



Cuadernos de Investigación

ARTÍCULOS DE LOS PROYECTOS DE GRADO REALIZADOS POR LOS ESTUDIANTES DE INGENIERÍA MECÁNICA QUE SE GRADUARON EN EL 2007

Ingeniería Mecánica

ISSN 1692-0694. Medellín. Septiembre de 2008. Documento 67 - 092008

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

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN. ABSTRACT. AUTOR	7
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA INTERFASE FÍSICA DE USUARIO PARA UN SIMULADOR VIRTUAL DE CIRUGÍA LAPAROSCÓPICA	9
ESTUDIO DE LOS PROCESOS HOMOGÉNEOS Y NO HOMOGÉNEOS ASOCIADO AL COMPORTAMIENTO DE LA CONFIABILIDAD EN LOS SISTEMAS REPARABLES	18
PROGRAMA EVALUADOR DE CONFIABILIDAD, MANTENIBILIDAD Y DISPONIBILIDAD PARA UNA EMPRESA TEXTIL DEL VALLE DEL ABURRÁ	25
EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE LA METODOLOGÍA DE DIAGNÓSTICO TÉCNICO MULTIDIMENSIONAL BASADA EN EL SVD	31
RELACIÓN ENTRE EL MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL Y LA LOGÍSTICA EN LAS INDUSTRIAS	40
IDENTIFICACIÓN DE CARACTERÍSTICAS ORGANIZACIONALES EN LA IMPLEMENTACIÓN DE MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL EN UNA EMPRESA PAPELERA QUE HA ENFRETADO PROCESOS DE FUSIÓN	46
IMPLEMENTACIÓN DE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y PREDICTIVO EN LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE PILA R20 EN LA PLANTA DE MANUFACTURA DE TRONEX BATTERY COMPANY S.A.	52
ELABORACIÓN DE UN SISTEMA DE SUPERVISIÓN DE TIEMPOS AUTOMATIZADO DE MÁQUINAS INYECTORAS DE PLÁSTICO EN LA EMPRESA PLÁSTICOS TRUHER S.A.	60
ANÁLISIS DE CHOQUES EN MATERIALES COMPUESTOS	64
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA PELLETIZADORA EN PLACA CALIENTE	77
GUÍA PARA LA GESTIÓN DE PROYECTOS BASADA EN EL PROYECTO "MEJORAMIENTO TECNOLÓGICO LÍNEA DE PRODUCCIÓN WAFER TRADICIONAL" EN COMPAÑÍA DE GALLETAS NOEL ..	91
ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD DE LA PRODUCCIÓN DE MEZCLADORAS DE HORMIGÓN	96
DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PRUEBA DE UN PROTOTIPO CALENTADOR SOLAR DE AGUA CON TUBOS DE CALOR	103
ESTUDIO DE LA EVOLUCIÓN DEL RECICLAJE DE PLÁSTICOS EN ANTIOQUIA. CASO ÁREA METROPOLITANA	111

DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN FLAMEADOR A GAS TIPO CORONA	119
ADECUACIÓN DE LÍNEA DE ENVASE DE PRODUCTOS AFINES Y DERIVADOS DEL CAFÉ	125
ESTUDIO DE OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICA EN LAS LÍNEAS DE TRANSPORTE DE ENVASES EN O-I PELDAR ENVIGADO	133
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE MANO ANIMATRÓNICA	139
PRUEBAS DE COMPORTAMIENTO DE LAS TURBINAS FRANCIS	146
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN VEHÍCULO UTILITARIO TODOTERRENO BIPLAZA	154
DESARROLLO DE MÁQUINA PARA ENSAMBLAR TAPAS "PUSH DOWN"	158
MODELACIÓN Y ANÁLISIS DE UN MOLDE PARA FUNDICIÓN DE ALUMINIO POR COQUILLA	164
FORCE PLATE THESIS	173
APLICACIÓN DE LOS COSTOS DE MANTENIMIENTO EN UNA EMPRESA MANUFACTURERA	177
DESARROLLO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CONTROL DE POSICIÓN DE LAZO ABIERTO PARA UN MOTOR TRIFÁSICO	184
SISTEMATIZACIÓN DEL PROCESO DE MEDICIONES REOMÉTRICAS DE POLÍMEROS	191
DISEÑO REOLÓGICO PARA UN MOLDE DE RTM LIGERO	199
PREDICCIONES CMD CON SERIES TEMPORALES	206
OPTIMIZACIÓN DE LA GESTIÓN DE REPUESTOS COMO SOPORTE AL PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN SOFASA	212
DETERMINACIÓN DE ESPECTROS DE ACELERACIÓN PARA EL TORNO PRAZI SD-400 VARIANDO LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN	219
CONSTRUCCIÓN DE PROTOTIPO FUNCIONAL PARA SEPARACIÓN DE ACEITES Y GRASAS EN PELDAR	228
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE GENERADOR DE VAPOR DE PEQUEÑA CAPACIDAD PARA PYMES	238
DISEÑO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PASO 2 DEL PILAR DE MANTENIMIENTO PLANEADO, PARA DARLE DESARROLLO A LOS A PASOS 1, 2 Y 3 DEL PILAR DE MANTENIMIENTO AUTÓNOMO DE LA METODOLOGÍA TPM EN COLORQUÍMICA S.A.	248

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 2007. La información de cada artículo, contiene el área de énfasis (Diseño de Sistemas Técnicos, Mantenimiento Industrial, Gestión de Proyectos y Plásticos), el asesor principal del trabajo de grado, el sector beneficiado, el resumen en español y en inglés con las palabras claves en los dos idiomas y los resultados del trabajo de grado.

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

ABSTRACT

This document presents the articles of the final year undergraduate of the Department of Mechanical Engineering at EAFIT University in 2007. Each article contains information about the area of interest (Design of Technical Systems, Industrial Maintenance, Projects Management and Plastics), the main adviser, institution who benefited from the project and the Spanish and English summary with key words in English and Spanish. Some of the articles are included in their full length version.

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

AUTOR

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

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

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

La aplicación del conocimiento de las áreas de Diseño de Sistemas Técnicos, Mantenimiento Industrial, Gestión de Proyectos y Plásticos, por parte de los egresados de la carrera de Ingeniería Mecánica, han beneficiado al medio industrial nacional e internacional en empresas tan importantes como lo son: O-I PELDAR, ICIPC, Andercol S.A, Andes Internacional Tooling, Universidad EAFIT, Plásticos Truher S.A, Compañía de Galletas Noel, Sofasa, Imdecor S.A, Colcafé S.A, Tronex Battery Company S.A. entre otras no menos importantes. Proyectos con un importante desarrollo como los titulados:

“Diseño y construcción de la interfase física de usuario para un simulador virtual de cirugía laparoscópica” del ingeniero Daniel Fernando Posada Salazar.

“Estudio de procesos homogéneos y no homogéneos asociados al comportamiento de la confiabilidad en los sistemas reparables” del ingeniero Mario Sergio Gómez Rueda

“Programa evaluador de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad para una empresa textil del Valle del Aburrá” del ingeniero Jaime Andrés Orozco Montoya.

“Evaluación experimental de la metodología de diagnóstico técnico multidimensional basada en el SVD” de la ingeniera Ángela María Arévalo Hurtado.

Proyectos que fueron candidatizados como los mejores proyectos de grado del año 2007.

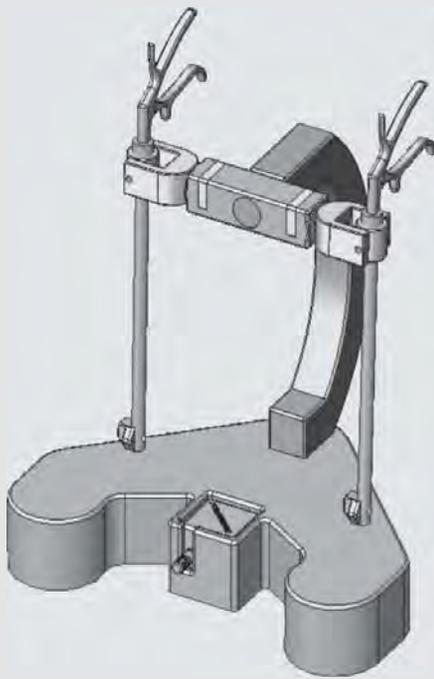
El proyecto de grado, al ser el primer ejercicio de ingeniería que realizan los estudiantes, los proyecta y contextualiza hacia el ejercicio laboral, máxime cuando estos proyectos, se relacionan con problemas de las empresas.

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

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

LEONEL FRANCISCO CASTAÑEDA HEREDIA
Coordinador de Proyecto de Grado

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA INTERFASE FÍSICA DE USUARIO PARA UN SIMULADOR VIRTUAL DE CIRUGÍA LAPAROSCÓPICA



DANIEL FERNANDO POSADA SALAZAR

dposadas@eafit.edu.co

Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS

DISEÑO DE SISTEMAS TÉCNICOS

ASESOR

HELMUT TREFFTZ

SECTOR BENEFICIADO

UNIVERSIDAD EAFIT

RESUMEN

Los simuladores virtuales de cirugía laparoscópica permiten a los cirujanos entrenarse y perfeccionar sus técnicas quirúrgicas. Estos simuladores se componen por dos interfases, una se conoce como interfase física de usuario, la otra es la interfase virtual. El desarrollo de la interfase física de usuario, requiere estudiar desde la mecánica, los movimientos y fuerzas presentes en la interacción entre instrumentos y cirujano. La digitalización de datos por medio de dispositivos incorporados a la interfase física, precisa la utilización de artefactos como rastreadores de posición y conversores ADC.

El presente trabajo, muestra el proceso de integración de un modelo mecánico que simula los grados de libertad presentes en los procedimientos de cirugía laparoscópica, con los dispositivos necesarios para digitalizar la información con que se hace posible la interacción entre un usuario y un ambiente virtual, esta información se refiere a la posición en tiempo real de los instrumentos utilizados por el cirujano, además de el estado en que se encuentran, este puede ser abierto o cerrado.

ABSTRACT

The virtual laparoscopic surgical simulators make possible for surgeons to train and polish their techniques. These simulators have two components that may be distinguished clearly: the user interface and the virtual interface. Developing the physic user interface requires mechanics to study the movements and forces existent on the interaction between surgeon and laparoscopic forceps. The data digitation through devices joined to the user interface is possible by using position trackers and converters ADC.

The current project shows the process to integrate a mechanic model that simulates degrees of freedom existing in the laparoscopic surgical procedures with the data digitation essential devices, used in the virtual environment to interact with the user. This data represents laparoscopic forceps position besides its state, which may be open or close.

PALABRAS CLAVES

Ambientes virtuales, Simulación quirúrgica, Interfase Humano –Ordenador, interfase de usuario.

INTRODUCCIÓN

El modelo actual de aprendizaje y entrenamiento en cirugía, se basa en la observación y participación de los residentes en procedimientos, tomando roles activos a medida que su experiencia incrementa. A diferencia de la cirugía abierta, la Cirugía Mínimamente Invasiva (CMI) requiere el desarrollo de otro tipo de habilidades debido a la poca retroalimentación de fuerza y visual que se obtiene. Esto hace necesario el desarrollo de medios de entrenamiento, especializados en la adquisición de habilidades propias de la cirugía CMI.

El desarrollo de nuevas tecnologías en los campos de modelación biomecánica de los tejidos vivos y ambientes virtuales, ha creado un medio para el entrenamiento quirúrgico que reúne todos los elementos claves para obtener un resultado eficaz. Los llamados simuladores de cirugía laparoscópica, no poseen limitantes de tiempo, ni riesgo a diferencia de los métodos convencionales de entrenamiento, como procedimientos con cadáveres o asistencia de los cirujanos residentes en procedimientos de laparoscopia, que además pueden comprometer la salud y hasta la vida de los pacientes. Mediante la elaboración de este proyecto, se pretende abolir las limitantes, que enfrentan los cirujanos de procedimientos laparoscópicos, al practicar sus técnicas con el fin de perfeccionar y adquirir mejoras en sus habilidades.

Este proyecto pretende aportar una solución a la interfase de usuario de un sistema de simulación virtual quirúrgico de laparoscopia. Mediante el estudio de la mecánica y los principios físicos que se involucran en los procedimientos de cirugía laparoscópica, se diseña y construye un dispositivo que por medio de mecanismos y unas condiciones de frontera pueda replicar los movimientos que ejecuta un cirujano de esta especialidad. Además cuenta con dispositivos que ayudan a capturar por medio de señales, las variables del medio real, que son relevantes para generar la interacción con el ambiente virtual quirúrgico.

El desarrollo del proyecto se fundamenta en la investigación y desarrollo de diferentes tópicos abordados a continuación.

MECÁNICA Y GRADOS DE LIBERTAD (DOF) EN LA CIRUGÍA LAPAROSCÓPICA

Se analiza de la mecánica presente en los simuladores virtuales quirúrgicos, ya que representa un campo de estudio importante en el proceso de diseño y construcción de la interfase física.

Los procedimientos de laparoscopia, implementan cinco grados de libertad en los instrumentos. Los cinco grados de libertad, o DOF por su sigla en inglés, se describen a continuación en detalle:

FIGURA 1
Inclinación (Pitch)



Pitch: Este grado de libertad permite la inclinación del instrumento sobre un plano horizontal. Su medición se hace en grados. El instrumento en una vista de planta (Figura 1), el movimiento que se origina es un giro hacia adentro de la hoja, ya sea en sentido horario o anti-horario.

Yaw: Este grado de libertad permite la inclinación del instrumento sobre un plano vertical. Su medición se hace en grados. En la Figura 2 se muestra el instrumento de una vista lateral el giro en esta ocasión se hace con el eje verde.

FIGURA 2
Rotación contra un plano vertical (Yaw)



Insertion: Este grado de libertad permite al instrumento introducirse longitudinalmente en el vientre del paciente. Su medición se hace en mm. En la Figura 3 se observa el

desplazamiento longitudinal que se hace paralelo al eje del instrumento.

FIGURA 3
Desplazamiento sobre el eje del instrumento (Insertion)



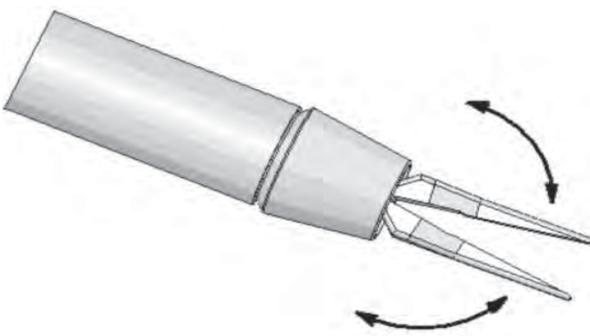
Rotation: Este grado de libertad permite al instrumento girar n revoluciones sobre su propio eje con el fin de dar una posición específica al instrumento de corte, sujeción, etc. En la Figura 4 se observa el instrumento en una vista lateral.

FIGURA 4
Rotación sobre el eje del instrumento (Rotation)



Handle: Este grado de libertad permite la apertura de la punta en el instrumento de corte, sujeción, etc., en la Figura 5 se observa el movimiento que se genera.

FIGURA 5
Abrir o cerrar el instrumento (Rotation)



DISPOSITIVOS DE ADQUISICIÓN DE DATOS

El funcionamiento de la interfase virtual, requiere información tal como la ubicación en el espacio, de los instrumentos manipulados por el usuario, además el estado de estos, que puede ser abierto ó cerrado, y como se vio en la sección anterior representa un quinto grado de libertad en los procedimientos mínimamente invasivos. El estado de los instrumentos se reproduce en el ambiente virtual quirúrgico, con el fin de brindar un alto nivel en la simulación en los procedimientos de laparoscopia.

A continuación se toca en tema de los dispositivos que se requiere integrar a la interfase virtual quirúrgica, para obtener la información relevante en la reconstrucción den la interfase virtual.

RASTREADORES DE POSICIÓN

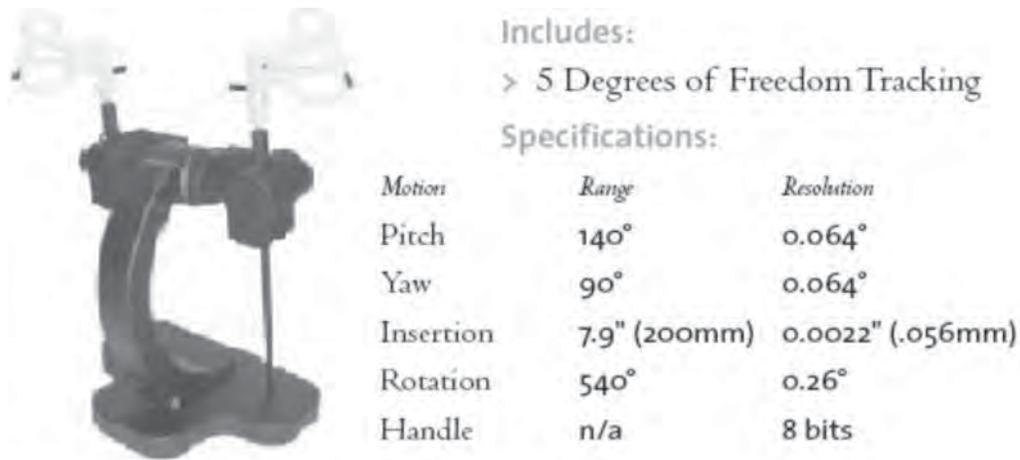
Los Rastreadores son también conocidos como dispositivos de 6 grados de libertad. Identifican la posición según unas coordenadas (x, y, z) , y la cantidad de giro en cada eje, a estos últimos se les denomina yaw, pitch y roll en ingles respectivamente, con respecto a un punto de referencia. En términos de hardware, se requiere una fuente que genere las señales, un sensor que reciba las señales y un componente de control que procese las señales y pueda comunicarse con el ordenador. Según la tecnología que se aplique, uno de los dos, el sensor o el emisor puede estar anclado al cuerpo que tiene movimiento relativo con respecto al que permanece estático, sirviendo como punto de referencia.

RASTREADORES MAGNÉTICOS

Los rastreadores magnéticos usan una fuente de radiación magnética y un sensor que calcula la posición y orientación con respecto a la fuente radiación. Existen dispositivos que proporcionan sistemas con varias fuentes, y sus correspondientes sensores que rastrean la posición hasta una frecuencia de 100 Hz en rangos desde un metro hasta 6 metros, proporcionando una exactitud bastante elevada. Un inconveniente de estos dispositivos es que objetos metálicos pueden distorsionar el campo magnético, proporcionando lecturas erróneas. Esta tecnología se usa ampliamente y es bastante robusta.

Los simuladores virtuales de cirugías mínimamente invasivas como los procedimientos de laparoscopia, implementan cinco grados de libertad en su interfase física; un ejemplo de esto es el simulador en la Figura 6, este es el simulador de IMMERSION. Los dispositivos de rastreo de posición magnéticos permiten digitalizar en tiempo real hasta cuatro de los cinco grados de libertad implementados en un simulador de cirugía laparoscópica, lo que representa un 80% de los movimientos en la interfase de usuario.

FIGURA 6
Simulador virtual de laparoscopia



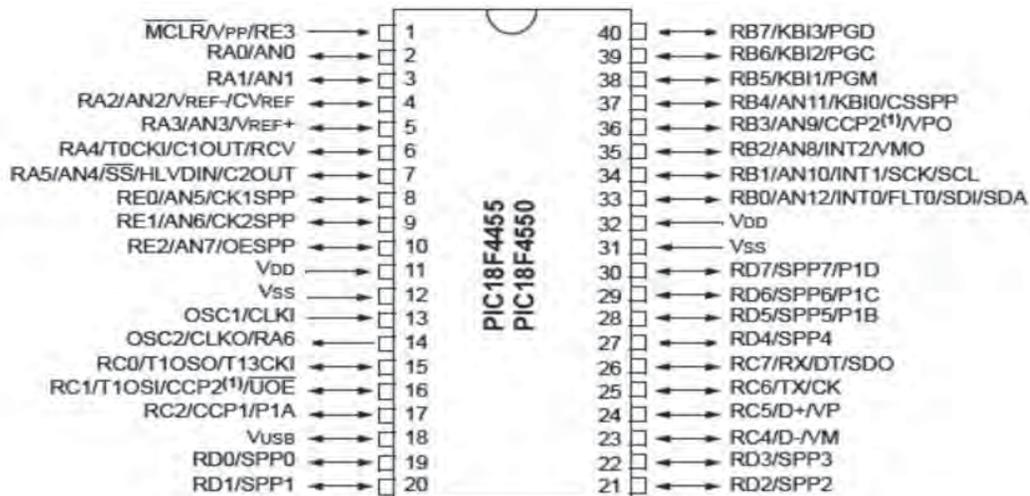
IMMESRION@2007

CONVERSORES ANÁLOGO A DIGITAL

La separación angular entre un par de asas puede ser leída como una señal, esta tiene una amplitud máxima cuando la separación entre las asas es máxima, y una amplitud mínima, cuando la separación entre las asas es muy pequeña o nula.

