considerables en cuanto al desempeño.

## **INTRODUCCIÓN**

SOFASA como empresa ensambladora y comercializadora de vehículos Renault y Toyota se está preparando para asumir el reto de ser una planta competitiva a nivel mundial.

La producción total de automotores en Colombia para el año 2005 fue de 146.037 vehículos aproximadamente mostrando un aumento satisfactorio para la industria automotriz comparado con el año anterior.

El panorama para el presente año muestra un marco positivo para la industria colombiana y en especial el sector automotriz; lo cual condiciona a la industria en general a crear políticas y estrategias encaminadas al crecimiento y competitividad.

La competencia para ensamblar y comercializar vehículos es dura y compleja por la multiplicidad de

marcas, donde las exigencias de los clientes son cada vez mayores en cuanto a precio, calidad y confort. Es el mercado el que hace que surjan nuevos proyectos para satisfacer las necesidades del cliente y mejorar el posicionamiento de la marca.

El contexto actual del mercado automotor demanda para las ensambladoras una serie de compromisos encaminados al aumento de productividad, conservación de los recursos naturales y ganancias en costos.

Una de las directrices de la compañía es reducir los costos de producción de los vehículos a través de mejoras cuantitativas en el tiempo.

A raíz de esto, SOFASA desde hace más de una década, ha venido preparándose para enfrentar el reto que impone la libre competencia en el mercado automotor, cada vez más sorprendente por su acelerado desarrollo. Lo que en un principio fue un instinto de supervivencia se convirtió poco a poco en una filosofía de trabajo orientada a la excelencia operacional (Comercial, Industrial, Financiera y Humana).

SOFASA es una empresa caracterizada y reconocida por fomentar el crecimiento y desarrollo industrial del país, aportando al mejoramiento de la economía del país, con la creación de empleos y un aumento sustancial de la actividad industrial en lo que concierne a todos los eslabones de la cadena de abastecimiento.

Con el aumento de cadencia, los proyectos y series especiales en las gamas de Renault y Toyota se ve la necesidad de realizar una evaluación acertada que indague sobre la disminución de los costos y conservación del medio ambiente.

## **OBJETIVOS**

### **GENERAL**

Evaluar el comportamiento e implementar el uso del Biocombustible en todos los vehículos de la gama Renault para reducción de costos y mejoramiento en los índices de contaminación.

### **ESPECÍFICOS**

Implementar el uso del Biocombustible en todos los vehículos Renault ensamblados por la planta de SOFASA.

Cumplir con la política nacional, la cual reglamenta mediante la Ley 693 del 2001, que las gasolinas fueran mezcladas con un 10% de alcohol carburante.

Comparar el antes y el después con las propuestas de mejora, con indicadores Económicos, Emisión Gases, Pruebas de Banco, Ensayos y Curvas Rendimiento.

Evaluar el desempeño del Biocombustible: Gasolina Extra vs. Gasolina Corriente + Alcohol.

### **CÓMO SE PRESENTA EL PROBLEMA**

Colombia en escasos dos años estará abocada a un desabastecimiento de petróleo. Las consecuencias de orden fiscal causarán más pobreza y muchas dificultades al Estado, porque los escasos recursos que tenga, los deberá dedicar a la compra en el exterior de los hidrocarburos que el país necesita para mantener, como mínimo, el nivel de desarrollo actual. Los aumentos de precios de los combustibles empobrecerán al consumidor y frenarán el desarrollo. Solamente el empleo de combustibles alternativos ayudará a lidiar las consecuencias de la pérdida de la autosuficiencia petrolera, en momentos en que los precios del petróleo se mantendrán muy elevados, porque el consumo mundial creciente copa la actual producción. Por esa razón, la entrada al mercado nacional del alcohol etanol con origen en la biomasa no solo es deseable sino necesaria.

SOFASA como empresa ensambladora y comercializadora de vehículos Renault y Toyota se está preparando para asumir el reto de ser una planta competitiva a nivel mundial.

El contexto actual del mercado automotor demanda para las ensambladoras una serie de compromisos



encaminados al aumento de productividad, conservación de los recursos naturales y ganancias en costos.