Para la adquisición y digitalización de esta información en la interfase de usuario, se utiliza un microcontrolador, el cual incluye conversor analógico a digital (ADC por sus siglas en inglés analogic to digital converter).

FIGURA 7
PIC 18F4455



Microchip Technology 18f4455 Data sheet, 2004, 4.

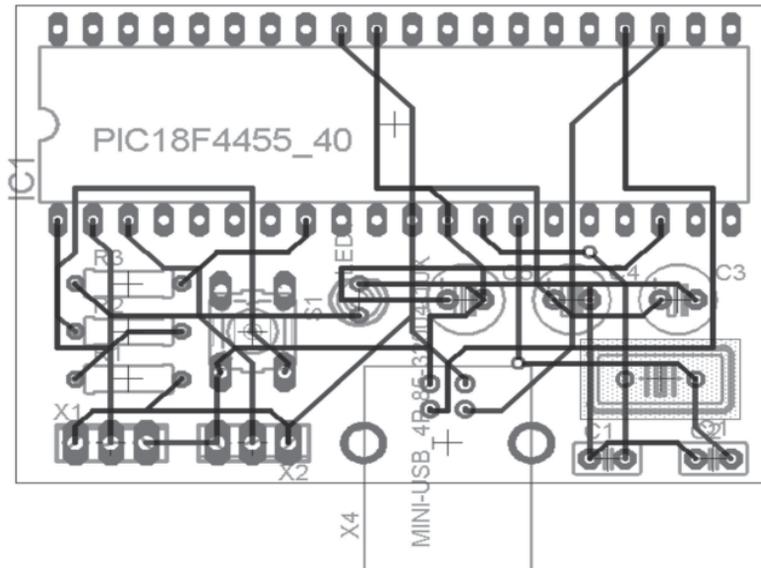
Los requerimientos que debe cumplir el microcontrolador que se escoja están relacionados con el controlador y con la cantidad de datos que se necesitan transformar; las principales condiciones son:

- Mínimo dos pines ADC
- Posibilidad de comunicación USB
- Alta velocidad de comunicación, entre 20 y 48 Mhz
- Los microcontroladores microchip 18F, se caracterizan por permitir la comunicación USB (Universal Serial BUS) con el PC.

DISEÑO DE TARJETA IMPRESA PARA MONTAJE ELECTRÓNICO

Se hace un montaje en un bread borad para hacer funcionar el PIC 18F4455, una vez la interfase funciona correctamente se puede hacer una tarjeta impresa para el montaje electrónico. Para diseñar esta tarjeta se utiliza el software EAGLE v.4.16 r2.

FIGURA 8
Diseño de tarjeta impresa para conversor ADC

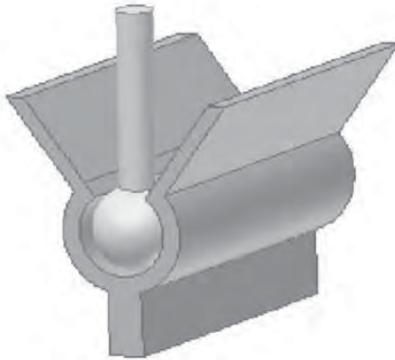


DISEÑO Y DESARROLLO DE LA INTERFASE FÍSICA

Para el diseño de un mecanismo que satisfaga los movimientos de una cirugía laparoscópica, es importante considerar la clasificación de pares cinemáticos, esta se puede hacer por tres diferentes criterios:

- Número de grados de libertad de la barra conectada por el par.
- El tipo de contacto entre los elementos.
- La forma en que los elementos permanecen en contacto.

FIGURA 9
Par rotacional de clase IV



La clasificación de pares cinemáticos en cuanto al número de grados de libertad del movimiento relativo entre los elementos de los pares cinemáticos de acuerdo a los grados de libertad, en esta clasificación, existen dos condiciones que imponen un límite superior e inferior al número de grados de libertad, esas condiciones son:

- El par cinemática debe permitir movimiento relativo entre los elementos. Por lo tanto, debe existir al menos un grado de libertad en el movimiento relativo.
- Los elementos, y consecuentemente los eslabones unidos por el par, deben permanecer en contacto. De aquí que deba existir como máximo cinco grados de libertad en el movimiento relativo entre los eslabones.
- Una vez que se han determinado los límites superior e inferior del número de grados de libertad del movimiento relativo que permite un par cinemática, es posible clasificarlos de forma exhaustiva. (RICO,2006, 5-9).

La búsqueda del par que cumple con los requerimientos de grados de libertad estudiados para la interfase física de usuario, concluye al encontrar que se pueden ejecutar utilizando un par de clase IV tipo esfera cilindro Ec. En la Figura 9 se presenta un esquema de par rotacional seleccionado.

Las propuestas de diseño que se hacen para satisfacer los movimientos se muestran en las ilustraciones 10, 11 Y 12.

FIGURA 10
Diseño preliminar de la interfase de usuario

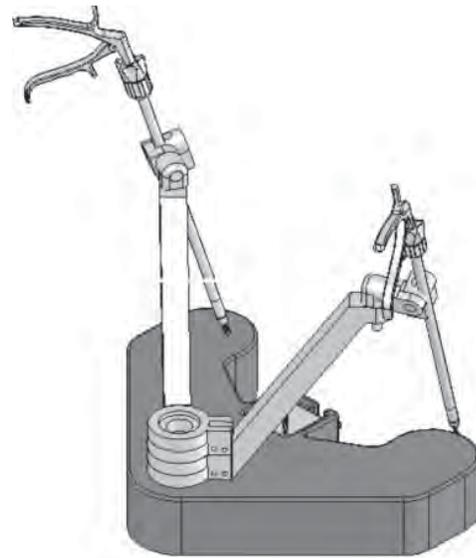


FIGURA 11
Diseño N° 1 de mecanismo para mover instrumento

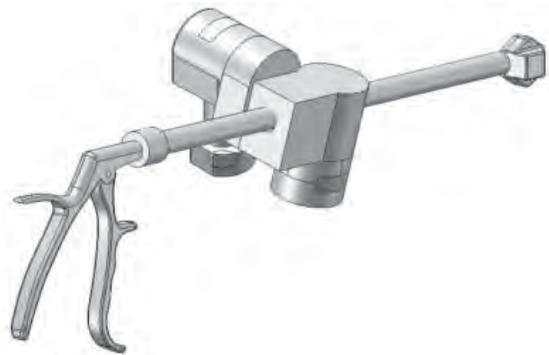


FIGURA 12
Diseño N° 2 mecanismo para mover instrumento



CONSTRUCCIÓN

Materiales

Base y Brazo: el material escogido para esta parte de la interfase de usuario es el abs., este material se obtiene mediante la mezcla de un termoplástico y un termofijo. Es un material con alta resistencia mecánica y es utilizado especialmente en carcazas de todo tipo incluyendo las de TV's y computadores.

Mecanismo y punta del instrumento de simulación: Para la elaboración de estas partes es necesario un material de alta resistencia mecánica y que cuente con un bajo coeficiente de fricción. Uno de los polímeros de ingeniería con mas alta densidad y resistencia mecánica es el PA (poliamida) conocido como Nylon; Este material permite procesos de máquinado sobre el obteniendo buenos acabados y ajustes en las dimensiones nominales de diseño.

Asas del instrumento: Para elaborar estas piezas se utiliza resina con fibra de vidrio, este material ofrece una alta resistencia mecánica, excelente acabado superficial y gran facilidad para obtener cualquier forma, ya que su proceso de fabricación es mediante vaciado en un molde. La inclusión de fibras de vidrio en las asas le otorgan una extra resistencia, esto es necesario ya que esta es la única entrada de fuerzas que tiene el sistema mediante las fuerzas ergonómicas que imprime sobre las asas el usuario.

MÉTODOS DE MANUFACTURA

Teniendo en cuenta el modelo final que se escogió, podemos dividirlo en dos partes, el chasis y los mecanismos que permiten el movimiento de los instrumentos; debido a las formas mas complejas en los mecanismos y las formas de las asas se utilizan los siguientes métodos de manufactura:

- Máquinado CNC
- Termoformado
- Vaciado de resinas y fibra de vidrio
- Métodos de máquinado convencionales (Corte, máquinado y fresado)

FIGURA 13
Modelo construido



CONCLUSIONES

La ruta que se estableció para el desarrollo del proyecto, ha dejado unas enseñanzas, a continuación se exponen las conclusiones que se hacen sobre el proyecto:

El desarrollo de un simulador virtual quirúrgico para entrenamiento de en procedimientos quirúrgicos, requiere del estudio y la implementación de variadas disciplinas, entre ellas ciencias biológicas como la medicina, ciencias exactas donde se encuentra la ingeniería y las ciencias sociales que estudian el impacto y viabilidad de estos artefactos en el medio. En cuanto a la ingeniería, campo de trabajo que compete a este proyecto, se encuentra una necesidad multidisciplinar, donde caben la mecánica, el desarrollo de software y la electrónica. Se entiende entonces que se trata de un proyecto que requiere una alta inversión de recursos humanos para poder ser ejecutado.

A través de la modelación de un instrumento que emula la geometría y las condiciones de frontera de una pinza de cirugía laparoscópica, se puede entender porque existen cinco grados de libertad en este tipo de procedimientos. No obstante queda abierta la posibilidad de utilizar más grados de libertad en los procedimientos MIS (cirugía mínimamente

invasiva), se abre una ventana para el diseño y desarrollo de instrumental más complejos (que implementen más DOF's) para acometer estos procedimientos.

A través del entendimiento de los DOF's utilizados actualmente en las interfases de usuario de los sistemas de simulación virtual quirúrgica de laparoscopia, se pueden diseñar variadas geometrías que cumplan con los requerimientos de movimiento, que presentan este tipo de cirugías. El diseño geométrico de la interfase física se convierte en algo sencillo y se hace posible generar múltiples soluciones para el problema.

La adquisición de datos por medio de un microcontrolador hace posible la digitalización de señales análogas al utilizar su módulo ADC. La tendencia que tiene el puerto RS 232 a desaparecer hace proliferar el uso del puerto USB en todo tipo de dispositivos, no siendo los microcontroladores una excepción. El protocolo de comunicación host – guest para el puerto USB representa un alto grado de complejidad para personas nuevas en el tema, no obstante existen ayudas y herramientas que pueden servir para hacer aplicaciones sencillas.

La construcción de la interfase de usuario requiere la utilización de materiales no magnéticos, esto se debe a la interacción de elementos como el rastreador de posición con la interfase física. La construcción mediante materiales no metálicos como lo son los polímeros presenta todo un abanico de procesos de manufactura y producción de artículos y piezas terminadas.

El hecho de que la interfase de usuario tenga una incompatibilidad con los metales magnéticos no significa una desventaja a la hora de construirla, ya que hay materiales más baratos, livianos y con la misma, o mejor capacidad de procesamiento que los metales, además de cumplir las especificaciones y requerimientos del artefacto, dentro de este grupo encontramos los plásticos.

BIBLIOGRAFÍA

ABASCAL, Julio, La Interacción Persona Ordenador. Lleida: Jesús Lores, 2001. ISBN 84-607-2255-4.

DIX, Alan. Human – Computer Interaction. Cambridge: The University Press, 1993. ISBN 0-13-458266-7.

EBERTS, Ray E. User Interface Design. New York: Prentice Hall, 1994. ISBN 10 0131403281.

JONES, Franklin. Machinery's Handbook Guide 27th Edition. Michigan: Industrial Press, 2004. ISBN 978 – 0831127992.

NIETO NIETO, Justo, síntesis de Mecanismos. Madrid: Editorial AC - libros científicos y técnicos, 1978. ISBN 84-7288-025-7.

PRECE, Jeny; ROGERS, Yvonne y SHARP, Helen. Beyond human – computer interaction. New York : John Wiley & Sons, 2002. ISBN 0-471-49278-7.

SHEINGOLD, Daniel H. Analog - Digital conversion handbook. Norwood: Analog Devices, 1986. ISBN 0130328480.
Papers

GIBBONS, R., Baker, R., & Skinner, D. (1986). Field articulation testing: A predictor of technical skills in surgical residents. *Journal Surgery Resident*, 41, 53–57.

SOUTHERN, Surgeons Club (1991). A prospective analysis of 1518 laparoscopiccholecystectomies. *England Journal Medicine*, 324(16), 1073–1078.

SZEKELY, G., Bajka, M., Brechbuhler, C., Dual, J., Enzler, R., Haller, U., et al. (1999). Virtual reality based surgery simulation for endoscopic gynaecology. *Medicine Meets Virtual Reality*, 7, 351–357. Amsterdam: IOS Press.

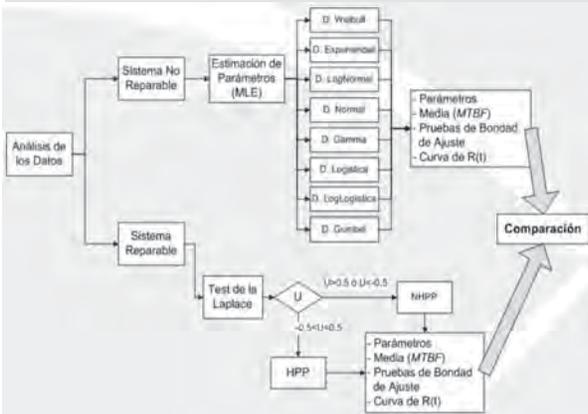
WINCKEL, C., Reznick, R., Cohen, R., & Taylor, B. (1994). Reliability and construct validity of a structured technical skills assessment form. *American Journal Surgery*, 167, 423–427.

ANAISE, David. Laparoscopic Surgery. [Online] Disponible en Internet <URL http://www.danaise.com/laparoscopic_surgery_7-5.htm>.

MÁRQUEZ GARCÍA, Diego. PICMANIA by REDRAVEN [online]. RedRaven. Disponible en Internet URL <http://picmania.garcia-cuervo.com/USB_0_Desencadenado.htm>.

RICO M., José M. Introducción a la cinemática de máquinas. [Online] SALAMANCA: Departamento de ingeniería Mecánica Universidad de Salamanca – México. Disponible en URL <<http://www.fimee.ugto.mx/profesores/chema/documentos/IntroduccionALosMecanismos.pdf>>.

ESTUDIO DE LOS PROCESOS HOMOGÉNEOS Y NO HOMOGÉNEOS ASOCIADO AL COMPORTAMIENTO DE LA CONFIABILIDAD EN LOS SISTEMAS REPARABLES



MARIO SERGIO GÓMEZ RUEDA

mgomezr1@eafit.edu.co

Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS

MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

ASESOR PRINCIPAL

JUAN SANTIAGO VALLEJO JARAMILLO

SECTOR BENEFICIARIO

UNIVERSIDAD EAFIT

RESUMEN

El análisis del desempeño de los activos dentro de las organizaciones industriales exige un control pormenorizado sobre todas las variables incidentes en el funcionamiento de los mismos. Por tanto, es necesario establecer técnicas estadísticas actuales de las cuales se puedan hallar conclusiones y se desarrollen actividades enfocadas en la gestión de mantenimiento industrial.

El proyecto procura describir la metodología actual para el cálculo de la confiabilidad en sistemas reparables utilizando procesos estocásticos o aleatorios, en especial el proceso de Poisson homogéneo (*HPP*) y el proceso de Poisson no homogéneo (*NHPP*).

La Universidad EAFIT y más específicamente, el grupo de investigación en mantenimiento industrial – GEMI³ – perteneciente al Departamento de Ingeniería Mecánica, desarrolla un estudio de investigación relacionado con modelos probabilísticos homogéneos y no homogéneos entorno a la confiabilidad.

PALABRAS CLAVES

Confiabilidad, *HPP*, Método Duane, Modelo CROW-AMSA, *NHPP*, Procesos estocásticos, Proceso de Poisson homogéneo, Proceso de Poisson no homogéneo, *ROCOF*, Sistemas reparables, Test de Laplace.

ABSTRACT

The performance assessment of the assets within industrial organizations requires detailed control over all the variables incidents in the operation. Therefore it is necessary to provide current statistical techniques which can be found findings and develop activities focused on the management of industrial maintenance.

1 HPP: del ingles Homogeneous Poisson Process.

2 NHPP: del ingles Non Homogeneous Poisson Process.

3 Grupo de Investigación en Mantenimiento Industrial. Universidad EAFIT. Medellín. Colombia

The project seeks to describe the current methodology for calculating reliability in repairable systems using stochastic or random processes; especially the process of homogeneous Poisson (HPP) and the non-homogeneous Poisson process (NHPP).

EAFIT University and more specifically, the research group in industrial maintenance – GEMI – belonging to the Department of Mechanical Engineering, it is developing a research study related probabilistic models homogeneous and non-homogeneous environment to the reliability.

KEY WORDS

Reliability, HPP, Duane method, Model CROW-AMSAA, NHPP, Stochastic processes, Homogeneous Poisson process, Non-homogeneous Poisson process, ROCOF, Repairable systems, Test of Laplace.

INTRODUCCIÓN

La evolución de los procedimientos de control de activos y regulación de procesos operativos en torno a las labores específicas implementadas por el mantenimiento industrial surge de la necesidad básica de encontrar parámetros equivalentes para la toma de decisiones mediante prospectiva de análisis por medio de la recolección de datos y estados de los activos.

El artículo pretende determinar una cadena de conclusiones sobre el comportamiento de los modelos homogéneos y no homogéneos en los sistemas reparables, entendiendo un sistema como el conjunto de elementos desarrolladores de un objetivo o como la unidad mínima funcional de un proceso productivo.

La validación de todo el estudio contenido en este proyecto parte por los datos que suministra Industrias ESTRA S.A. concernientes a dos de sus máquinas inyectoras. La ayuda de herramientas computacionales en la modelación del comportamiento de los datos históricos de falla facilita la interpretación del comportamiento de los procesos aleatorios de los sistemas reparables.

BASES CONCEPTUALES DE LA CONFIABILIDAD

La confiabilidad se define como una serie de procesos de mejoramiento continuo, que involucran en forma sistémica, herramientas de diagnóstico, metodologías de análisis y nuevas tecnologías, para optimizar la gestión, planeación, ejecución y control, de la productividad industrial (MISIÓN-CONFIABILIDAD @ 2007).

Definición de confiabilidad: La probabilidad de que un equipo desempeñe satisfactoriamente las funciones para las que fue diseñado, durante el período de tiempo especificado y bajo las condiciones de operación dadas se define como confiabilidad (Mora, 2006, 69).

Tipos de confiabilidad: La confiabilidad del equipo se basa en dos factores: confiabilidad intrínseca y confiabilidad operacional. La confiabilidad intrínseca se basa en el diseño y se determina durante la fase de fabricación e instalación. La confiabilidad operacional la determina el usuario y está relacionada con el modo y condiciones con que se opera el equipo. La confiabilidad total es el producto de estas dos cualidades (Nakajima y otros, 1991, 53).

Probabilidad: Las mediciones de confiabilidad se hacen en términos de probabilidad, la cual se define en forma clásica como el resultados de dividir el número de veces de los casos estudiados (intentos o eventos, favorables o no) entre el número total posible de casos (intentos o eventos); en la medida que la cantidad de intentos o casos posibles sea mayor la probabilidad se vuelve más exacta y cercana al valor real (Mora, 2006, 69).

Falla: El concepto inicial dado por Forcadas (1975, 37) define falla como la pérdida de la facultad de un producto o de un componente para realizar la función requerida por él, por cualquier motivo y en cualquier grado.

Sistema: Conjunto de componentes relacionados entre sí para llevar a cabo una misión conjunta. Se supone que los componentes de un sistema fallan independientemente unos de otros. Los sistemas pueden dividirse en sistemas

reparables y no reparables. Se considera un sistema reparable aquel que, después de fallar en realizar al menos una de sus funciones requeridas, puede ser restaurado para realizar todas sus funciones requeridas por cualquier otro método que no sea el reemplazo del sistema entero. Los sistemas no reparables implica un cambio completo (Muñiz y otros, 2004, 1) (Forcadas, 1975, 38).

El análisis de sistemas reparables requiere técnicas diferentes a las utilizadas en sistemas no reparables, que se basan en muestras aleatorias. En la práctica se encuentran equipos complejos compuestos de muchos elementos unidos y dependientes unos de otros (Navarro, 1997, 17).

PROCESOS ESTOCÁSTICOS HOMOGÉNEOS Y NO HOMOGÉNEOS

Un proceso estocástico es un conjunto de variables aleatorias $(X(t), t \in \mathbb{N})$, definidas sobre un espacio de probabilidades y que varían en el transcurso del tiempo, donde t es la unidad de tiempo y $X(t)$ representa el estado del sistema en el instante t . Los cambios en el valor de $X(t)$ reciben el nombre de transiciones entre estados (Zuluaga, 1992, 2).

Por otra parte, el comportamiento de los sistemas reparables se puede ajustar utilizando dos modelos desde el punto de vista estocástico. El proceso homogéneo de Poisson (*HPP*) y el proceso no homogéneo de Poisson (*NHPP*). Varios escritores sostienen que los métodos de confiabilidad para equipos no reparables que tradicionalmente se usan, como la distribución de Weibull, no son apropiados para los sistemas reparables y han sugerido ampliar el modelo a través del modelo de proceso no homogéneo de Poisson (*NHPP*) (Palencia y otros, 1984) (O'Connor, 1995).

PROCESOS ESTOCÁSTICOS HOMOGÉNEOS

PROCESO DE POISSON HOMOGÉNEO

El proceso de Poisson consiste en una secuencia de ocurrencias de fallas o averías de un sistema reparable,

durante su periodo de funcionamiento. El proceso de Poisson es homogéneo siempre y cuando no sea dependiente del tiempo. Es decir el número de los eventos en un intervalo depende solamente de la longitud del intervalo. La probabilidad de la ocurrencia de los eventos en cualquier periodo es independiente de lo ocurrido en el periodo previo. Para este modelo la confiabilidad $R(t)$ se define como:

ECUACIÓN 1

Función de confiabilidad para Poisson homogéneo

$$R(t_1, t_2) = e^{-\lambda \cdot (t_2 - t_1)}$$

Palencia y otros, 2006

Donde:

t_2, t_1 : Intervalo de tiempo

λ : tasa de fallas.

La mayoría de los sistemas (herramientas o equipos complejos) pasan la mayor parte de sus tiempos operativos en el segmento constante de tasa de fallas de la curva de la bañera. El proceso de Poisson homogéneo es el único modelo que se aplica a esa porción de la curva, así que es el modelo más popular para la evaluación de la confiabilidad del sistema y el planeamiento de la prueba de la confiabilidad (NIST/SEMATECH @ 1999).

PROCESO DE MARKOV

El proceso de Markov recibe su nombre del matemático ruso Andrei Markov, es una serie de eventos, en la cual la probabilidad de que ocurra un evento depende del evento inmediato anterior. En efecto, las cadenas de este tipo tienen memoria. "Recuerdan" el último evento y esto condiciona las posibilidades de los eventos futuros. Esta dependencia del evento anterior distingue a las cadenas de Markov de las series de eventos independientes, como tirar una moneda al aire o un dado (Wikipedia @ 2007).

PROCESO DE BERNOULLI

El proceso de Bernoulli no es otra cosa que la repetición de un ensayo de Bernoulli. En el ejemplo de la moneda se estudia cuantas veces sale cara o sale cruz, o las

probabilidades de que salga una vez al menos cara de un número de intentos. Es importante que se cumpla que; la probabilidad de éxito permanece constante ensayo tras cada ensayo y los ensayos deben de ser independientes entre sí. (Wikipedia @ 2007).

PROCESOS ESTOCÁSTICOS NO HOMOGÉNEOS

El proceso no homogéneo de Poisson posee ciertas características relevantes en el estudio de la confiabilidad de sistemas reparables. En esta media, se presenta un nuevo concepto entorno a la ocurrencia de fallas, este es la tasa de ocurrencia de fallas o ingles *Rate of Occurrence of Failures at Time – ROCOF* (NIST/SEMATECH @ 1999).

PROCESO NO HOMOGÉNEO DE POISSON

El proceso no homogéneo de Poisson (*NHPP*) es similar al proceso homogéneo de Poisson con la excepción de que el la tasa de fallas es dependiente del tiempo. Por lo tanto, el proceso es no estacionario porque la tasa de fallas no lo es, ni es independiente ni se distribuye de forma idéntica en el tiempo por lo que:

ECUACIÓN 2

Función de Confiabilidad para Poisson no homogéneo

$$R(t_1, t_2) = e^{-\int_{t_1}^{t_2} \lambda(t) dt}$$

Palencia y otros, 2006

Donde:

t_2, t_1 : Intervalo de tiempo

$\lambda(t)$: tasa de fallas dependiente del tiempo

La presencia de una secuencia no aleatoria de fallos significa que los tiempos desde el último fallo pueden presentar tendencia para disminuir o aumentar al largo del tiempo, correspondiendo, respectivamente, en un sistema reparable con una *ROCOF* creciente o decreciente. Bajo esta apreciación sugiere que al modelar el comportamiento de operativo de los sistemas reparables, debe validarse la tendencia del tiempos operativos a partir de un método de

análisis de tendencia como por ejemplo la transformada de Laplace (Palencia y otros, 2006) (Mendonça y otra, 2005).

Para conocer completamente el proceso de Poisson no homogéneo se debe determinar la función de la frecuencia o intensidad $\lambda(t)$ asociada al proceso. Para ello es necesario emplear un estimador exponencial polinomio, normal o kernel (Dyner, 1980, 14).

PROCESO DE RENOVACIÓN

El proceso de renovación se define como una secuencia de variables aleatorias independientes, no negativas e idénticamente distribuidas, T_1, T_2, \dots , con función de distribución $F_i(t) = P(T_i \leq t)$ para $t \geq 0, i=1,2,\dots$. Se considera además, que no son todas cero con probabilidad uno. Los eventos observados (fallas o reparaciones) son llamados renovaciones y consideraremos a $F_1(t)$ como la distribución subyacente del proceso de renovación (Muñiz y otros, 2004, 3).

ANÁLISIS DE LA TENDENCIA

El análisis de seguimiento de tendencia está enfocando al estudio desde el punto de vista del análisis técnico. El analista técnico busca anticiparse a las tendencias de comportamientos estudiando la acción del entorno, es decir los efectos, por tanto el término pronóstico sería el más adecuado para hacer referencia a todos estos posibles efectos (Medina, 2001, 1).

TEST DE LAPLACE

La existencia de una tendencia en los datos indica que las fallas siguientes no son independientes entre sí y por lo tanto, los valores de intervalos de tiempo no son distribuidos de manera uniforme. Para un determinado nivel de significancia, el sistema reparable puede comportarse como un *HPP* o si, por el contrario, sigue un *NHPP*.

Para determinar si los datos de fallas tienen una tendencia y siguen al *NHPP* o al *HPP*, se utiliza el test de Laplace, determinando el parámetro U , tal que (Mendonça y otra, 2005, 5).

ECUACIÓN 3 Test de Laplace

$$U = \frac{\sum_{i=1}^n t_i - t_0}{n} \cdot \frac{t_0}{\sqrt{\frac{1}{12 \cdot n}}}$$

Palencia y otros, 2006, 6

Donde:

t_0 : intervalo de tiempo i

t_i : intervalo de tiempo total

n : número de eventos

- Si $-0.5 < u < 0.5$, no hay evidencia de tendencia y se asume el patrón *HPP*
- Si $u > 0.5$ la tendencia es evidentemente creciente y puede asumirse *NHPP*
- Si $u < -0.5$ la tendencia es evidentemente decreciente y puede asumirse *NHPP* (Palencia y otros, 2006, 6) (Parra, 2001).

MÉTODO DE DUANE

El modelo de Duane se fundamenta en el análisis que el tiempo medio entre fallas acumulativo en comparación al tiempo de funcionamiento acumulativo tiende a seguir una función casi lineal del logaritmo doble del tiempo de prueba acumulativo. Del modelo de Duane se llega a la conclusión que la función de la ley de potencia proporciona una buena aproximación a este comportamiento (Nachlas, 1995, 84).

MODELO DE CROW-AMSAA

El análisis de la confiabilidad para los sistemas reparables desarrollado por el PhD Larry H. Crow (1974) parte por determinar que el modelo de Duane se podría representar como un proceso estocástico de Weibull, teniendo en cuenta los procedimientos estadísticos que se utilizan en este modelo de crecimiento de la confiabilidad.

VALIDACIÓN Y RESULTADOS

El sistema de análisis corresponde a la inyectora Reed-Prentice VD 1200 (INY-29) pertenecientes a Industrias ESTRA S.A. de la cual se posee datos históricos de falla para el periodo de Mayo-Agosto de 2007. Con la ayuda de paquetes informáticos con aplicaciones estadísticas en la medición de la confiabilidad se realiza la validación de los datos y se determina el comportamiento de la confiabilidad.

METODOLOGÍA DE MODELACIÓN

La modelación inicia con establecer la veracidad de los datos de entrada así como también la concordancia al desempeño físico de un sistema. La metodología de cálculo para los sistemas reparables parte por determinar el test de Laplace (U), el cual indica si una muestra tiene crecimiento, decrecimiento o permanece constante, es decir si es un *NHPP* o *HPP* (Palencia y otros, 2006, 6).

RESULTADOS DE CONFIABILIDAD DIVIDENDO LA INYECTORA REED-PRENTICE VD 1200 (INY-29) EN SUBSISTEMAS

Los datos históricos de fallas se dividen según sea al sistema de la máquina el causante de la falla.

TABLA 1
Síntesis de resultados de cálculo para INY-29 dividida en subsistemas asumidos como no reparables

Sistema	S. Hidráulico			S. Mecánico		S. Eléctrico		
Distribución	Gamma-G			Normal-2P		Weibull-3P		
Parámetros	μ	σ	λ	Promedio	Estd	β	η	γ
		7,9060	0,0189	50	1743,09	756,1	1,841	1866,4
Media (MTBF)	246,90			197,35		191,69		
Desviación Estándar	295,34			390,58		259,06		
MLE	-86,982			-136,300		-155,910		
Komogorov-Smirnov	0,01720			0,04049		0,01213		
Chi Cuadrado Ji ²	0,19492			0,03110		0,00904		

A continuación se presenta los resultados obtenidos para el caso en donde se asume a cada subsistema como reparable:

TABLA 2
Síntesis de resultados de cálculo para INY-29 dividida en subsistemas asumidos como reparables

Sistema	S. Hidráulico	S. Mecánico		S. Eléctrico	
Comportamiento	HPP	NHPP		HPP	
Test de Laplace	0,2495	2,4710		0,4724	
Parámetros (Crow/AMSAA)	λ .distri exp.	λ	β	λ .distri exp.	
	0,00405007		1,8805	0,006673	
Media (MTBF)	249,09	165,22		151,2	
Desviación Estándar	149,93	85,47		96,82	
Bondad de Ajuste	Cram'er Von Mises	0,0848 (Aceptable)	0,1583 (Aceptable)		0,0749 (Aceptable)

El sistema hidráulico y el sistema eléctrico presenta un comportamiento de Poisson homogéneo, es decir para determinar el comportamiento de la confiabilidad esta puede asociarse a una distribución exponencial donde solo se necesita el parámetro λ (λ .distri exp). Dicho parámetro es simplemente el inverso de la media de los tiempos productivos.

CONCLUSIONES

El proceso estocástico no homogéneo más relevante en el análisis de la confiabilidad para sistemas reparables es el proceso de Poisson no homogéneo. Aunque existe otros procesos aleatorios con esta característica como el de

Polya, Gompertz, Rayleigh y el Lognormal, todavía su utilidad en la estimación de la confiabilidad de sistemas reparables no está demostrada.

El proceso estocástico de Poisson no homogéneo es la metodología estadística más adecuada para el análisis de la confiabilidad de sistemas reparables toda vez que solo relaciona el tiempo exacto en que ocurre la falla y no los tiempos operativos, por tanto no existe la necesidad de reorganizar los datos lo que ocurre en la metodología tradicional de cálculo de la confiabilidad.

La modelación de la confiabilidad para cuando las fallas poseen un comportamiento de Poisson homogéneo se

puede aproximar a una distribución exponencial del modelo tradicional de cálculo de confiabilidad para sistemas no reparables.

El test de Laplace se constituye como una de las mejores herramientas para comprobar la tendencia de fallas y así mismo ubicar el histórico de reparaciones en alguna de las dos variantes del proceso estocástico de Poisson.

El análisis en donde se considera la INY-29 como la suma de tres subsistemas presenta una particularidad en los resultados, solo el sistema mecánico muestra un comportamiento de Poisson no homogéneo y los otros dos siguen el caso homogéneo. Entonces es posible determinar que la causa principal para que toda la máquina o el sistema completo, presente un proceso de degradación es a causa del desempeño de su sistema mecánico principalmente.

El sistema hidráulico para el análisis donde se asume como sistema reparable de la inyectora 29 presenta el mejor comportamiento en relación con el sistema mecánico y eléctrico. Pero cuando se realiza el estudio como sistema no reparable su comportamiento es el peor.

BIBLIOGRAFÍA

Dyner R, Isaac. Estimación del proceso de Poisson no homogéneo. Trabajo presentado para cumplir con el requisito exigido para la promoción a la categoría de Profesor Asociado. Universidad Nacional. Medellín, Colombia: 1980.

Forcadas F, Jorge. Estadística aplicada a los sistemas & Confiabilidad en los sistemas. Revista Sociedad Antioqueña de Ingenieros y Arquitectos. En: Revista SAI. No.4 Vol.1 Medellín, Colombia; 1983.

Medina, Pablo. Análisis de tendencias y contratendencias. Paper. Bolsa de Comercio de Rosario, Argentina: 2001.

Muñoz S, Victor; Villa D, Enrique; Hernández A, Arturo. Optimización para el mantenimiento de Sistemas Reparables. Paper. 2004

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

Nakajima, Seichi; Shirose, Kunio; Goto, Fumio; Miyoshi, Ainosuke y Aso, Masamitsu. Introducción al TPM programa para el desarrollo. Madrid, España; 1991. Traducido por Antonio Cuesta Álvarez. Editorial Fundación REPSOL. ISBN: 8487022812

Navarro E., Luis; Pastor T., Ana C. y Mugaburu L., Jaime M. Gestión integral de mantenimiento. Barcelona, España: 1997. Marcombo Boixerau Editores. ISBN: 84-267-1121-9

O'Connor, Patrick D.T. *Practical reliability engineering*. Britain: Editorial Heyden & Son LTD GREAT: 1985. ISBN: 0470844620

Palencia C, Javier A; Chikhani C, Angela S; Lara, Juan F; Aguilón M, Orlando; Tremante M, Andrés y Rojas L, Mairim M. Aplicación de sistemas expertos en el modelaje de la predicción de fallas en activos industriales. Paper. Mayagüez, Puerto Rico: 2006

Zuluaga A, Luz V. Desarrollo de un modelo markoviano para la evolución de la población estudiantil de ingeniería de sistemas de la Universidad EAFIT. Medellín, Colombia: 1992. Proyecto de grado ingeniería de sistemas, Universidad EAFIT.

CROW-AMSAA, 2007. [En línea]. [Modelo Crow/AMSAA (N.H.P.P)] [Citado el 27 de Septiembre de 2007]. Disponible en Internet: www.weibull.com/RelGrowthWeb.htm

MISIÓN-CONFIABILIDAD, 2007. [En línea] [Revisión de hipervínculo 20 Julio de 2007]. Disponible en Internet en: www.ipeman.com/cursos/2005/Promocion%20WEB%20Abr%2005.DOC

NIST/SEMATECH, 1999. [En línea]. [Kolmogorov-Smirnov - National institute of standards and technology] [Citado el 25 de marzo de 2005]. Disponible en Internet: <http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/eda/section3/eda35g.htm>

WIKIPEDIA, 2007. [En línea] [Revisión de hipervínculo 2-13 Mayo de 2007]. Disponible en Internet en: <http://es.wikipedia.org>

PROGRAMA EVALUADOR DE CONFIABILIDAD, MANTENIBILIDAD Y DISPONIBILIDAD PARA UNA EMPRESA TEXTIL DEL VALLE DEL ABURRÁ



JAIME ANDRÉS OROZCO MONTOYA
jorozcom@eafit.edu.co
Departamento de Ingeniería de Sistemas

ÁREA DE ÉNFASIS
MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

ASESOR PRINCIPAL
LUIS ALBERTO MORA GUTIÉRREZ

SECTOR BENEFICIADO
EMPRESA TEXTIL

RESUMEN

El artículo presenta el proceso de desarrollo de un software diseñado específicamente para aportar en la gestión de mantenimiento dentro de una empresa del sector textil, con el fin de implementar tres de los indicadores de mantenimiento como son: confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad.

Las herramientas necesarias para el proyecto son principalmente: un motor de base de datos MS SQL 2000 y un entorno de programación SyBase PowerBuilder 7 (orientado a eventos); las cuales permiten recrear las variables internas de la empresa para la cual esta dirigido este proyecto.

La muestra de los datos (no significativa), son obtenidos del departamento de mantenimiento, con el fin de generar información real del estado de la máquina en estudio, dado que los algoritmos necesarios para clasificar la información son programados directamente a una estructura base que mantiene las transformaciones necesarias para generar información.

ABSTRACT

This article presents the process of developing software specifically designed to provide management of maintenance within a company in the textile sector, in order to implement three of the maintenance indicators such as: reliability, maintainability and availability.

The tools needed for the project are: a database engine MS SQL 2000 and a programming environment SyBase PowerBuilder 7, which allow recreate internal variables at the company in which this project is being implemented.

The sample of data (not significant), are obtained from the maintenance department, in order to generate information about the real state of the machine under consideration, since the algorithms necessary to classify information are programmed directly to a database structure that keeps the changes needed to generate information.

PALABRAS CLAVE

Confiabilidad, mantenibilidad, disponibilidad, PowerBuilder, SQL.

KEY WORDS

Reliability, maintainability, availability, PowerBuilder, SQL.

INTRODUCCIÓN

El presente artículo hace parte del proyecto de grado “programa evaluador de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad para una empresa textil del valle del aburrá”, cuyo objetivo principal es el desarrollo de un módulo que se adapte al sistema de información de la empresa que suministra los datos y el cual debe permitir implementar la medición de los indicadores de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad para una máquina prototipo seleccionada.

La importancia del proyecto desarrollado radica en el acompañamiento a una empresa del sector textil colombiano donde, con dicha aplicación se complementa su sistema de información, con el fin de mejorar el seguimiento y control de las rutinas de mantenimiento y la toma de decisiones.

Los indicadores de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad (CMD), son tres indicadores utilizados como soporte en la gestión de mantenimiento, la confiabilidad es una propiedad que habla de la capacidad operativa del equipo sin presentar fallas, la mantenibilidad es una característica dependiente del diseño y que en última instancia refleja la facilidad con la que el equipo es retornado a la condición de funcionamiento, finalmente la disponibilidad relaciona tanto la confiabilidad como la mantenibilidad y es mediante este atributo que se definen en muchas ocasiones las estrategias de operación.

Los temas a continuación abarcan los aspectos más relevantes del desarrollo del proyecto para generación del software y su interacción directa con los indicadores CMD, con el fin de recrear las condiciones propuestas por la empresa.

ALGORITMOS

La implementación de la aplicación comienza con el proceso de clasificación de los datos, dado que es crítico para la etapa inicial del funcionamiento del software, con el fin de depurar la información necesaria para efectos de cálculos y transformación de los datos.

Para este proceso se requieren los siguientes datos:

Tipo de mantenimiento: la información de este campo se configura a partir del tipo de mantenimiento que se efectúa a la máquina en estudio, con el fin de obtener datos que permitan la clasificación del tipo de mantenimiento (preventivo o correctivo).

Fecha atención: este campo de las tablas sirve para registrar el instante en el cual se comienza a realizar una actividad de mantenimiento, este dato es necesario para determinar los tiempos de parada y de fallas que la máquina presenta en cualquier eventualidad, con el fin de contribuir a la creación de los datos de confiabilidad y mantenibilidad.

Fecha de entrega: las prestaciones de este campo permiten considerar los tiempos de arranque de la máquina tras una acción de mantenimiento preventivo o correctivo, el cual permite calcular los indicadores de tiempos operativos y tiempos de parada.

La clasificación de esta información, es puesta en un *query* a la base de datos que toma la información y al mismo tiempo efectúa la diferencia de las fechas relativas. Después, estas cifras son puestas en un *dw_classmáquina* que es la estructura base para la presentación de los datos de la aplicación y es donde se efectúan los cálculos de promedios y desviaciones estándar (μ y σ).

Los datos, previamente clasificados, son ordenados nuevamente para permitir la asignación de un número ordenado de forma ascendente para efectos de cálculo e identificar valores errados. Con la selección de estos campos se procede a ordenar la información para obtener los tiempos de parada (DT) y los tiempos de operación (UT) dados en minutos, los cuales permiten observar los tiempos que la máquina presenta y además considerar el tipo de mantenimiento.