El área de experimental, la cual pertenece a la división ingeniería de vehículo, está encargada de validar los vehículos, evaluar su comportamiento en el tiempo y el de las piezas de origen local y CKD que lo componen. Esta unidad es de gran importancia en el desarrollo de piezas locales, ya que finalmente son quienes le garantizan al cliente final, la fiabilidad y desempeño del vehículo y sus piezas en el tiempo. Por esto, esta área constantemente trabaja para mejorar su capacidad de evaluación, con miras a entregarle al cliente final un producto menos costoso, de mayor confiabilidad y menos contaminante.

Con las amenazas de los acuerdos de libre comercio y la necesidad de fabricar vehículos competitivos para ser elegibles por las casas matrices, SOFASA evalúa todas las oportunidades que le permitan apuntar a este objetivo de competitividad. Es por esto que la utilización de un Biocombustible se convierte en una oportunidad para la disminución de los costos y conservación del medio ambiente.

## **RAZONES DE SELECCIÓN**

Las razones para la selección del tema se basan en tres aspectos que están directamente direccionados al problema:

### **Crisis petrolera**

La escasez de petróleo es un problema mundial y Colombia no es ajena ante dicha realidad. En Colombia, el fracaso se debe a la política de exploración por parte de ECOPETROL, ya que en los últimos cuatro años se invirtieron U\$ 304 millones de dólares en exploración y no se encontró un solo yacimiento comercial.

Ante el fracaso de la política petrolera, se debe incentivar el uso de Biocombustibles debido a:

Sólo hasta el 2007, será posible cubrir la demanda de las refinerías de Barrancabermeja y Cartagena con petróleo de la Nación (petróleo de ECOPETROL).

A partir del 2007 será necesario que ECOPETROL le compre petróleo, a precios internacionales, a las multinacionales que operan en el país.

ECOPETROL dejará de exportar excedentes de petróleo a partir del 2007.

El total de la producción nacional de petróleo perteneciente a ECOPETROL, multinacionales privadas y regalías solo alcanzará para cubrir la demanda de las refinerías hasta el 2009.

A partir del 2009 Colombia dejará de ser autosuficiente y comenzará a importar masivamente petróleo, importación que aumentará con el tiempo y ahí comenzará la crisis petrolera del país.

Las exportaciones de crudo comenzaron a disminuir considerablemente a partir del 2004.

La Balanza Comercial será deficitaria, probablemente a partir del 2010.

Los recursos transferidos por la Nación a las entidades territoriales, debido a esta crisis petrolera, se reducirán considerablemente por la inminente reducción de las regalías.

La disminución en la producción de petróleo así como la disminución en los ingresos de ECOPETROL generará un déficit público y un recorte de la inversión pública.

### **Aumento de producción y necesidad disminución de costos**

La competencia (GM y MAZDA), los vehículos importados, el TLC y el aumento en la producción, ha conllevado a que en SOFASA, se planteen estrategias, con el fin de reducir los costos de fabricación de los vehículos.

Mediante la implementación de Gasolina Corriente más un 10% de alcohol Carburante, en vez de la gasolina extra que se utiliza actualmente, se reducen considerablemente los costos de fabricación de los vehículos Renault.

## **Cumplimiento de la legislación ambiental y mejoramiento índices de contaminación**

SOFASA, como empresa líder en el sector automotor, es consciente del compromiso ambiental que tiene con el país. Por esto, desde hace varios años ha venido realizando una serie de inversiones que le permiten contar con una tecnología y una cultura orientadas al mejoramiento de sus procesos de producción y al control de la contaminación que genera.

Igualmente, los adelantos tecnológicos de las casas licenciadoras permiten a la Empresa ofrecer, a los clientes de los países donde tiene presencia, vehículos cuyas emisiones de gas están controladas por sistemas cada vez más perfeccionados. Con ello se pretende responder a la necesidad mundial de dar bienestar al planeta.

Mediante la implementación de la Biogasolina no sólo se contribuye con la política gubernamental (Ley 693 año 2001), sino que además, se disminuye la contaminación del medio ambiente.

## **ENSAYOS DE VALIDACIÓN**

Para efectos de este trabajo de evaluación del comportamiento del Biocombustible vs. la gasolina extra en los vehículos Renault, se efectuaron las siguientes pruebas, las cuales se explican a continuación:

- Pruebas de banco.
- Pruebas de emisiones.
- Pruebas de ruta.
- Pruebas en planta.

### **Pruebas de Banco**

Son pruebas que se hacen sobre los vehículos para determinar su torque y potencia. Se efectuaron sobre todos los vehículos de la gama Renault ensamblados en SOFASA.

Mediante estas pruebas se evaluó el comportamiento de la Gasolina Extra vs. Gasolina Corriente + 10% de

alcohol carburante y se estableció la factibilidad de dicho cambio.

Luego de analizar detenidamente las curvas de par y de potencia obtenidas, se evidencio:

Que a partir de 2200 RPM (cuando el motor realmente es eficiente) la potencia del Biocombustible es superior en aproximadamente 3.2%. Igualmente una mejora de iguales proporciones se refleja en el par entregado a la rueda del vehículo.

Las curvas de par empiezan ascendiendo hasta llegar al régimen de rendimiento máximo. A partir de este momento, el par prácticamente se estabiliza.

En las curvas de potencia, se puede observar que con el aumento de las revoluciones, su crecimiento es casi lineal con una pendiente importante, suministrando a altas revoluciones un par motor suficiente para cumplir con la demanda generada por el cilindraje de los motores. Este comportamiento es similar para los motores analizados en este estudio. Su cilindraje oscila entre 1200 (Twingo) a 1600 cm<sup>3</sup> (Megane).

La supremacía de las curvas obtenidas mediante la utilización de la Biogasolina, se debe a que la combustión es más limpia (pura), gracias a una mayor cantidad de Oxígeno en la mezcla.

### **Pruebas de emisiones**

Son pruebas que se hacen para determinar los niveles de emisiones de gases. Los niveles controlados son HC y CO para vehículos a gasolina.

### **Pruebas de Ruta**

Son pruebas que se hacen de los vehículos en el territorio Colombiano, con el fin de evaluar su comportamiento. Se realizaron en este proyecto para establecer las diferencias de consumo entre la Biogasolina y la Gasolina Extra, detectar anomalías y/o posibles problemas de funcionamiento que un cliente normal pudiese detectar.

## Ensayos en Planta

Son pruebas que se hacen sobre lotes de vehículos de producción. En el caso de este proyecto, se realizó sobre un lote industrial de 35 vehículos, a los cuales se les suministró 2 galones de Gasolina Corriente + 10% alcohol carburante.

## SÍNTESIS DE RESULTADOS

Este tipo de ensayo fue el último realizado, ya que este genera un impacto directo sobre el cliente final. Se realizó con el fin de corroborar la conformidad de todos los ensayos realizados anteriormente y para obtener el aval por parte de todas las áreas implicadas (Ingeniería, Calidad, Fabricación y Comercial) de SOFASA.

RESULTADOS OBTENIDOS POR IMPLEMENTAR GASOLINA CORRIENTE + 10% ALCOHOL CARBURANTE				
ÍTEM	PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO	OBSERVACIONES
1	Ahorro / Vehículo	pesos ml	Proyección: \$ 3.900	Varía, según la diferencia entre los precios de los combustibles.
2	Ahorro / año (2006)	pesos ml	Proyección: \$ 176.638.800	Varía, según la producción SOFASA y la diferencia entre los precios de los combustibles
3	Reducción Emisiones Monóxido Carbono	%	15-20	
4	Reducción Emisiones Hidrocarburos	%	25	
5	Aumento de Potencia	%	3.2	
6	Aumento de Torque	%	1.2	
7	Estándar Cotación Renault	1-10	7	Calificación aceptable (franja verde). El vehículo cumple satisfactoriamente con las prestaciones. Buena aceptación por parte del cliente.
8	Inspección Pista de Pruebas	----	Sin anomalías reportadas	

## COMENTARIO

La implementación en producción, no se realizó, ya que no se cuenta todavía con la aprobación de la casa licenciadora Renault y obtener dicha aprobación se sale del alcance de este proyecto.

De todas maneras los ensayos hechos en este proyecto muestran un comportamiento conforme de los vehículos evaluados con el Biocombustible, lo cual es un elemento clave para Renault para poder dar su aprobación.

## CONCLUSIONES

Con la implementación de la Biogasolina se disminuyen las emisiones de Monóxido Carbono (CO) en un 20% e Hidrocarburos (HC) en un 25%, y se obtiene un mejoramiento de un 3.2% en promedio en la potencia del motor, por efecto del mayor octanaje.

La actual crisis petrolera y la preservación del medio ambiente ha conllevado a la humanidad en busca de nuevas tecnologías y nuevas formas de combustibles alternos.