Las fallas presentes en la máquina en estudio permiten calcular la confiabilidad a partir de los tiempos de operación entre fallas (UTT2):

ECUACIÓN 1 Indicador de confiabilidad

$$MTBF = \frac{\sum_1^n UT}{n}$$

VALLEJO, 2007

Donde:

UT: datos de la tabla IndicadoresUTT2

n: tamaño de la muestra con fallas

El cálculo de la mantenibilidad se genera a partir de los tiempos de reparación (DTT2) que presenta la máquina en estudio esta dado por:

ECUACIÓN 2
Indicador de mantenibilidad

$$MTTR = \frac{\sum_1^n DT}{n}$$

VALLEJO, 2007

Donde:

DT: datos de la tabla IndicadoresDTT2.

n: tamaño de la muestra con paradas.

Los tiempos de operación entre mantenimientos (UTT1), equivalente a los tiempos útiles que se presentan entre dos actividades consecutivas e independientes de su procedencia con respecto al tipo de mantenimiento, permiten obtener el indicador respectivo.

ECUACIÓN 3
Tiempo operativo entre mantenimiento

$$TOEM = \frac{\sum_1^n UT}{n}$$

VALLEJO, 2007

Donde:

UT: datos de la tabla IndicadoresUTT1.

n: tamaño de la muestra.

Los tiempos de parada que tarda realizar cualquier actividad de mantenimiento (DTT1), permiten calcular el indicador respectivo.

ECUACIÓN 4
Tiempo para realizar cualquier mantenimiento

$$TPRM = \frac{\sum_1^n DT}{n}$$

VALLEJO, 2007

Donde:

DT: datos de la tabla IndicadoresDTT1.

n: tamaño de la muestra.

La disponibilidad inherente se calcula a partir de la relación entre los tiempos que involucran fallas (*MTBF* y *MTTR*), su complemento ($1 - D_i$) permite determinar la relación del tiempo que la máquina no funciona por estar en un mantenimiento correctivo.

ECUACIÓN 5
Disponibilidad inherente

$$D_i = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

VALLEJO, 2007

Donde:

MTBF: indicador de confiabilidad.

MTTR: indicador de mantenibilidad

La disponibilidad alcanzada se obtiene a partir de la relación de los tiempos de cualquier actividad de mantenimiento (TEOM y TPRM), su complemento ($1 - D_a$) indica la proporción del tiempo que la máquina no está disponible debido a actividades de mantenimiento.

ECUACIÓN 6
Disponibilidad alcanzada

$$D_a = \frac{TOEM}{TOEM + TPRM}$$

VALLEJO, 2007

Donde:

TOEM: indicador de tiempo operativo entre mantenimiento.

TPRM: ndicador de tiempo para realizar cualquier mantenimiento.

Las distribuciones tomadas en cuenta para el desarrollo del programa son: distribución normal, distribución logarítmica-normal, distribución exponencial, y distribución de Weibull; en tanto los métodos que se utilizan para el cálculo de los parámetros son el de alineación con aproximación de

Bernard, para la distribución exponencial y de Weibull; y el método de máxima verosimilitud (MLE) para el cálculo de los parámetros de las distribuciones normal y log-normal.

DESARROLLO DE LA APLICACIÓN

Las herramientas que se manejan para implementar el proyecto están conformadas por un entorno de desarrollo SyBase PowerBuilder 7.0, un motor de base de datos MS SQL SERVER 2000, y un *driver* ODBC para la comunicación de la base de datos con el entorno de programación. La aplicación se desarrolla para ambientes Windows 95 ó superiores. La unión de todos estos elementos permite formar un ambiente estable de programación compatible con las variables propuestas por la empresa en cuestión.

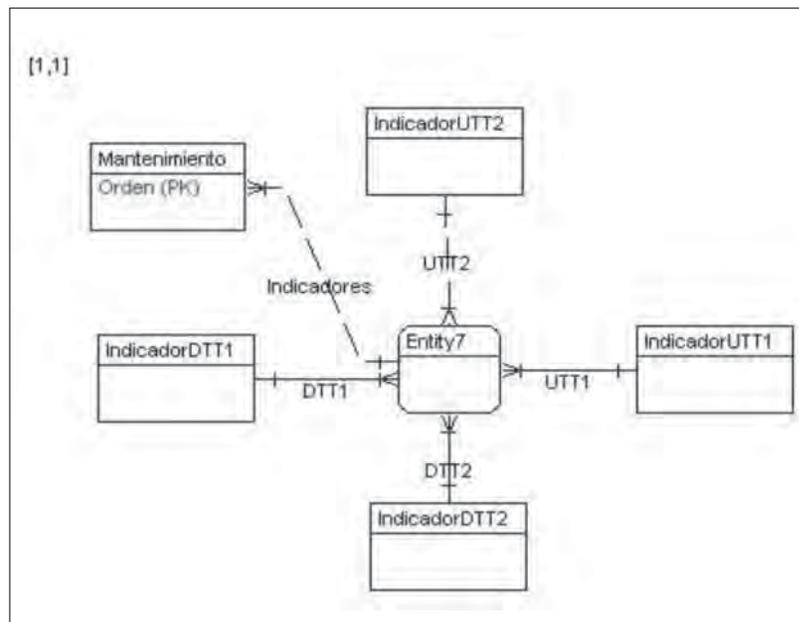
El repositorio de datos que se desarrolla en el proyecto, esta basado en la base de datos proporcionada por el departamento de mantenimiento y es modificada con

nuevos campos adicionales que son necesarios para el cálculo de los indicadores CMD.

Los campos nuevos son condición producción que recibe un valor entero de cero ó uno, los cuales discriminan los tiempos de fallas y mantenimientos programados de la máquina en estudio, y también se hace necesario efectuar la inserción de los tiempos de entrega anteriores, con el fin de realizar una diferencia de los tiempos, los cuales generan estadísticamente una diferencia de medias por datos pareados.

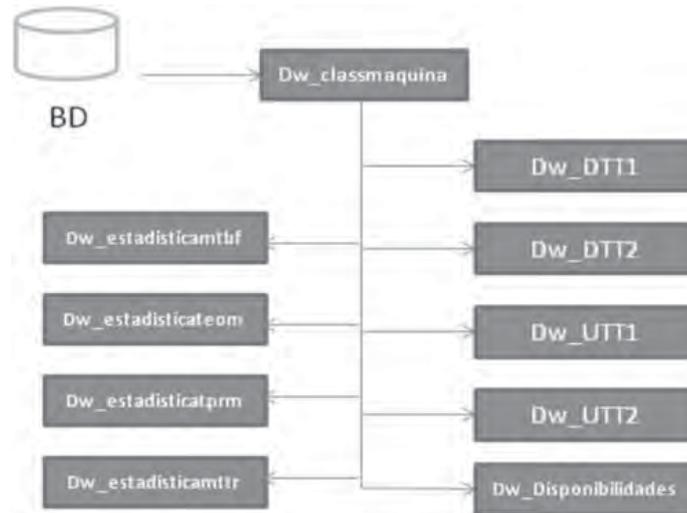
Los cálculos de los promedios son realizados en tiempo real sobre la estructura de aplicación y son depositados en cuatro campos definidos en la base datos, los cuales tienen como función extender la memoria del entorno de programación y garantizar la integridad de los datos, dado que son intervenidos por un *store procedure* que asegura las relaciones de las tablas en la base de datos.

FIGURA 1
Modelo entidad relación



Los datos son calculados directamente de los tiempos de operación, detención y fallas que presenta la máquina, y automáticamente son insertados en dos campos DT y UT respectivamente en la base datos. Los tiempos dados en minutos son procesados por una estructura de datos que se crea para separar los indicadores de la siguiente forma:

FIGURA 2
Estructura Base de la aplicación



La estructura principal de la aplicación esta dada por un datawindow llamado dw_classmáquina, que se encarga de centralizar los procesos de cálculo y presentar la información de manera automática. La implementación de esta estructura permite amoldar los datos clasificados, tratados en parámetros de distribuciones.

FIGURA 3
Ventana principal de la aplicación

Orden	Fecha de solicitud	S	P	Fecha de atención	Fecha de entrega	Inicio trabajos
71	08/08/2005 19:15:00	2	1	08/08/2005 23:00:00	09/08/2005 00:55:00	08/08/2005 23:00:00
72	08/08/2005 23:00:00	1	1	09/08/2005 14:00:00	09/08/2005 15:45:00	09/08/2005 14:00:00
73	09/08/2005 13:50:00	1	0	09/08/2005 22:30:00	09/08/2005 23:00:00	09/08/2005 22:30:00
74	09/08/2005 22:30:00	1	0	11/08/2005 06:50:00	11/08/2005 09:15:00	11/08/2005 06:50:00
75	18/08/2005 06:50:00	1	0	12/08/2005 14:05:00	12/08/2005 14:20:00	12/08/2005 14:05:00
76	12/08/2005 13:25:00	2	1	16/08/2005 01:00:00	16/08/2005 01:30:00	16/08/2005 01:00:00
77	16/08/2005 00:50:00	2	0	17/08/2005 06:00:00	17/08/2005 19:50:00	17/08/2005 06:00:00

La aplicación consta de un total de seis dw_windows desarrollados para los indicadores y dieciséis para los parámetros, ensamblados en 11 ventanas que presentan los datos más relevantes para la rutina de mantenimiento de la compañía.

CONCLUSIONES

El prototipo principal de la aplicación esta basado en las necesidades del área de mantenimiento de la empresa donde se desarrolla el proyecto, con el fin de mejorar la toma de decisiones para programar actividades de mantenimiento estratégico, y avanzar en el control de la máquina en estudio.

La adición del módulo de mantenimiento al sistema de información de la empresa puede mejorar los niveles de gestión de su instalación y sus prácticas de calidad para el manejo continuo de recursos de valor agregado.

Las nuevas máquinas que se pueden unir a la aplicación expande su alcance de manera gradual, en la cual se deben madurar las condiciones implicadas en el proyecto, que clasifican las alternativas para ser implementadas en versiones posteriores del desarrollo.

El alcance de la aplicación puede ser prolongado de varias maneras que complementen las principales variables del departamento de mantenimiento, dado que la división de los estudios por medio de máquinas, mecanismos y partes puede generar más información para mejorar la gestión de mantenimiento.

Los nuevos enfoques de la aplicación pueden ser implementados con tecnologías innovadoras de micro-controladores, los cuales permiten hacer un registro de un período de tiempo y con más datos que puedan beneficiar el sistema de información de la empresa en cuestión, con el fin de realizar un mejor seguimiento de los principales orígenes del mantenimiento.

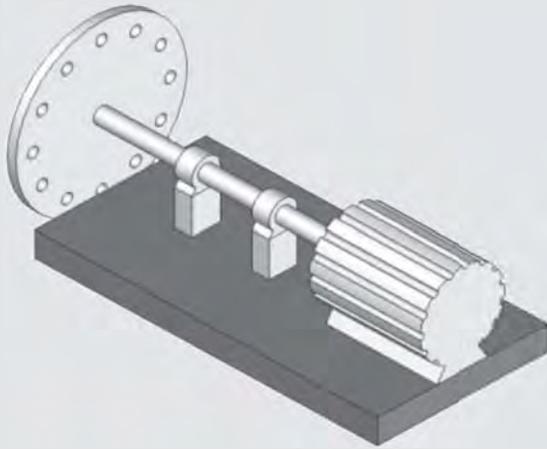
BIBLIOGRAFÍA

MORA GUTIÉRREZ, Alberto – Mantenimiento estratégico para empresas industriales o de servicios. – Marzo del 2007 – Medellín – Colombia – Segunda edición – Editorial AMG – ISBN: 958-33-8218-3 – Paginación: 78-79.

RAMAKUMAR, Ramachandra – *Engineering Reliability. Fundamentals and Applications*. New Jersey, NJ, USA: Prentice-Hall, 1993.

VALLEJO J, Juan Santiago – Aseroría sobre la fabricación de los indicadores CMD en powerbuilder 7 en la Universidad Eafit. Septiembre y octubre del 2007 – Medellín – Colombia. – e-mail: jvallej6@eafit.edu.co.

EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE LA METODOLOGÍA DE DIAGNÓSTICO TÉCNICO MULTIDIMENSIONAL BASADA EN EL SVD



ÁNGELA MARÍA ARÉVALO HURTADO

aarevalo@eafit.edu.co

Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS

MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

ASESOR PRINCIPAL

FRANCISCO JAVIER BOTERO HERRERA

SECTOR BENEFICIADO

UNIVERSIDAD EAFIT

RESUMEN

En este artículo se presenta el procedimiento empleado en la evaluación de la metodología de diagnóstico técnico multidimensional basada en el SVD¹, para un modo de falla de una máquina rotativa; simulado por medio de un banco de prueba experimental, trabajando bajo condiciones controladas. Además en la parte final se observan los resultados obtenidos, así como su respectivo análisis y las conclusiones generales del proyecto.

ABSTRACT

This article presents the procedure used in the assessment of the multidimensional diagnostic technique methodology based on SVD, applied to a failure mode of a rotatory machine; simulated by an experimental model, working under controlled conditions and shows too the results obtained with its respective analysis and general conclusions.

PALABRAS CLAVE

SVD, matriz de observación de síntomas (SOM), síntoma de fallo generalizado, perfil del SD_1 , participación de síntomas.

KEY WORDS

SVD, Symptom observation matrix (SOM), generalized fault symptom, SD_1 , profile, Symptom participation.

¹ SVD: por sus siglas en inglés Singular Value Decomposition

INTRODUCCIÓN

El diagnóstico técnico es la rama de la ingeniería que se encarga de estudiar el estado técnico, su causa y el cambio posible en el horizonte futuro de los sistemas técnicos. (BOTERO Y CASTAÑEDA, 2006)

La complejidad de los sistemas técnicos contemporáneos genera la necesidad de emplear nuevos sistemas de monitoreo de máquinas que minimicen los riesgos de operación del sistema, evaluando múltiples variables simultáneamente. (BOTERO Y CASTAÑEDA, 2006) Uno de los métodos utilizados para el diagnóstico multidimensional de síntomas es el propuesto por Cempel y Natke. En este proyecto se busca evaluar la aplicación de este método en un caso particular, modo de falla de una máquina rotativa; simulado por medio de un banco de prueba experimental.

Los pasos seguidos para realizar esta verificación son:

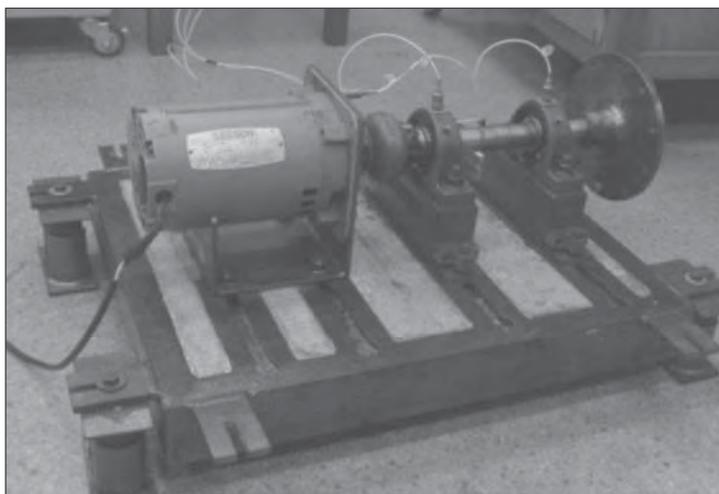
- Establecer los modos de vibrar del sistema y con base en ellos seleccionar un punto de operación para realizar la simulación de un modo de falla
- Seleccionar los parámetros a monitorear en el sistema

- Simular un modo de falla y capturar la señal proveniente de la simulación.
- Establecer posibles síntomas y validar su comportamiento de acuerdo a las propiedades de síntoma técnico.
- Construir la matriz de observación de síntomas
- Crear un síntoma especial, que se manipula para identificar el efecto que generan las variaciones del síntoma sobre los resultados.
- Aplicar el método de diagnóstico técnico multidimensional basado en el SVD, a las matrices de síntomas.
- Analizar los resultados obtenidos.

PUNTO DE OPERACIÓN DEL SISTEMA PARA LA SIMULACIÓN

El banco de pruebas empleado, que pertenece al laboratorio de Mecánica Experimental de la Universidad EAFIT se presenta en la Figura 1. Está compuesto por una base de concreto que soporta: un motor, un eje principal, un acople, un par de rodamientos y un disco perforado. Adicionalmente, se apoya sobre cuatro resortes metálicos.

FIGURA 1
Banco de pruebas



Para establecer los modos de vibrar del sistema se emplean los instrumentos presentados en la Tabla 1 y los parámetros de adquisición de la Tabla 2.

TABLA 1
Lista de instrumentos

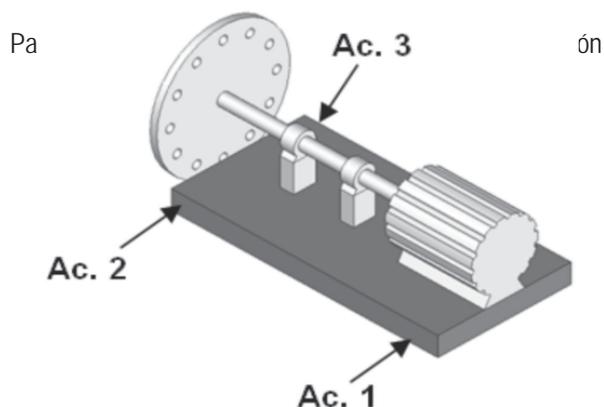
INSTRUMENTO	MARCA	REFERENCIA	CANT.
Sensor de aceleración	HBM	B12/200	3
Amplificador	HBM	MGCplus (ML455)	1
Variador de velocidad	Siemens	Micromaster 420	1
Computador	Genérica		1

TABLA 2
Parámetros de adquisición de datos

PARÁMETRO	VALOR	UNIDADES
f_s	400	Hz
Δt	0,0025	s
t	8	s
n	3200	muestras
Δf	0,125	Hz

Para establecer los modos de vibrar del sistema se fijan tres sensores a la base del banco de pruebas como se muestra en la Figura 2.

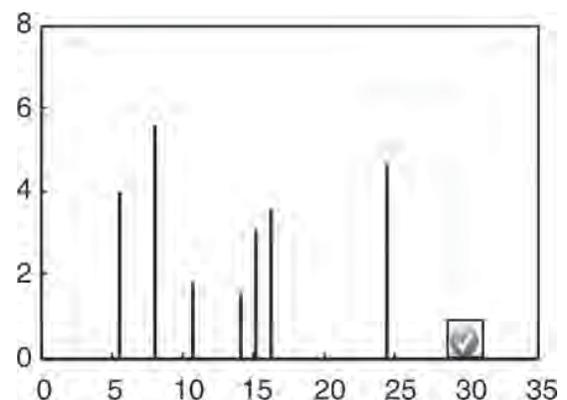
FIGURA 2
Puntos de medición



de los sensores, después, empleando el variador de velocidad se realizan dos barridos desde 5Hz hasta 60Hz, con un paso de 0,05Hz, identificando de forma cualitativa las diferentes velocidades a las que el sistema entra en

resonancia, cada vez que esto ocurre se captura la señal. Los modos de vibrar identificados se presentan en la Figura 3.

FIGURA 3
Modos de vibrar del sistema



El rango de frecuencias de excitación en el que se concentra la mayor parte de los modos de vibrar es entre 5Hz y 17Hz y el último modo de vibrar considerable se presenta a 24,5Hz, por lo tanto se acepta como frecuencia de operación 30Hz, como se indica en la Figura 3.

SIMULACIÓN DEL MODO DE FALLA

El modo de falla seleccionado es el desbalanceo, debido a que las características del banco de pruebas facilitan su simulación. Para capturar y procesar la señal proveniente del daño se emplean los instrumentos presentados en la Tabla 3, con los parámetros de adquisición presentados en la Tabla 4.

TABLA 3
Lista de instrumentos (simulación)

INSTRUMENTO	MARCA	REFERENCIA	CANT.
Sensor de aceleración	Kistler	8704B50M1	2
Acondicionador	Kistler	5118B2	2
Tarjeta de adquisición	National Instruments	PCI-6036E	1
Variador de velocidad	Siemens	Micromaster 420	1
Computador	Genérica		1

TABLA 4
Parámetros de adquisición (simulación)

PARÁMETRO	VALOR	UNIDADES
f_s	500	Hz
Δt	0,002	s
t	5	s
n	2500	muestras
Δf	0,2	Hz

De acuerdo a la norma ISO 2372, se establece la ubicación de los dos acelerómetros, sobre el rodamiento más cercano al desbalanceo, con un ángulo de 90° entre ellos. El acelerómetro 2 se ubica horizontalmente, mientras que el acelerómetro 1 verticalmente. Además, los parámetros a monitorear según normas técnicas son los presentados en la Tabla 5.

TABLA 5
Parámetros a medir

PARÁMETRO	NORMA	ECUACIÓN
Valor Xrms	ISO 2372	$x_{rms} = \sqrt{\frac{\sum x_i^2}{N}}$
Valor Pico-Pico	NEMA MG 1-1998	$x_p = 2 * \max\{x(t)\}$

Se debe tener en cuenta que aunque la norma NEMA habla del valor pico-pico, en el proyecto se trabaja con valor pico. Para realizar la simulación del desbalanceo se

ubican 11 masas sobre el disco perforado aumentando la excentricidad, para cada masa se realizan 40 mediciones.

Una vez se realiza la simulación, se valida la normalidad de los datos capturados, la cual no se rechaza para ninguna de las mediciones con una confiabilidad del 90%. Además se establecen posibles síntomas, posteriormente se determina cuales de ellos cumple con las propiedades de síntoma técnico y se emplean en la construcción de la SOM.

PROPIEDADES DEL SÍNTOMA

Medible directa o indirectamente (CEMPEL y NATKE, 1997, p.37):

- Relación funcional a la medida del daño.
- Alta sensibilidad al daño como propiedad local.
- Robusto hacia perturbaciones desconocidas como un propiedad global.
- El valor absoluto es una función no decreciente del tiempo.
- Permite estimación de tendencia

Como posibles síntomas para los parámetros seleccionados (valor Xrms y Valor pico) se establecen la media, la desviación estándar, la kurtosis y el sesgo, sin embargo sólo la media presenta una relación funcional a la medida del daño, mientras que los demás presentan un comportamiento errático a lo largo de la vida del sistema. Así que sólo la media se emplea para la construcción de la SOM, ésta se presenta en la Tabla 6 .

TABLA 6
SOM medida

	Xrms acel 1	Xrms acel 2	Pico acel 1	Pico acel 2
Med_0	0,251764	0,446741	0,428714	0,830962
Med_1	0,439154	0,531082	0,680646	0,995184
Med_2	0,488172	1,036981	0,749316	1,711628
Med_3	0,610249	1,493770	0,916429	2,338905
Med_4	0,561266	1,695734	0,850245	2,588698
Med_5	0,852260	2,173351	1,259054	3,420888
Med_6	1,148095	2,547802	1,687384	3,882903
Med_7	1,154237	2,884086	1,681995	4,289676
Med_8	3,682725	6,553334	5,282054	9,471494
Med_9	5,664783	8,879488	8,109876	12,759768
Med_10	9,521903	12,723324	13,593766	18,212340

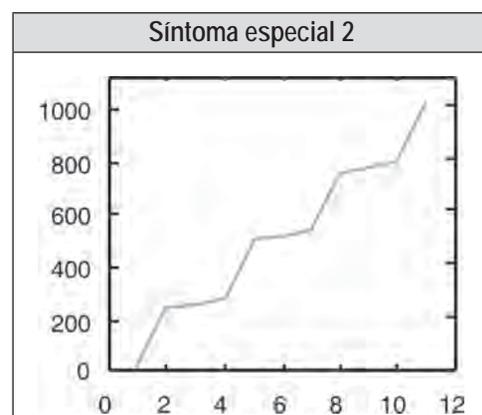
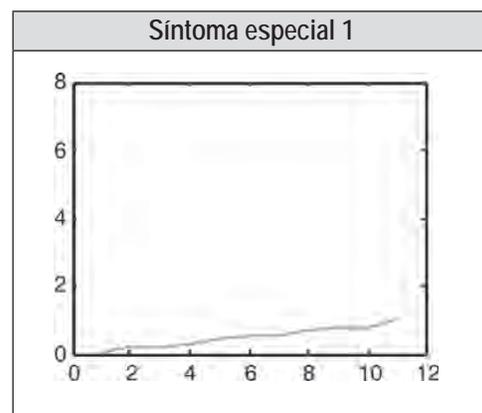
SÍNTOMAS ESPECIALES

Los síntomas especiales se construyen de tal forma que sean diferentes a los síntomas medidos, y se les asignan: al primero un valor inicial menor al de los demás síntomas de la SOM y un rango inferior al de ellos. Y al segundo un valor inicial mayor al de los demás síntomas y un rango mayor al de ellos.

TABLA 7
Síntomas especiales (datos)

Sint. Esp. 1	Sint. Esp. 2
0.001	5.001
0.22	225
0.24	245
0.26	265
0.48	485
0.5	505
0.52	525
0.74	745
0.76	765
0.78	785
1	1005

TABLA 8
Síntomas especiales (gráficas)



PROCESOS DE TRANSFORMACIÓN DE LA SOM

Antes de aplicar el método de diagnóstico multidimensional basado en el SVD es necesario primero aplicar a la SOM alguna de las transformaciones presentadas en la Tabla 9. (CEMPEL, 2000, p.6)

TABLA 9
Transformaciones a aplicar a la SOM

TRANSFORMACIÓN		ECUACIÓN
1	Centrado y normalizado con respecto al estado aceptable	$o^{-j} := \left(\frac{o_{1j} - h^j}{h^j}, \dots, \frac{o_{pj} - h^j}{h^j} \right)^T, \quad j = 1$
2	Centrado con respecto al estado aceptable y normalizado respecto al valor RMS.	$o^{-j} := \left(\frac{o_{1j} - h^j}{RMS(o^j)}, \dots, \frac{o_{pj} - h^j}{RMS(o^j)} \right)^T, \quad j = 1, \dots, r$ $RMS(o^j) := \frac{\ o^j\ }{\sqrt{p}}$

DESCOMPOSICIÓN DE LA SOM EN VALORES SINGULARES

Después de aplicar a la SOM alguna de las transformaciones, se procede a realizar la descomposición en valores singulares (SVD), con el fin de extraer las diferentes fallas generalizadas que evolucionan en un sistema. La aplicación del SVD para dimensionar la matriz de observación de síntomas, se expresa de la siguiente manera (CEMPEL y otros, 2000, p.5)

$$O_{pr} = U_{pp} * \Sigma_{pr} * V_{rr}^T$$

Donde:

U_{pp} : Matriz ortogonal de dimensión p , de los vectores singulares izquierdos.

V_{rr} : Matriz ortogonal de dimensión r , de los vectores singulares derechos.

Σ_{pr} : Matriz diagonal de los valores singulares.

Σ_{pr} : $diag(\sigma_1, \dots, \sigma_1)$, con $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \dots \sigma_z > 0$,

SÍNTOMAS DE FALLAS GENERALIZADOS

Usando los valores y vectores singulares σ_1, u_i, v_i obtenidos a partir del SVD, se puede obtener la interpretación de la

evolución de la condición de estado del sistema técnico en términos de los síntomas de la falla generalizada: (CEMPEL y otros, 2000, p.4)

PROCEDIMIENTO

El método se aplica a tres SOM, la primera contiene solamente información medida (11x4), la segunda contiene la información medida además del síntoma especial 1 (11x5) y la tercera contiene la información medida además del síntoma especial 2 (11x5).

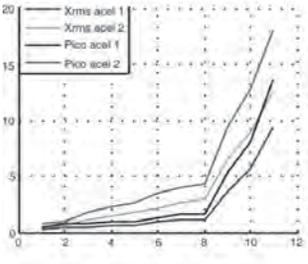
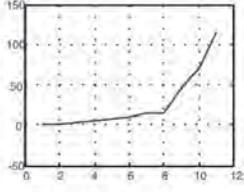
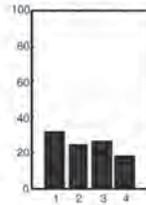
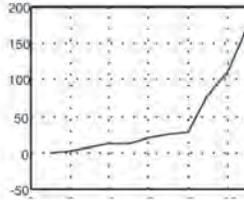
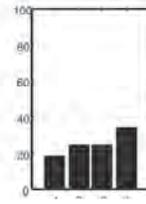
RESULTADOS

A cada una de las tres SOM se le aplican las transformaciones con el fin de identificar las variaciones que se presentan en los resultados a causa de la elección de una transformación. Además, también se aplica a las SOM que incluyen el síntoma especial con el fin de comparar estos resultados con los de la SOM original determinando su influencia sobre ellos.

En las tablas 10, 11 y 12 se presentan los resultados obtenidos tras aplicar el método. En las filas se ubican las transformaciones y en las columnas, las gráficas de la

SOM sin transformación, de los valores singulares, del primer síntoma de fallo generalizado (SD₁) y de la covarianza entre el SD₁ y los síntomas.

TABLA 10
Resultados SOM original

SOM (Xrms, Pico)	T	Valores singulares	SD ₁	Participación de síntomas
	1			
	2			

Esta prueba corresponde al sistema de referencia y es elaborada con base en datos netamente reales. Se utiliza para comparar con las demás pruebas en las que se involucra el síntoma especial.

En cuanto a los resultados, obsérvese como el perfil del SD₁, parece ser el resultado de la información proporcionada por todos los síntomas y no por uno en particular. Esto se puede verificar en la gráfica de participación de síntomas, en la que todos los síntomas se encuentran entre 30% y 40%. Nótese además que la participación de los síntomas es diferente para la transformación 1, ya que el síntoma 4 no es el que más aporta información sobre la falla y por el contrario, parece ser el de menor peso.

TABLA 11. Resultados SOM (síntoma especial 1)

SOM (Xrms, Pico, S. Esp. 1)	T	Valores singulares	SD ₁	Participación de síntomas
	1			
	2			

Las características principales del síntoma especial 1 son una amplitud muy pequeña y un valor inicial mucho menor al de los demás síntomas de la SOM.

Obsérvese que el perfil SD1 obtenido al aplicar la transformación 1 está determinado principalmente por el síntoma especial, mientras que con la segunda transformación este perfil obedece a la combinación de todos los síntomas, excepto el especial. Esto se evidencia en la gráfica de participación de síntomas donde en la primera transformación, el síntoma especial supera el 90%, mientras que al aplicar la segunda su participación es despreciable.

TABLA 12. Resultados SOM (síntoma especial 2)

SOM (Xrms, Pico, S. Esp. 1)	T	Valores singulares	SD ₁	Participación de síntomas
	1			
	2			

Este síntoma tiene la misma forma y rango del síntoma empleado en la prueba anterior, pero se le asigna un valor inicial mayor al de los demás síntomas de la SOM.

En este caso todas las transformaciones presentan resultados similares al caso anterior; sin embargo, en este caso al aplicar la primera transformación, la participación del síntoma especial es menor a la obtenida con las demás transformaciones, y así mismo, menor a la obtenida en la prueba anterior al aplicar la misma transformación.

DISCUSIÓN

En todos los resultados es posible observar un único fallo generalizado dominante que refleja el hecho de haber considerado en las pruebas un único modo de falla controlado, desbalanceo.

En aquellos casos en que se aplica la transformación 1, el valor inicial influye en la participación de los síntomas. Se observa que a menor valor inicial, mayor participación del síntoma en la explicación de la falla, siempre y cuando se trate de valores inferiores a 1. Cuando se aplica el síntoma especial 1, con valor inicial 0,001 (debajo de los demás síntomas), adquiere una participación en el fallo generalizado que supera el 80%, esto también se puede ver en la gráfica de SD1 de la Tabla 11. Además de acuerdo a los resultados presentados en la Tabla 12, la transformación 1 no sólo es sensible a valores iniciales bajos, sino también a altos rangos de variación.

En aquellos casos en que se aplican la segunda transformación, el rango de variación del síntoma es el que determina su participación en la explicación del daño. Se observa que a mayor rango mayor participación del síntoma en la explicación del SD1.

Cuando se analiza la SOM que contiene información únicamente proveniente de la medición (valores Xrms y picos), en el caso en que se aplica la transformación 1 el síntoma de mayor peso es el valor Xrms medido con el acelerómetro 1, debido a que es el que presenta un valor inicial menor, mientras que el valor pico medido por el acelerómetro 1 es el de menor peso porque tiene el valor inicial más alto de todos. Con la otra transformación, el síntoma de mayor peso es el de mayor amplitud (valor pico acel. 2) y el de menor peso el de menor amplitud (valor Xrms acel. 1).

CONCLUSIONES

El método evaluado ha probado tener una gran aplicación y validez dentro de muchos campos de la ingeniería como lo demostró la revisión de la literatura y estado del arte. Sin embargo los resultados del experimento realizado entregaron evidencia para inferir que las transformaciones

aplicadas actualmente a la SOM, influyen en la relación entre los síntomas y los fallos.

Se encontró que la criticidad que el método otorga a un síntoma determinado depende de su valor inicial y su variación (rango). La dependencia de uno o de otro depende de la transformación aplicada. La primera transformación da importancia al valor inicial del síntoma y a su variación. Mientras que la segunda transformación parece dar mayor importancia a la variación de los síntomas.

No hay razón para suponer, que el valor inicial y el alcanzado por un síntoma en un instante de tiempo θ , sean parámetros determinantes en la condición del estado de un sistema técnico. Por esta razón, se puede concluir que el método tal y como ha sido concebido hasta el momento, presenta limitaciones en términos del sistema de unidades, de la escala utilizada para cuantificar la naturaleza de los síntomas y de restricciones propias del funcionamiento del sistema.

BIBLIOGRAFÍA

BOTERO Francisco; CASTAÑEDA, Leonel. Estado futuro de bombas centrífugas, metodología de diagnóstico. En: Revista universidad Eafit . Vol. 42, No. 143 (Julio, 2006); p. 89-102.

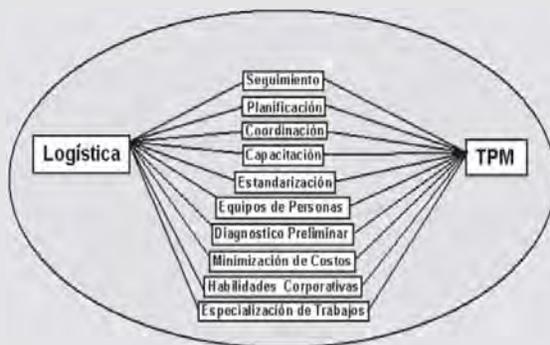
CEMPEL C, OELJEKLAUS M, BAUM P. Fault oriented decomposition of symptom observation matrix for systems condition monitoring. University of Hanover. Alemania. 2000.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Documentación: Presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación. Quinta actualización. Bogotá Colombia: ICONTEC, 2002. 34 p. NTC 1486.

ISO 2372. Mechanical vibration in rotating machinery. Basis for specifying evaluation standards for rotating machines with operating speeds from 10 to 200 revolutions per second. 1974. 9p.

NATKE H, CEMPEL C. Model - Aided Diagnosis of mechanical systems. Fundamentals, Detection, Localization, Assessment. Berlín, Alemania: Springer, 1997. 1, 5, 36 - 38, 41, 42, 56 - 61 p.

RELACIÓN ENTRE EL MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL Y LA LOGÍSTICA EN LAS INDUSTRIAS



JAIME ANDRÉS OROZCO MONTOYA

jorozcom@eafit.edu.co

Departamento de Ingeniería de Sistemas

ÁREA DE ÉNFASIS

MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

ASESOR PRINCIPAL

LUIS ALBERTO MORA GUTIÉRREZ

SECTOR BENEFICIADO

EMPRESA TEXTIL

RESUMEN

En este trabajo se presenta un estudio a la relación entre el *TPM*¹ y la logística que existe en las industrias.; la logística ofrece un nuevo camino de estudio al relacionarla con el *TPM*, ya que ambas están presentes en toda la cadena de la corporación, identificando las variables más relevantes en los planes de acción para ejecutar acertadamente cada una de las actividades que se deben llevar a cabo en cada pilar del Mantenimiento Productivo Total y así lograr una mayor eficiencia en el desarrollo de las mismas con la seguridad de obtener menos defectos en el proceso debido a su correcta complementación con la logística.

El proyecto se inició con un estudio a los conceptos fundamentales de cada temática. Esta conceptualización se hace con una visión enfocada a encontrar la información más relevante para el estudio. Después se hizo un análisis de tales conceptos para entablar las similitudes en su forma, método, frecuencia y herramientas para la operación de cada temática.

Por último se hizo un análisis minucioso de cada paso que se hace en el proceso del *TPM* y se le hizo un complemento al modelo tradicional propuesto por Tokutaro Suzuki en su libro: *TPM en Procesos industriales*, con la integración de una función logística que abastecería las actividades con diferentes aspectos como: herramientas, información, insumos, papelería de registro y materia prima, así como una labor administrativa de programación, disposición, planeación y análisis de datos de forma estadística para iniciar un control de mantenimiento productivo con el fin de lograr el Justo a Tiempo².

ABSTRACT

This project it is about the study to the relation between the Total Productive Maintenance and logistics that appear exist in the industry; the logistic gives a new way of study after relation it with *TPM*, that is why both of them are present over all the company operations chain identifying the most relevant variables

1 *TPM*: Siglas en inglés para: Total Productive Maintenance – Adaptado al español – Mantenimiento Productivo Total

2 *JIT*: Siglas en inglés para: *Just in Time* – Adaptado al español – Justo a Tiempo

on the action plans to execute certainly each one of the activities in the pillars of the *TPM* and then achieve a better efficiency on their development with the security to obtain less defects on the process thanks to the logistic complementation.

This work begins with the study of the fundamental concepts of each topic. This conceptualization was done focused to find the real important information for this study. After that, it followed the analysis of those concepts to create some similarities its structure, method, frequency and tools to each thematic operation.

Finally, making a deep analysis of each step of the *TPM* process, a complement was done to the traditional *TPM* model proposed by Tokutaro Suzuki on his book *TPM* in industrial processes, with the integration of a logistic function that would supply those *TPM* activities on many ways as: tools, information, elements, register papers and raw material, as another administrative labor like: scheduling, disposition, planning and data analysis on a statistic way to initiate a productive maintenance control to make successful the *Just In Time (JIT)*.

INTRODUCCIÓN

Para resistir la globalización y sus implicaciones hacia nuevas tendencias de optimización en todos los aspectos corporativos, y teniendo como objetivo la minimización de pérdidas para lograr un nivel competente de precios en el mercado global, se han creado diferentes técnicas alternativas de producción más eficientes que concentran esfuerzos en todos los departamentos de la compañía, para maximizar utilidades y tener control total sobre la producción.

Lo que se pretende con este trabajo es reforzar la conciencia nacional acerca de la innovación industrial, para darle valor a la industria colombiana y acercarla a modelos de producción desarrollados, ya que con el conocimiento del estado de la industria local se pueden aplicar las últimas técnicas internacionales de mantenimiento productivo total *TPM*, combinadas con las labores de logística que

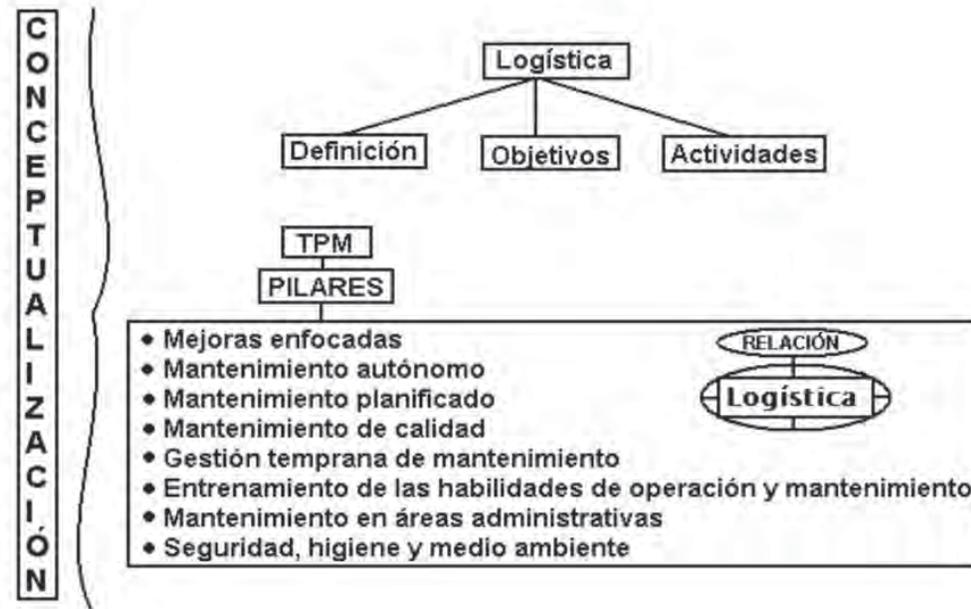
se deben llevar a cabo en el proceso industrial. De forma recíproca se puede beneficiar el proceso logístico de las compañías con la aplicación del *TPM* y así generar menos pérdidas en todos los niveles corporativos y aumentar el ahorro financiero para solventar otras necesidades y estar siempre al primer paso en la innovación de la producción. Con el paso del tiempo, se logrará estar mejor preparados para la globalización industrial y con mejores posibilidades de abrir nuevos mercados en el ámbito internacional por la competitividad generada con la eficiencia de los procesos en la compañía.