Dado que este alcohol tiene un octanaje de 130, al agregar 10% de alcohol a la gasolina, se eleva su índice antidetonante a 85 octanos, lo cual mejora sustancialmente la combustión y la eficiencia del motor.

Mediante la utilización de alcohol carburante, se obtiene pérdida de dependencia de precio internacional de petróleo y de la oscilación de la tasa de cambio.

Con la implementación de dicha Biogasolina, se asegura reducir los costos de fabricación en más de un U\$ dólar (\$3.900 pesos).

Mediante las pruebas de ruta y de banco, se validó y se corroboró el correcto funcionamiento del Biocombustible en el territorio Colombiano y se confirma que según pruebas en local la aplicación de la Ley 693 del 2001, es posible para el primer semestre del año 2007, que es cuando se espera que llegue la Biogasolina al territorio Antioqueño.

La adición de 10% en volumen de etanol a la gasolina genera una mejora en la calidad del combustible, no sólo por la presencia de oxígeno dentro de la mezcla lo cual ayuda a mejorar la combustión, sino porque se tienen reducciones de los contenidos de azufre, aromáticos, y olefinas, causantes de la corrosión y depósitos en el sistema de admisión, básicamente por el efecto de dilución que se presenta con el etanol.

## GLOSARIO

**ALCOHOL CARBURANTE.** Es un producto natural que se obtiene mediante la fermentación de los jugos de cultivos como la caña de azúcar, el maíz, la yuca, y la remolacha, entre otros. Luego se destila en una planta de tratamiento, se deshidrata y se desnaturaliza.

**BIOGASOLINA (GASOHOL).** Gasolina Oxigenada con 10% de etanol (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH) proveniente de fuentes renovables.

**BIOMASA.** Es la cantidad de materia seca de origen animal o vegetal, que se encuentra en una determinada área del terreno.

**CASA LICENCIADORA.** Empresa que ha otorgado a SOFASA la licencia para ensamblar, comercializar y dar respaldo posventa a los vehículos de su marca (Renault – Toyota).

**CKD.** Complement knock down. Pieza suministrada por la casa licenciadora.

**COMBUSTIBLE OXIGENADO.** Es la gasolina corriente motor y/o extra, mezclada con un porcentaje de alcohol carburante, el cual aporta moléculas de oxígeno a la mezcla con gasolina. Este producto, al hacer combustión en el motor de los vehículos, reduce las emisiones de gases contaminantes que afectan el medio ambiente. Sus especificaciones de calidad técnica y ambiental son reglamentadas por los Ministerios de Minas y Energía y de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, según sus competencias. Para tales efectos a al “gasolina corriente oxigenada” y “gasolina extra oxigenada”, también se les denomina: Biogasolina.

**GASOLINA.** Es una mezcla de hidrocarburo derivada del petróleo, utilizada como combustible en motores de combustión interna de encendido por chispa.

**GASOLINA CORRIENTE BÁSICA.** Es un combustible diseñado para motores de encendido por chispa. En

el mercado colombiano se comercializa como gasolina corriente.

**GASOLINA CORRIENTE OXIGENADA.** Es una gasolina corriente básica mezclada con alcoholes carburantes, en una proporción controlada y reglamentada.

**GASOLINA OXIGENADA:** Es una mezcla de Gasolina con un compuesto que contiene oxígeno en su molécula.

**OCTANAJE.** Propiedad antidetonante del combustible.

**PAR O TORQUE.** Es el esfuerzo de giro expresado en kilos x metros. Es un número que expresa el valor de la fuerza de torsión.

**POTENCIA.** La potencia es trabajo mecánico que incorpora en su valor el parámetro tiempo. Es decir, la potencia se expresa con un número que cuantifica el trabajo efectuado durante un lapso de tiempo. Mientras más rápido se realiza el trabajo la potencia que se desarrolla es mayor.

## TÍTULOS PUBLICADOS EN ESTA COLECCIÓN

Copia disponible en: [www.eafit.edu.co/investigacion/cuadernosdeinv.htm](http://www.eafit.edu.co/investigacion/cuadernosdeinv.htm)

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

Biocatalíticos -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**

Maria Alejandra Calle  
Departamento de Negocios Internacionales  
Escuela de Administración

**Cuaderno 58 - Agosto 2007**  
**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