Este trabajo se hace como una medida evolutiva a las estrategias de productividad a nivel operacional de las industrias, donde con frecuencia el *TPM* es implementado o desarrollado con falencias en su ejecución debido a la mala planeación y programación en las acciones realizadas. Lo que se quiere encontrar es básicamente un modelo de aplicación de la logística en los ocho pilares del *TPM*, para lograr con éxito y en el menor tiempo posible la maximización de recursos y disminución de pérdidas sobre la operación plena, acompañado de una serie de recomendaciones básicas que se deben tener en cuenta para cada tipo de industria.

CONCEPTUALIZACIÓN TEÓRICO-PRÁCTICA

Se habla del desarrollo conceptual de los dos temas que se intentan relacionar, con el fin de que se empiecen a formar conexiones cognitivas entre ellos y se de un bosquejo global de cómo podrían combinarse estas dos disciplinas en el desarrollo del *TPM* en la industria. No se trata de profundizar en temas ya estudiados a fondo por otros autores, sino de establecer los conceptos más relevantes que se les dar una imagen en el escenario del otro tema, respectivamente para cada uno; se espera que nuevas rutas inicien su conformación para dar fundamento al estudio de esta relación temática. A continuación (fig. 1) se da un esquema general de cómo se abarca la integración de los conceptos de cada tema.

FIGURA 1
Esquema de conceptualización teórico-práctica



(Aristizábal y Ángel, 2007)

LOGÍSTICA

La logística se entiende como un sistema con actividades dependientes que pueden variar de una organización a otra, dependiendo del objetivo final de cada una, pero normalmente incluye las siguientes funciones (Castro, 2005):

- Compras
- Transporte
- Almacenamiento
- Inventarios
- Planeación de producción
- Organización de equipos
- Gestión de personal
- Embalaje
- Servicio al cliente

La logística interna se encarga de suplir todas las necesidades de mercancía, herramientas e información, para lo cual se debe contar con equipos de trabajo correctamente comunicados para lograr una cadena de

abastecimiento al interior de la compañía, algo que está enteramente relacionado con el *TPM*, ya que este se evalúa a nivel interno y tiene que ver con las eficiencias operacionales dentro de una planta. Si se combina un ejercicio apropiado de la logística con el desarrollo del *TPM*, se logrará validez operativa en un tiempo menor al que normalmente toman las actividades del *TPM*, por tal motivo este enfoque de la logística será el principal objeto de estudio de este trabajo para encontrar su relación directa con la metodología del mantenimiento productivo total.

MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL, TPM

El *TPM* se orienta a crear un esquema corporativo que maximiza la eficiencia de todo el sistema productivo, estableciendo mecanismos que previenen 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. Se aplica en todos los sectores, incluyendo producción, desarrollo y departamentos administrativos. Se apoya en la participación de todos los

integrantes de la compañía, desde la alta gerencia hasta los operarios. La obtención de cero pérdidas se logra a través del trabajo de pequeños equipos.

Características del *TPM* (González y Palacio, 2006):

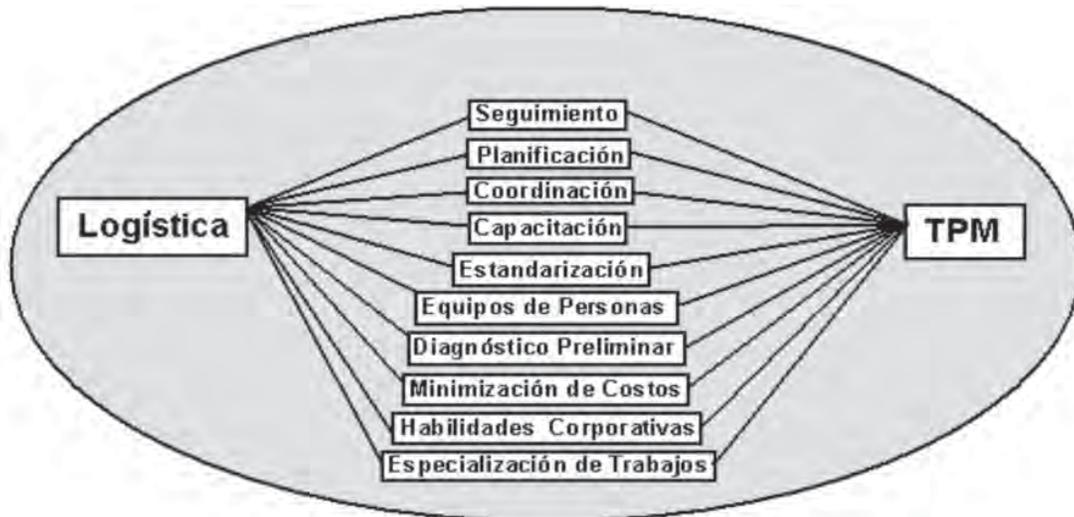
- Implica acciones de mantenimiento en todas las etapas del ciclo de vida del equipo.
- Procura una amplia participación de todo el personal de la organización.
- Constituye una estrategia global de la compañía en lugar de ser un proyecto de mantenimiento.
- Mejora la efectividad de las operaciones en vez de dedicarse a mantener los equipos en funcionamiento.
- Hace que todo el personal deba estar involucrado, desde los altos niveles jerárquicos hasta los más bajos.

- Determina que los procesos de mantenimiento estén fundamentados en la experiencia del personal en la producción.

SIMILITUDES ENTRE LOS DOS TEMAS

El segundo capítulo de este trabajo se enfoca hacia las similitudes y diferencias que tienen las actividades del *TPM* y la logística (fig. 2) bajo un escenario empresarial, donde hay departamentos de producción, administración, calidad, mantenimiento y mercadeo, entre otros. Se tomarán en cuenta las dimensiones de una y otra metodología, aunque claramente la logística tiene mayor cobertura. Las dos partes tienen mucho en común a simple vista, pero el propósito de este capítulo es indagar en ambas teorías e identificar cuáles serían las similitudes más relevantes entre las actividades de cada una.

FIGURA 2
Similitudes



RELACIONES DIRECTAS EN LAS ACTIVIDADES DEL TPM Y LA LOGÍSTICA

Las relaciones directas entre las dos estrategias permiten ver claramente qué papel puede desempeñar el grupo logístico en el proceso de mantenimiento. El *TPM* se concentra en formar sus conceptos como estrategias de producción, no como un proyecto paralelo a cualquier otro que se adelante; la logística es un campo que está presente en todos los departamentos de la empresa, debe suplir todas las necesidades materiales e informativas, por lo tanto es un grupo que está al tanto de la operación o el rumbo productivo de la compañía. Si se logra hacer interactuar estos dos grupos de manera estratégica,

el proceso total del *TPM* se vería mucho más beneficiado, logrando los estándares de desempeño máximos por encima de lo normal, en menos tiempo que si no se tuviera en cuenta esta interacción.

MODELO GENERAL DE APLICACIÓN DE LOS PILARES DEL TPM RELACIONADOS CON LAS ACTIVIDADES DE LOGÍSTICA

El cuarto capítulo de este trabajo tiene como objetivo generar un modelo en el que se combinen la logística y el *TPM*, para que ambas partes trabajen de manera conjunta por un bien común, sincronizando a todo el personal involucrado que realiza las actividades de ambas funciones

que pueden ser de cualquier cargo o departamento, debido a que ambas teorías están involucradas en la mayoría de los puestos de trabajo de una compañía.

El esquema de la modelación del complemento entre el *TPM* y la logística es fundamentado en las actividades que se plantean en cada pilar (fig. 3) donde la relación operacional genera un nuevo concepto de desarrollo del mantenimiento productivo en la compañía. Se darán las funciones explícitas que debe desempeñar el grupo logístico como asistencia en el abastecimiento de todo lo necesario para realizar las actividades que promulga cada pilar del *TPM*

FIGURA 3
Esquema del modelo de la relación TPM – Logística



(Aristizábal y Ángel, 2007)

CONCLUSIONES

En el estudio de las relaciones en la aplicación del *TPM* y la logística en la industria, se puede ver que la documentación para la búsqueda de nuevos paradigmas o alternativas funcionales que hagan más eficientes los procesos de mantenimiento, son carentes de la integración de la logística en las actividades de los pilares que fundamentan el *TPM*; sólo algunos autores apenas mencionan la relación entre estos dos temas, y los enfoques todavía no se han diversificado hacia la parte de la logística industrial, debido posiblemente a la cambiante industria de los últimos tiempos que ha hecho también que los conceptos del *TPM* estén redefiniéndose pero siempre sobre la misma filosofía.

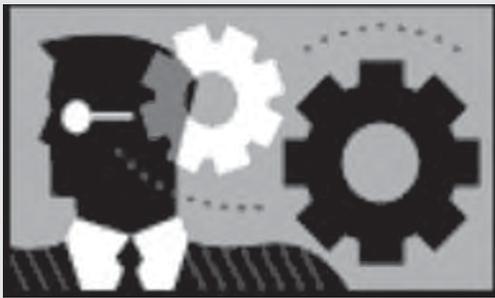
Se comenzó a generar una nueva estructura de funcionamiento combinada con la identificación clara de la relación entre el *TPM* y la logística, lo que permitió formular un modelo de aplicación en el cual estas nuevas relaciones sean incorporadas a las actividades del *TPM*, de manera pertinente, para que lograr mayor eficiencia laboral y un fortalecimiento al nuevo sistema de mantenimiento, esto concentrado en la minimización de costos y tiempos para maximizar productividad, siempre con la esperanza de que esta moderna relación laboral genere mayores utilidades.

De las relaciones que se encontraron en las actividades que se hacen en el mantenimiento productivo con la logística, se pudo percibir una generación del valor en la cadena de la empresa ya que se podría optimizar en procesos de mantenimiento y uniría a la logística como otro pilar de apoyo a la estrategia de la compañía. Al unirse estas dos disciplinas se puede empezar a divisar un nuevo orden de actividades que se perfilaría por ser mejor planeado en beneficio del rumbo más ideal de la compañía, los esfuerzos por lograr los cero defectos serían mejor encausados y desarrollados pues la filosofía de la logística, en cuanto a la optimización, se complementa mutuamente con la del *TPM*; esto llevó a pensar que podría existir un modelo de aplicación de los pilares del *TPM* relacionados con la logística, se inició un nuevo camino que empieza a aclararse a medida que las relaciones se hacen más directas.

Se pudo ver que el resultado del modelo es una conformación actividades donde se le integra una función específica del grupo logístico. Como resultado se obtiene una estrategia de *TPM* no pura, es decir, bajo los fundamentos del *TPM* tradicional se formo una nueva visión de desarrollo o en algunos casos implementación. El modelo muestra la fuerte unión que se puede llegar a tener cuando dos grandes fuerzas como la logística y el *TPM* se reúnen y crean un ambiente de trabajo organizado y eficiente.

El apoyo logístico que recibe actualmente un programa de *TPM* no se ve tan claro como se demuestra en este trabajo, el cual examina a fondo toda la problemática que esta metodología encierra con respecto a la logística. La unión de estos dos temas da como resultado una herramienta sólida para el progreso y el buen desarrollo de una empresa que tenga enfocada su metodología administrativa a la logística. Esta fuerte unión puede ser la base de grandes cambios a largo plazo, obviamente realizando un estudio previo y ensayos en primera instancia.

IDENTIFICACIÓN DE CARACTERÍSTICAS ORGANIZACIONALES EN LA IMPLEMENTACIÓN DE MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL EN UNA EMPRESA PAPELERA QUE HA ENFRENTADO PROCESOS DE FUSIÓN



CARLOS ALBERTO ARAQUE URREGO.

caraqueu@eafit.edu.co

Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS
MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

ASESOR PRINCIPAL
GUSTAVO ADOLFO VILLEGAS

SECTOR BENEFICIADO
UNIVERSIDAD EAFIT

RESUMEN

Este proyecto recopila las características organizacionales más relevantes en la implementación de TPM (Mantenimiento Productivo Total) en empresas que enfrentan procesos de fusión basado en la experiencia práctica de una industria papelera.

Cuando dos o mas empresas se fusionan es común que presenten grandes diferencias en sus estructuras administrativas y corporativas. Luego de la fusión debe desarrollarse un fuerte trabajo en pro de homologar los programas corporativos que posee cada organización; de esta manera se logra consolidar un único programa, el cual se trabajará fuertemente para alcanzar el éxito de la organización en todas sus dimensiones.

El presente trabajo se centra en la fusión del TPM, como programa corporativo, basado en la experiencia práctica recopilada de la compañía, Colombiana Kimberly Colpapel S.A. y en estudios anteriores que se enfocan en dicho tema.

ABSTRACT

This project compiles the most important organizational characteristics at the implementation of tpm (total productive maintenance) in companies that face merger processes based on the practical experience of a paper industry.

When two companies merge is common that they present great differences in their administrative and corporative structures. After a fusion the company must work in accrediting the corporative programs that each organization has; so, it consolidate a lonely program, which will works strongly to achieve the success of the organization in all its dimensions.

The present work is focus in the merge of TPM, like corporative program, based on the practical experience compiled of the company, Colombiana Kimberly Colpapel S.A. and on previous studies that focus in this subject.

KEY WORDS

TPM, merger, organizational characteristics, corporative program.

INTRODUCCIÓN

La gran mayoría de las compañías actuales, se ven en la obligación de realizar múltiples cambios en sus esquemas administrativos, con el fin de responder a las altas exigencias del mercado actual.

Un proceso de cambio en una organización se puede dar de diferentes formas, pero todas ellas van dirigidas a aumentar los beneficios económicos y disminuir los riesgos reales y potenciales de la compañía, con el fin de garantizar su permanencia en el medio industrial.

Durante los últimos años, se ha generado en países latinoamericanos y particularmente en Colombia un proceso de reestructuración de las organizaciones obligándolas a introducir nuevas herramientas administrativas que les permita enfrentar la alta competencia en términos de calidad y economía con compañías locales y extranjeras. Dentro de dicha reestructuración, es común encontrar la decisión de implementar un programa integral que permita mejorar la productividad y eficiencia de las compañías: El TPM. Igualmente se encuentra que varias compañías optan por adelantar alianzas y fusiones corporativas que las fortalezca productiva y económicamente.

FUSIÓN DE UN PROGRAMA CORPORATIVO

En el presente texto se entiende por fusión de un programa corporativo lo siguiente: dos compañías independientes toman la decisión de iniciar un proceso de fusión y cada una de ellas tiene implementado un programa corporativo denominado "X", el nivel de implementación de "X" suele presentar diferencias entre las dos compañías, y las posibles variantes que pueden encontrarse con respecto a "X" son:

- Las dos empresas han implementado satisfactoriamente el programa "X".
- Una empresa ha avanzado en mayor nivel que la otra en la implementación de "X".
- Una empresa ha implementado "X", mientras que la otra no ha pensado en implementarlo.

- Ambas empresas están pensando iniciar la implementación de "X" a muy corto plazo.

Cada nueva organización (después de la fusión) debe determinar internamente según sus políticas administrativas como realizar la fusión de sus programas.

PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS ORGANIZACIONALES DEL PROGRAMA TPM EN UN PROCESO DE FUSIÓN CORPORATIVA

El TPM es un programa corporativo bastante aplicado en nuestro país y su desarrollo se ha visto influenciado por otros procesos de cambio que se llevan a cabo simultáneamente con dicho programa, como los procesos de fusión y la implementación de las normas ISO, entre otros.

Cuando dos compañías toman la decisión de adelantar una fusión y están simultáneamente implementando TPM, deben tener presente la existencia de algunas diferencias relacionadas básicamente con la fase de implementación en la que se encuentra dicho programa. Por tal motivo, luego de un proceso de fusión se hace necesario homologar el TPM a nivel corporativo, de modo tal, que la nueva organización asuma dicho programa como prioridad dentro de sus estrategias administrativas, aprovechando las experiencias de las compañías precedentes a la fusión y la sinergia que empieza a desarrollarse entre ellas.

Aunque no existe una fórmula ni un procedimiento exacto que describa como adelantar la fusión de TPM, se pueden citar algunas características que deben tenerse en cuenta en la implementación de este tipo de programas cuando dos empresas toman la decisión de adelantar un proceso de fusión. A continuación se presentan algunas de dichas características:

El éxito del TPM, no depende de la estructura del programa en sí, sino de las habilidades y herramientas que desarrollan las personas en sus trabajos, esas nuevas habilidades son las que permiten que el cambio se pueda dar de una manera global beneficiando a toda la organización (Correa, 2005).

Antes de iniciar cualquier proceso de cambio de los ya descritos (fusión y TPM), la compañía debe esmerarse por realizar un análisis exhaustivo de su posición en el medio en el que se desenvuelve y de todos los factores que directa e indirectamente afectan el normal desarrollo del negocio. Inicialmente, la organización debe tener completo conocimiento de sus recursos y capacidades, para evitar caer en el error de iniciar un cambio sin la estructura necesaria para él; finalmente serán esos recursos los que le permitan desarrollar estrategias firmes de mejoramiento continuo.

De igual manera se debe analizar el entorno externo de la compañía y todas las variables que afectan dichos procesos de cambio; el ambiente tecnológico, social, cultural, legal, y económico, son algunos de los elementos externos que influyen notoriamente en el éxito de la organización y en sus estrategias administrativas. Debe recordarse que el TPM y los procesos de fusión, están muy lejos de ser considerados modas administrativas y por ende, debe planearse para que su desarrollo se consolide a través del tiempo como herramientas de alto desempeño para las organizaciones

Luego de tomar la decisión de fusionar el TPM, se debe diseñar un organigrama general del programa, asignando responsables directos y un plan de acción a seguir por cada uno de ellos, tomando como base los objetivos globales del programa. Dicho organigrama permite el diseño de los canales de comunicación a través de los cuales fluirá toda la información relacionada con el TPM. La comunicación debe fluir horizontal y verticalmente.

La información horizontal se da con el fin de compartir experiencias y conocimientos del programa entre los líderes de las empresas implicadas, buscando optimizar la solución de problemas y la puesta en marcha de nuevos planes de acción. Por otro lado la información vertical, se encarga en primera instancia de administrar las estrategias corporativas para la implementación del programa y en segundo lugar, de permitir la retroalimentación a lo largo de todo el organigrama lanzando alternativas de mejoramiento continuo que se apliquen a las diferentes empresas.

La comunicación es fundamental en un proceso de cambio y el buen uso que se de a la información influye directamente sobre las percepciones y la resistencia al cambio que tiende desarrollarse en la mayoría del personal. La Figura 6, presenta un posible organigrama a desarrollar para la estructura de TPM y sus flujos de comunicación en donde se involucra a todos los niveles de la organización desde los operarios hasta la alta dirección (Agudelo, 2006).

La cultura organizacional y el clima laboral son factores a los que se les debe brindar especial atención en un proceso de cambio. Por un lado una fusión obliga a la creación de una nueva misión, visión, valores y filosofía corporativa común para las empresas involucradas, y por otro lado la implementación de TPM conlleva un cambio de mentalidad de todo el personal hacia sus empleos, rompiendo con esquemas tradicionales de trabajo e involucrando a las personas de forma directa con todo su entorno laboral de manera proactiva, analítica e integradora. La mezcla de ambos procesos puede tornarse peligrosa para el éxito de la compañía si no es manejada de la manera adecuada. Es fundamental que la organización entienda que el cambio afecta directamente al recurso humano, y que en la medida en que este sea atendido, será su respuesta y su contribución a dicho cambio.

El uso de indicadores es indispensable para evaluar la evolución del TPM en la compañía y su contribución al mejoramiento de todas las actividades relacionadas con la productividad y la calidad de los bienes y servicios entregados por la organización. La medición y el monitoreo permanente son los instrumentos que están al alcance de la alta dirección para cuantificar los beneficios alcanzados con el TPM y generar medidas preventivas y correctivas que permitan acelerar la implementación del programa.

Para llevar a cabo un proceso de cambio indudablemente todas las compañías recurren a aplicar Benchmarking, bien sea de forma directa ó indirecta. Esta técnica esta presente durante todas las etapas de implementación de TPM, desde que surge la idea de introducirlo hasta que logra perpetuarse y mantenerse en el tiempo. Para la fusión de dicho programa, es de vital importancia que las compañías involucradas se analicen mutuamente para destacar las fortalezas que cada una tiene en materia de TPM,

permitiendo que cada empresa adquiera conocimientos de su nueva compañera con base en la experiencia que esta posee, este proceso puede denominarse Benchmarking interno.

Simultáneamente se aplica Benchmarking externo, al recurrir a indicadores y experiencias TPM de otras compañías líderes, con el fin de conocer la evolución y los beneficios obtenidos mediante la implementación del programa, teniendo precaución de no cometer errores en los que ya otros han caído.

La implementación de TPM en empresas fusionadas requiere de un alto liderazgo administrativo que permita direccionar correctamente el proceso de cambio conjunto. La efectividad de los líderes puede evaluarse en la medida en que se involucran con el programa y luchan en pro de alcanzar su éxito. Por consiguiente, el estilo de liderazgo es fundamental para el buen desarrollo del proceso y tiene repercusiones directas en la manera como lo asimilan las personas. El liderazgo tiene como finalidad permitir la

ejecución de las estrategias corporativas involucrando a todos los empleados, por ello es necesario contar con líderes integrales que además de tener un amplio conocimiento del programa posean facilidad para interactuar con todos los miembros y áreas de la organización.

El nivel de integración que se alcanza entre las compañías que hacen parte de una fusión es directamente proporcional al éxito y buen desarrollo del TPM como programa corporativo. La integración cultural es la única forma de garantizar una fusión en todas sus dimensiones. La falta de integración genera en el TPM alta fragilidad y su implementación solo alcanza niveles superficiales que pueden desmoronarse y llegar al fracaso con gran facilidad.

Análogamente se puede analizar la implementación del programa en una compañía cuyas áreas de trabajo presentan líneas divisorias; recuérdese que para el éxito del TPM, es fundamental la comunicación y entendimiento entre mantenimiento, producción, calidad, seguridad industrial, y las demás áreas de la organización.

TABLA 1
TPM vs Nivel de Integración

Alto	Se pueden obtener muchos beneficios como satisfacción de los empleados y un notable incremento en la eficiencia. El TPM puede aplicarse a gran escala	Alto riesgo de fallas en el programa de TPM con permanencia superficial. Fallas presentes en la implementación de TPM
	Buenas condiciones para introducir TPM sin mucha resistencia al cambio. Idealmente se debe tener implementado el sistema ISO Y TQM, antes de introducir TPM	Oportunidad de usar el TPM como un catalizador para el cambio. Necesidad de planear cuidadosamente la implementación del programa haciendo uso intensivo de una buena comunicación
Bajo	Alto	Bajo
Nivel de Integración		

Adaptación a partir de McAdam, 2000

CONCLUSIONES

La experiencia práctica del presente proyecto permitió identificar algunas características organizacionales que se deben tener presentes al analizar la fusión de un programa corporativo, basado en la experiencia de una industria papelera; entre ellas se hace alusión a la comunicación, el liderazgo, la cultura organizacional, la integración, el uso de indicadores y el benchmarking, entre otros.

Para la industria papelera motivo de análisis, el implementar TPM correctamente en un proceso de fusión requiere del diseño de una estructura interna a través de la cual se pueda canalizar toda la información relacionada con el programa. La comunicación en TPM, es la base que permite percibir y crear estrategias de mejora con base en la observación y retroalimentación de todo el proceso integral.

La fusión realizada entre Colombiana Kimberly y Colpapel S.A. creó una cultura organizacional híbrida formada por las diversas corrientes y modelos mentales provenientes de cada una de las organizaciones involucradas. Al contar con una mentalidad nueva, se tiene una gran oportunidad para reforzar la implementación de un programa corporativo como TPM; el éxito de este depende en gran medida de las habilidades y destrezas que se desarrollen en cada uno de los empleados antes y después de la fusión.

Los estudios previos de implementación de tpm en empresas fusionadas afirman que un alto grado de integración entre las compañías permite aplicar dicho programa a gran escala alcanzando la completa satisfacción de los clientes y un notable incremento en la eficiencia de los equipos y de la organización en general. por el contrario cuando la integración no es la base de la relación entre las compañías, se tiene un alto riesgo de fracaso del programa, el cual se implementa superficialmente y no logra consolidarse ni brindar los beneficios esperados.

Aplicar Benchmarking es de alta utilidad para el éxito de los cambios ya descritos. Fijar indicadores cualitativos y cuantitativos ayuda a controlar y evaluar constantemente la evolución del TPM; tales indicadores deben compararse con los alcanzados por plantas de alto desempeño que han enfrentado procesos similares, con el fin de aprender

de las debilidades y fortalezas de dichas organizaciones y formular planes de acción que permitan superar el proceso satisfactoriamente.

BIBLIOGRAFÍA

AGUDELO, Alejandro, Escobar Alejandro, 2006. Modelo para el estudio de implantación del Mantenimiento Productivo Total en empresas bajo un escenario de fusión. Trabajo de grado. Universidad EAFIT. Pg 1-87

ANONYMOUS, 2004. Mergers – The Cisco System. Strategic Direction, Pg 25

ANZOLA, Olga, 2000. Cultura Organizacional en Procesos de Cambio. Revista Dinero, Diciembre 7 de 2000, Pg 52-64

AL- HASSAN, Khalid, Joseph Fat-Lam Chan, Andrew Viggo Metcalfe, 2000. The role of total productive maintenance in business excellence. Vol 11, NOS. 4/5&6, Pg 1-6

S. A. BRAH, Chong, 2004. Relationship between total productive maintenance and performance. Vol 42, No 12, Pg 1-21

CARROLL, Jon, 2006. The Importance of Being Benchmarked. Trusts & Estates. Vol 145, No 8, Pg 43-51

CORREA, Juan Camilo, Alfonso Velez Rodriguez, Gustavo Adolfo Villegas, 2005. Elaboración de un instrumento para el estudio de los procesos de cambio asociados con la implementación de TPM en Colombia. Universidad EAFIT, Cuaderno 36. ISSN 1692-0694. Pg 1-60.

DENKENA, B., R Aritz, C Liedtke, 2006. Knowledge-based Benchmarking of Production Performance. Benchmarking. Vol13, Pg 190-200

ESCOBAR, Ibeth, 2006. Fusión y Adquisición: Nuevas tendencias de las organizaciones actuales. Vol 1, Pg 1-12

ESLER, David, 2005. And now we are one. Vol 97, Iss 5, Pag 52-58

- HESTEN, Tim, 2006. Culture Change for Proactive Maintenance. Vol 5, No 9, Pag 70-73
- IRANI, Zahir, Ahme Beskese, Peter Love, 2004. Total Quality Management and Corporate Culture: Constructs of Organisational Excellence. Pg 653 -670
- JANTAN, Muhamad, Aizzat Mohd Nasurdin, Wong Wai Peng, 2005. Influence of Employee Involvement in Total Productive Maintenance Practices on Job Characteristics. Vol 7, No 3, Pg 287-300
- KELLER, Robert, Louise Nemanich, 2007. Transformational leadership in an adquisition: A field study of employees. The Leadership Quarterly. Vol 18, Pg 49-68
- KHANDWALLA, Pradip, 2006. Tools for Enhancing Innovations in Enterprises. Vikalpa. Vol 31, No 1, Pg 1-17.
- McADAM, Rodney, Fergal McGeough, 2000. Implementing Total Productive Maintenance in multi-union manufacturing organizations: overcoming job demarcation. Vol 11, No 2, Pag 187-197.
- MARTINEZ, Noemí, 2006. Los recursos humanos en los procesos de fusión y adquisición. Vol 2, No 12, Pg 236-258
- NAKAJIMA, Seiichi. Introducción al TPM. Madrid: Tecnologías de gerencia y NAVARRO Elola, Luis; y otros. Gestión integral de mantenimiento. Barcelona, España. Marcombo Boixareu Editores. 1997.
- QUAH, Penélope, SthepheN Young, 2005. Post Adquisition Management: A Ahases Approach for Cross-Border M&As. European Management Journal. Vol 23, No1, Pg 65-75.
- RODRIGUES, Marcelo, Kazuo Hatakayana, 2006. Analysis of the fall of TPM in companies. Journal of Materials Processing Technology. Vol 179, Pg276-279.
- STAHL, Gunter, 2006. Every Mergers or Adquisitions promises to create valuef from some kind of synergy. Financial Times. ISSN 03071766, Pg 1-5
- SOPOW, Eli, 2007. The impact of culture and climate on change. Strategic HR Review. Vol 6, Iss2, Pg 1-4.
- VREDENBURG, Paul, 2006. Improving Performance Through Benchamarking. Rough Notes. Vol 146, No2, Pg 74-76.
- ZIRNMERMAN, Grez, 2006. When two companies become one. Building Operating Management. Pg 19-24
- Fabricato, Tejicondor. Cultura Organizacional, 2006. Disponible en <http://www.itransform.com/espanol/areas>
- Entre fusión y fusión ¿Quién se acuerda de los recortes de personal?. Recursos humanos, 2006 .Disponible en <http://wharton.universia.net/index.cfm?fa=viewArticle&id=1177>

IMPLEMENTACIÓN DE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y PREDICTIVO EN LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE PILA R20 EN LA PLANTA DE MANUFACTURA DE TRONEX BATTERY COMPANY S.A.



VIVIANA SANÍN PATIÑO
vsaninpa@eafit.edu.co
Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS
MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

ASESOR PRINCIPAL
JUAN IGNACIO GUTIÉRREZ

EMPRESA
TRONEX BATTERY COMPANY S.A.

RESUMEN

La gestión de mantenimiento a través de la planeación y del seguimiento de indicadores crea un impacto en la industria de bienes y servicios en aspectos generales, tecnológicos, productivos, medioambientales, normativos y educativos, en busca de obtener la más amplia información y así maximizar la productividad del sistema industrial.

La productividad de cualquier sistema industrial se maximiza 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 principio 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.

El objetivo del mantenimiento es lograr, con el mínimo costo, el mayor tiempo en servicio de las instalaciones y maquinaria productivas, con el fin de conseguir la máxima disponibilidad, aportando la mayor productividad y calidad del producto y la máxima seguridad de funcionamiento. Para optimizar este objetivo, es necesario que los factores de costo, tiempo de servicio y seguridad de funcionamiento sean posibles de medir, permitiendo efectuar su análisis para llegar a determinar nuevas acciones.

ABSTRACT

The management of maintenance through the indicators monitoring and planning creates an impact in the industry of goods and services in educational, normative, environmental, productive, technological, in search to obtain the most extensive information and thus to maximize the productivity of the industrial system.

The industrial productivity of the system is maximized with an effective process of registration, measurement and basic indices of the management of the maintenance evaluation (Confiability, Availability and maintenance).

The evaluation process is an effective way to optimize the takes principle of decisions related to the decrease of the failures inside a production system. In this process many decisions and actions, so much technical as not-technical, which should be adopted along the cycle of life of the assets.

The maintenance objective is to obtaining, with the most cost minimum, the major time in installations service and productive machinery, in order to obtaining the maximum availability, contributing the greater productivity and product quality and the maximum security of operation. To optimize this objective, is necessary that the factors of cost, time of service and security of operation be possible of measure, permitting to perform their analysis for come to determine new actions.

PALABARAS CLAVES

Análisis defalla, Efecto defalla, Confiabilidad, Mantenibilidad, Disponibilidad, CMD, Plan de mantenimiento.

KEY WORDS

Failure Analysis, Failure Effect, Confiability, Maintenance, Availability, CMD, Maintenance management.

INTRODUCCIÓN

El sector industrial evoluciona con nuevas estrategias para el logro de la máxima productividad y calidad con menores tiempos improductivos. Para lograr esto se requiere el diseño e implementación del plan de mantenimiento preventivo y predictivo involucrando registro, medición, y evaluación de los índices básicos en producción como eficiencia y en mantenimiento como confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad.

La metodología diseñada e implementada para esta evolución debe generar cambios que demanda e impone el mercado; en resumen, debe enfocarse al mejoramiento de la calidad del producto, a generar beneficios económicos, tecnológicos y sociales, teniendo como base la plena satisfacción del cliente.

La empresa Tronex Battery Company S.A. no es ajena a esta realidad y por esta razón se busca con este proyecto implementar un plan de mantenimiento que permita conocer el estado presente y futuro de las máquinas involucradas en la línea de producción R20, encargada de la fabricación de las pilas zinc-carbón D, una de las principales fuentes de ingresos de la empresa, por lo que se hace primordial la excelencia en la gestión del plan de mantenimiento.

El diseño e implementación de la gestión de mantenimiento en la línea de producción de pila R20 se basa en la información obtenida por la aplicación de la metodología Six Sigma en busca de crecimiento y desarrollo de los "activos" fundamentales de la compañía, impulsando cambios en la cultura organizacional y en el compromiso por la eficiencia y calidad productiva.

Este proyecto se divide en cinco fases fundamentales, las cuales se pueden resumir en una primera fase de conceptualización sobre la evolución del mantenimiento, indicadores CMD, el estudio de la confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad, análisis de falla, metodología del efecto de falla en RCM, mantenimiento basado en riesgo, consecuencias y modos de falla, mantenimiento correctivo, mantenimiento preventivo y mantenimiento predictivo. La segunda fase es el estudio y desarrollo de la criticidad de mayor riesgo en las máquinas de la línea de producción de pila R20, la tercera fase es el estudio y cálculo de los índices CMD de las máquinas de mayor riesgo en la línea. Una cuarta fase es el desarrollo del plan de las tareas de mantenimiento de las máquinas involucradas en el proceso de producción de pila R20. Y por último se dan las conclusiones del desarrollo y resultado y algunas sugerencias para el mejoramiento de la gestión de mantenimiento de la planta manufacturera de pilas.

HERRAMIENTAS PARA EL CONTROL EN EL PROCESO DE MANTENIMIENTO

Al implementar cualquier estrategia de mantenimiento en un proceso, es necesario conocer las variables, números de equipos, sistemas, subsistemas y componentes de las máquinas, niveles de producción, modos operativos, materias primas; es decir, tener una base datos que permita iniciar el plan de mantenimiento.

ANÁLISIS DE CRITICIDAD

El análisis de criticidad es una metodología que permite jerarquizar instalaciones y equipos, en función de su impacto global, con el fin de facilitar la toma de decisiones.

La información recolectada en este estudio podrá ser utilizada para:

- Priorizar órdenes de trabajo de operaciones y mantenimiento
- Priorizar proyectos de inversión
- Diseñar políticas de mantenimiento
- Seleccionar una política de manejo de repuestos y materiales
- Dirigir las políticas de mantenimiento a las áreas o sistemas más críticos

Los datos obtenidos a partir del estudio de análisis de fallas definen una orientación certera en la ejecución de proyectos de mejoramiento, dado que son un punto de partida para realizar estudios que permitan cambiar las metodologías de trabajo, procesos, sistemas o equipos de la instalación, partiendo de aquellos que tengan un mayor impacto según el análisis de riesgos.

CÁLCULO DE LOS INDICADORES DE MANTENIMIENTO CMD

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.

El cálculo de los indicadores CMD se realiza con el programa VALRAMOR 4, utilizando los métodos de estimación, las diferentes distribuciones y pruebas de bondad de ajuste, y buscando cuál de ellas se acomoda mejor a los datos, con el fin de obtener un resultado más preciso del indicador.

El objetivo del área de mantenimiento es disminuir el tiempo improductivo de producción debido a mantenimientos correctivos, y ayudar con la meta de área de producción de tener una eficiencia del tiempo a producir del 85%.

TAREAS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVAS Y PREDICTIVAS

Las tareas de mantenimiento preventivo y predictivo en la línea de producción de pila R20, se desarrollan a partir del estudio de mantenimientos realizados a las máquinas, sus reparaciones y frecuencia de falla; es decir, la frecuencia de las tareas es un estimado de los resultados de los indicadores CMD, y la creación de tareas es estipulado a partir del historial de mantenimiento realizados en las máquinas.

Las ventajas que obtiene la línea de producción de pila R20, al planear y ejecutar el plan de mantenimiento preventivo y predictivo es lograr que los equipos operen en condiciones de seguridad, porque se conoce su estado operacional y minimiza el tiempo improductivo de producción debido a mantenimientos correctivos.

CONCLUSIONES

La división de las máquinas en sistemas, subsistemas y componentes permite conocerlas mejor desde el punto de vista de su contexto operacional, lo cual redundará en mejorar la confiabilidad al identificar la forma en la cual funcionan y por ende en la cual pueden fallar. Representa un punto de partida para estandarizar y plantear el stock de repuestos que se requiere para garantizar un óptimo funcionamiento.

La metodología del análisis y riesgo de falla es una herramienta de gran ayuda para solucionar los problemas que se puedan presentar en los equipos; Además constituye una guía para plantear tareas de mantenimiento de acuerdo con el impacto que tengan las consecuencias de las fallas, estableciendo una prioridad para cada una de ellas.

El análisis de falla muestra que para eliminar las causas derivadas de los modos de falla más críticos pueden

requerirse acciones de mantenimiento de tipo correctivo, preventivo, predictivo, modificativo o el estudio de posibles rediseños.

Los datos obtenidos a partir del estudio de análisis de fallas orientan a la ejecución de proyectos de mejoramiento que permitan cambiar los procedimientos, instructivos y procesos, partiendo de aquellos que tienen mayor impacto según el análisis de riesgos.

La estrategia para encontrar las causas de falla que evitan que las máquinas se desempeñen correctamente requiere de varios elementos: la actitud de las personas hacia el cambio para encontrar las fuentes de errores, el grado de entrenamiento para el desarrollo de habilidades y competencias analíticas del personal de producción, calidad y mantenimiento que permitan realizar los estudios y dedicar parte del tiempo en la captura de las causas de las fallas.

El análisis de datos obtenidos en los procesos de mantenimiento y producción mediante las herramientas estadísticas, es una metodología que ayuda a encontrar fallas para su eliminación o control, causas de productos y servicios defectuosos para su erradicación, fundamentos cuantitativos para la selección o mejora de acciones y estrategias de mantenimiento y/o producción, elementos básicos para una mejor toma de decisiones sobre el manejo y operación de los instrumentos básicos de mantenimiento, producción y calidad.

El cálculo CMD es una metodología que permite visualizar de manera rápida las tendencias y comportamientos que un equipo o máquina presenta bajo condiciones operacionales determinadas.

La aplicación de cálculos estadísticos a los comportamientos de las fallas e intervenciones de mantenimiento son de gran ayuda para los ingenieros, cuyo objetivo fundamental es disminuir al máximo el tiempo improductivo en las máquinas, entonces por medio de los indicadores CMD, se presenta de forma clara la ocurrencia y tendencia de los fallos e intervenciones de mantenimiento y con base en este análisis se pueden tomar acciones pertinentes

para lograr las metas establecidas por las áreas de mantenimiento y producción.

La metodología para calcular la confiabilidad y la mantenibilidad por medio de distribuciones es más precisa y acorde con la realidad, comparada con el cálculo por promedios, ya que permite visualizar el comportamiento por medio de curvas que facilitan su interpretación.

La implantación de los indicadores de CMD en una empresa busca aumentar al máximo la disponibilidad de todos sus equipos por medio del incremento del MTBF y la reducción del MTTR.

El resultado obtenido en el diagrama de Pareto para evaluar las máquinas que tienen mayor impacto en la productividad por efecto de mantenimientos correctivos, concuerda con el resultado de los cálculos CMD, el cual determina que los equipos que tienen menor disponibilidad alcanzada son aquellos que presentan mayor número de fallas, razón por la cual deben tomarse acciones de mantenimiento con el fin de aumentar la confiabilidad y la disponibilidad y por ende aumentar el índice de eficiencia de producción.

Al no existir índices de gestión en el área de mantenimiento, no es posible evaluar, controlar, ni tomar medidas de mejoramiento, pues se desconoce el estado actual en el que se encuentra la gestión.

Las tareas de mantenimiento programadas para la línea de producción de pila R20 a partir del presente estudio permiten aumentar la eficiencia y confiabilidad dentro del contexto operacional, es decir, conllevan a la disminución de los tiempos improductivos por mantenimientos correctivos, evitan las fallas que tienen alta severidad y ocurrencia e incrementan la disponibilidad de los activos.

El mantenimiento de los sistemas productivos considera un cambio de mentalidad y enfoque que requiere respuestas y decisiones rápidas teniendo en cuenta que los problemas generados se deben básicamente a la falta de información de los procesos, errores humanos en operación y mantenimiento y falta de procedimientos.

Las máquinas sufren desgastes y desajustes debidos a su operación normal, la importancia del mantenimiento radica en realizar ciertas actividades que se anticipen a la ocurrencia de las fallas, y en el caso en que ocurre una avería, se debe buscar una solución técnica y rápida para reiniciar las labores de producción.

RECOMENDACIONES

Implementar en forma estricta las tareas de mantenimiento y acciones correctivas derivadas del presente estudio con el fin de controlar o eliminar las causas de falla en las máquinas que tienen un impacto mayor por tiempos improductivos y así poder aumentar la disponibilidad alcanzada de cada una de ellas.

Dar continuidad a las tareas de análisis de fallas y mantenimiento basado en riesgos para ir erradicando las principales fallas que afectan los tiempos de producción.

Las metodologías de análisis de fallas y mantenimiento basado en riesgo funcionan siempre y cuando, dentro de los procesos de análisis, se apliquen conceptos de ingeniería u otras áreas del conocimiento con el fin de poder determinar las causas inmediatas y la causa raíz; es poco probable encontrar la fuente de los problemas con el sentido común que se maneja en forma habitual en la empresa, por esta razón se deben aplicar las metodologías involucrando a las áreas de calidad, producción, medio ambiente, salud ocupacional y mantenimiento, de tal forma que se inicien procesos de registro, recolección y cuidado de las evidencias, los análisis de fallas, la implementación y la vigilancia de los controles y ejecución de acciones correctivas, preventivas y de mejora.

Se recomienda implementar la metodología de análisis de falla y mantenimiento basado en riesgos en las demás máquinas de la empresa con el propósito de mejorar los índices CMD.

La implementación de cálculos y evaluación de indicadores CMD en la empresa Tronex Battery Company S.A., requiere de una capacitación de todo el personal responsable del

mantenimiento y producción (ingenieros, mecánicos, y operarios), que permita obtener un adecuado control en la adquisición del registro de datos de tiempo y situación de las máquinas, que posteriormente servirán para calcular y analizar correctamente los diferentes indicadores de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad. Se propone elaborar instructivos tanto de operación como de mantenimiento de las máquinas, documentar las mejoras, y llevar un registro de las variables que permitan identificar la condición de las máquinas en un momento determinado.

Para que la adquisición y registro de datos arrojados por las máquinas sean confiables, es necesario hacer una evaluación exhaustiva de cómo son diligenciados los registros de órdenes de trabajo por los mecánicos de mantenimiento y operarios de producción, con el propósito de registrar con la mayor exactitud posible los tiempos improductivos, las causas de la reparación y la parte, componente o mecanismo que falla.

La comunicación del personal de las áreas involucradas en el proceso de producción de la pila R20 debe ser confiable, clara y oportuna para que el personal de mantenimiento intervenga en la reparación de las máquinas con la información precisa.

Las acciones predictivas se deben implementar en las máquinas involucradas en la línea de producción de pila R20, porque permiten diagnosticar el comportamiento en tiempo real y dar indicios de la aparición de fallas o situaciones que se salgan de las condiciones estándares. Las tareas predictivas recomendadas son: el análisis de aceite para el sistema hidráulico en las máquinas Bright Star y en el sistema de lubricación de las máquinas Extrusoras, la termografía infrarroja en el sistema eléctrico de la empresa, y el análisis metalográfico y uso de líquidos penetrantes para detectar las causas que ocasionan las fisuras y verificar el estado de piezas, primordialmente en las máquinas Extrusoras.

BIBLIOGRAFÍA

- BAJARIA, H.J, Integration of Reliability, Maintainability and Quality Parameters in Design, Warrendale, PA, USA, Society of Automotives Engineers, Inc. 1983, 158p ISBN: 0962922307.
- BAZOVSKY, Igor. Reliability Theory and Practice. USA: Dover Publications Incorporated, 2004. ISBN: 0486438678.
- BILLINTON, Roy y ALLAN, Ronald. Reliability Evaluation of Engineering Systems, London, Great Britain, Pitman Advanced Publishing Program, 1983, 123p ISBN: 058298890X.
- BLANCHARD, Benjamin S., VERMA, Dinesh., PETERSON, Elmer. Maintainability: a key to effective serviceability and maintenance management: Series Nuevas dimensiones en Ingeniería. USA: Edit. Wiley Interscience. Wiley, John & Sons, Incorporated, 1994. ISBN: 0486438678.
- CÉSPEDES GUTIÉRREZ, 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.
- CÉSPEDES ZAPATA, Lucas, y MEJÍA ISAZA, Santiago. Implementación de un sistema de indicadores para la gestión de mantenimiento de una empresa textilera. Medellín, 2005, 194 p. Trabajo de grado (Ingeniero Mecánico). Universidad Eafit. Departamento de Ingeniería Mecánica. Área de mantenimiento.
- CALIDAD, Documentación del departamento de Calidad de la Empresa Tronex Battery Company S.A, . 2007.
- DÍAZ MATALOBOS, Ángel. Confiabilidad en mantenimiento, Caracas, Venezuela: Ediciones IESA, 1992. 109p. ISBN 9802710682.
- DOUNCE, VILLANUEVA, Enrique. La Productividad del Mantenimiento Industrial, México D.F, México: CECSA. 1998. 165p. ISBN: 9682610893.
- EBELING, Charles E. An introduction to reliability and maintainability engineering. New York, NY, USA. McGraw-Hill. 1997. 486p ISBN: 0070188521.
- FORCADAS, Jorge. Confiabilidad en los Sistemas. En: Revista SAI. No.4 Vol.1. 1983. ISBN: 01205862.
- GARCÍA, Luís. La disponibilidad como objetivo. En: Ingeniería Química. No.3-20. Enero 1996. p 190.
- GNEDENKO, Boris y USHAKOV, Igor. Probabilistic Reliability Engineering. New York, NY, USA. John Wiley & Sons. 1995. 518p ISBN: 0471305022.
- GUTIÉRREZ PULIDO, Humberto, y VARA SALAZAR Román. Control Estadístico de calidad y seis sigma, Editorial: Mc Graw Hill, México, 2004, ISBN: 9701047249.
- GUTIÉRREZ, Juan Ignacio. Documentación RCM. 2007.
- JARAMILLO ÁLVAREZ, Juan Felipe, y GONZÁLEZ CALLE, Germán Esteban. Implementación de un sistema CMD en la máquina formadora de Cristalería Peldar S.A. Medellín, 2004, 107 p. Trabajo de grado (Ingeniero Mecánico). Universidad Eafit. Departamento de Ingeniería Mecánica. Área de mantenimiento.
- KELLY, Anthony. y HARRIS, M. J. Gestión del mantenimiento industrial. Madrid, España: Editorial Fundación REPSOL Publicaciones e Impreso en Gráficas del Mar. Traducido por Gerardo Álvarez Cuervo y equipo de trabajo. 1998. ISBN: 84-923506-0-1. Traducido de Management Industrial Maintenance Soft. – Edit. Butterworth-Heinemann – USA: 1983. ISBN: 040801377X.
- KNEZEVIC, Jezdimir. Mantenibilidad, Madrid, España: Isdefe. 1996. 137p. ISBN: 0412802702.

- LEEMIS, Lawrence M. RELIABILITY: Probabilistic Models and Statistical Methods. Englewood Cliffs Prentice-Hall, NJ, USA. 1995. 319p ISBN: 0137215171.
- LEWIS, Elmer E., Introduction to Reliability Engineering. Editorial John Wiley & Sons, Inc. 1995. ISBN: 0471018333.
- LYONNET,P., Maintenance Planning. Editorial Charman & Hall, NY, USA, 1991, ISBN: 0442312326.
- MODARRES, Mohammed, What every engineer should know about reliability and risk analysis. Editorial Marcel Dekker. New York, USA: 1993. ISBN: 082478958X.
- MORA, Luís Alberto; TORO, Juan Carlos y CÉSPEDES, Pedro Alejandro. Gestión de Mantenimiento de Quinta Generación, II Congreso Bolivariano de Ingeniería Mecánica, II COMBI, Ecuador, Julio 23 al 26,2001.
- MORA, Luís Alberto. Diplomado en gestión y control de mantenimiento (IRI). ACIEM, 2003.
- MORA, Luís Alberto. Mantenimiento estratégico para empresas industriales o de servicios, Enfoque sistemático Kantiano, Medellín, Colombia: Editorial AMG. 2006. 306p. ISBN 958-338218-3.
- NACHLAS, Joel A. Fiabilidad. Madrid, España. Isdefe. 1995. 217p ISBN: 978-84-89338-07-4.
- NAVARRO ELOLA, Luis. Gestión Integral de Mantenimiento. Barcelona, España. Marcombo S.A. 1997. 112p ISBN: 8426711219.
- O'CONNOR, Patrick D. T. Practical Reliability Engineering. New York, NY, USA. John Wiley & Sons. 1985. 398p. ISBN: 0471905518.
- PRODUCCIÓN, Documentación del departamento de Producción de la Empresa Tronex Battery Company S.A, . 2007.
- STAMARIS, D.H., Failure Mode and Effect Analysis. FMEA from Theory to Execution. Editorial: ASQC, Quality Press, NY, USA, 1995, ISBN: 087389300X.
- RAMAKUMAR, R., Engineering Reliability: Fundamentals and Applications. NJ, USA: Englewood Cliffs, Prentice Hall, 1993. 482p. ISBN: 0132767597.
- REY Sacristán, Francisco. Hacia la Excelencia en Mantenimiento, Madrid, España: Editorial TGP Hoshin, S.L. 1996. 165p. ISBN: 8495428180.
- ROJAS, Jaime. Introducción a la Confiabilidad. Bogotá. Colombia. Universidad de los Andes. 1975. 214p.
- VALLEJO JARAMILLO, Juan Santiago. Desarrollo, validación, contraste y pronostico del cálculo CMD. Medellín, 2004, 153 p. Trabajo de grado (Ingeniero Mecánico). Universidad Eafit. Departamento de Ingeniería Mecánica. Área de mantenimiento.
- WIREMAN, Terry. Developing Performance Indicators for Managing Maintenance. New York, USA. Industrial Press. 1998. 195p ISBN: 0831130806.
- AMENDOLA, Luis. Indicadores de confiabilidad propulsores en la gestión del mantenimiento. [Documento Electrónico]. España: 2003. (Citada: 3 Marzo 2007) <http://internal.dstm.com.ar/sites/mmnew/bib/notas/propulsores.asp>
- BARRINGER, H. Paul. Availability, Reliability, Maintainability, and Capability. [Documento Electrónico]. Humbl, Texas, USA: 1997. (Citada: 10 Febrero 2007) <http://www.barringer1.com/reliability.htm>
- BENITEZ, Gustavo Calidad de datos: factor crítico. [Documento Electrónico], (Citada: 3 Marzo 2007) <http://www.netpaper-online.com/article/55288.html>
- GIOUPM. Grupo de Ingeniería de Organización Universidad Politécnica de Madrid. [Documento Electrónico]. Madrid, España (Citada: 29 Enero 2007) <http://tecnologias.gio.etsit.upm.es/sistemas-informacion/sistemas-de-informacion--76.asp>
- KOLMOGOROV-SMIRVOV. National institute of standars and technology [Documento Electrónico], (Citada: 23 de Marzo 2007). <http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/eda/section3/eda35g.htm>

MARTÍNEZ S. Larissa G., ventajas y características de Lotus y Excel [Documento Electrónico], (Citada: 25 Marzo 2007) <http://www.monografias.com/trabajos15/lotus-excell/lotus-excell.shtml>

MOLINA, José. Mantenimiento y seguridad industrial [Documento Electrónico]. 1997. (Citada: 18 Febrero 2007) <http://www.monografias.com/trabajos15/mantenimiento-industrial/mantenimiento-industrial.shtml>

MOLINERO Luis M. ¿Qué es el método de estimación de máxima verosimilitud y cómo se interpreta? [Documento Electrónico]. 2003. (Citada: 17 Enero 2007) <http://www.seh-lelha.org/maxverosim.htm>

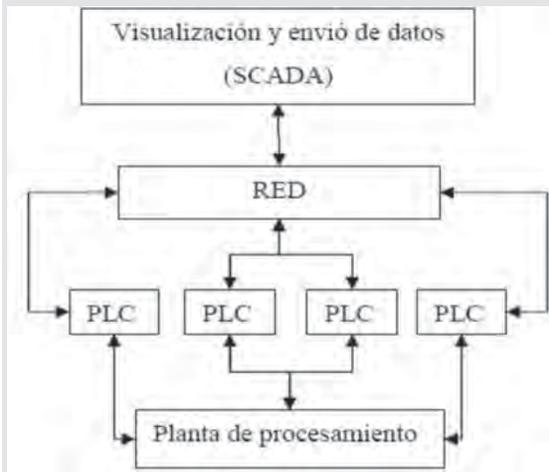
PARRA C, Moreno A. Semana de la Ingeniería de Mantenimiento. [Documento Electrónico]. Santiago de Chile: 2004. (Citada: 10 Enero 2007) <http://internal.dstm.com.ar/sites/mmnew/cap/cursos/Parra-SemanaMant.pdf>

SIS. Diseño de un sistema de mantenimiento con base en análisis de criticidad y análisis de modos y efectos de falla en la planta de coque de fabricación primaria en la empresa Acerías paz del río s.a. [Documento Electrónico]. 2006. (Citada: 30 Marzo 2007) <http://trabajos.pdf/sistemas-mantenimiento/sistemas>

RELIASOFT. Analysis Examples. [Documento Electrónico], (Citada 23 Febrero 2007) <http://www.picosearch.com/cgi-bin/ts.pl?index=174989&pset=ReliaSoft&query=Weibull>

WIKIPEDIA la enciclopedia libre. [Documento Electrónico]. 2006. (Citada: 18 Enero 2007) <http://es.wikipedia.org/wiki>

ELABORACIÓN DE UN SISTEMA DE SUPERVISIÓN DE TIEMPOS AUTOMATIZADO DE MÁQUINAS INYECTORAS DE PLÁSTICO EN LA EMPRESA PLÁSTICOS TRUHER S.A.



DIEGO ESTEBAN PÉREZ ECHEVERRI

dperezec@eafit.edu.co

Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS

MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

ASESOR PRINCIPAL

CARLOS TRUJILLO JARAMILLO

SECTOR BENEFICIADO

PLÁSTICOS TRUHER S.A

RESUMEN

El sistema de supervisión implementado en la empresa Plásticos Truher S.A., es una contribución al proceso de supervisión de tiempos de máquinas inyectoras de plástico dentro de la compañía. La aplicación es un desarrollo que permite medir a través de un PLC y de manera automatizada: los tiempos de ciclo de las máquinas inyectoras, el número de ciclos, los tiempos perdidos en el proceso, la estimación teórica de la producción y el tiempo total utilizado en el cumplimiento de una orden de trabajo. El PLC utilizado es un Festo fc640, el PLC soporta la comunicación TCP/IP por medio de la cual este se conecta a la red interna de la empresa. La supervisión se controla a través de Excel, el usuario desde un computador en red supervisa por medio de Excel en tiempo real los tiempos operativos de las máquinas. El programa de Excel con aplicaciones VBA, permite guardar la información de los tiempos de las máquinas, la visualización inmediata de los datos, programar o iniciar el sistema por máquina, conocer el comportamiento histórico por turno de cada máquina, etc.

ABSTRACT

The supervision system implemented in the company Plastics Truher S.A. is a contribution to the process of supervision of times of injection moulding machines inside the company.

The application is a development that allows to measure through a PLC and in an automated way: the times of cycle of injection machines, the one numbers of cycles, the times lost in the process, the theoretical estimate of the production and the times total used in the execution of a work order. The used PLC is a Festo fc640, the PLC it supports the communication TCP/IP by means of the one Which this it is connected to the internal net of the company.

The supervision is controlled through Excel, the user from a computer in net supervises through Excel in real time the operative times of the machines

The program of Excel with applications VBA, allows to keep the information of the times of you scheme them, the immediate visualization of the data, to program or to begin the system for it schemes, to know the historical behavior for shift of each it machines, etc.

PALABRAS CLAVE

PLC, Excel, Inyectoras, Plástico, TCP/IP

KEY WORDS

Excel, PLC, TCP/IP, Injection, Plastic

INTRODUCCIÓN

El sistema de supervisión de tiempos de operación de máquinas de inyección de plásticos en la empresa Plásticos Truher S.A. se pretende realizar completamente de manera automatizada. Actualmente la empresa se encuentra en crecimiento y el proceso de supervisión de operación, cada vez es más complejo e inexacto. La inexactitud en el proceso radica en la forma de realizar la supervisión, ya que de manera manual no es posible conocer con exactitud o correctamente los tiempos operativos de las máquinas.

El factor se agrava con el incremento o cantidad de maquinaria que tiene la empresa. El sistema de supervisión automatizado se evalúa inicialmente en una cantidad limitada de máquinas para determinar su desempeño y funcionamiento a favor del proceso de supervisión de tiempos de inyectoras, luego internamente la empresa estudia la posibilidad de implementar completamente el sistema a todas las máquinas inyectoras. Inicialmente se implementa en 8 máquinas inyectoras, pero la capacidad del PLC instalado para este procedimiento consta de 32 entradas, es decir se puede instalar en 32 máquinas sin necesidad de adquirir otro PLC.

La Empresa Plásticos Truher S.A. se encuentra en crecimiento y para sus directivos es muy importante tener mecanismos cada día más sofisticados y fácil de utilizar, que ayuden a mejorar los procesos de la compañía, enmarcado siempre dentro de la política de calidad y el mejoramiento continuo.

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El incremento de maquinaria de inyección de plástico dentro de la empresa PLÁSTICOS TRUHER S.A. hace

que cada vez sea más complicado conocer con certeza el comportamiento del proceso, teniendo en cuenta que este funciona como un sistema en paralelo, monitorear y obtener la información de cada una de las máquinas manualmente se hace complicado y la información es cada vez más inexacta y menos oportuna. La supervisión actual de los tiempos de producción se realiza una vez en cada uno de los turnos que tiene la planta, tres en total, se registra en planillas y se asienta la información en el sistema manualmente.

El proceso de inyección de plásticos existen dos tipos básicos de funcionamiento de la maquinaria de inyección que son: semiautomático y automático, en el funcionamiento Semiautomático el tiempo de ciclo es variable, depende del operario, y es difícil que con una sola toma de tiempo en el turno se conozca el comportamiento de la máquina a través de este.

El funcionamiento automático, el tiempo de ciclo es constante y no depende del operario, pero el funcionamiento de la máquina depende del comportamiento del molde, del operario y de los problemas que puedan ocurrir dentro del proceso, la máquina puede ser detenida con o sin motivo y la información no se registra oportunamente. Con el sistema de supervisión se conoce la eficiencia de los tiempos respecto a un ciclo estándar que tiene cada molde según criterios establecidos internamente en la empresa, y se puede identificar si la máquina es detenida.

METODOLOGÍA

La elaboración del sistema de supervisión en la empresa consta de tres fases, que son: la adquisición de la tecnología necesaria para el proyecto, desarrollo de programas, conexión y puesta en marcha del sistema. La primera fase principalmente consiste en la evaluación y adquisición del PLC, materiales para las conexiones y accesorios, de acuerdo a diferentes características y condiciones exigidas por el proyecto.

La segunda fase se compone en mayor relación a las otras de parte técnica, en esta etapa se realiza todo el desarrollo de programas, tanto del PLC, como el de visualización y

control en Excel con aplicaciones en VBA, se considera la implementación de dispositivos, de medida o de conexión y se evalúa la forma de conexión en las máquinas que se van a monitorear.

La última fase del proyecto consta básicamente de la conexión, alambreado y puesta en marcha del sistema de supervisión dentro del proceso productivo. Todo el proceso es un trabajo en conjunto interno de la empresa, donde participa: Producción, Ingeniería, Sistemas y Montajes.

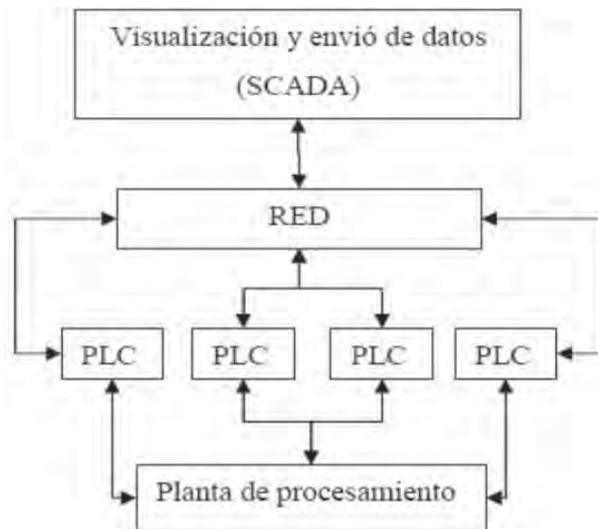
Adquisición de datos con PLC SCADA, acrónimo de "Supervisor y Control and Data Acquisition (en español, Control supervisor y adquisición de datos)": Comprende todas aquellas soluciones de aplicación para referirse a la captura de información de un proceso o planta industrial (aunque no es absolutamente necesario que pertenezca a este ámbito), para que, con esta información, sea posible realizar una serie de análisis o estudios con los que se pueden obtener valiosos indicadores que permitan una retroalimentación sobre un operador o sobre el propio proceso, tales como (SCADA@2007):

- Indicadores sin retroalimentación inherente (no afectan al proceso, sólo al operador)
- Estado actual del proceso. Valores instantáneos.
- Desviación o deriva del proceso.

- Evolución histórica y acumulada; Indicadores con retroalimentación inherente (afectan al proceso, después al operador);
- Generación de alarmas;
- HMI Human Machine Interface (Interfaces hombre-máquina);
- Toma de decisiones: Mediante operatoria humana o Automática (mediante la utilización de sistemas basados en el conocimiento o sistemas expertos).

Un sistema de adquisición de datos se puede utilizar para: Monitorizar procesos químicos, físicos o de transporte en sistemas de suministro de agua, para controlar la generación y distribución de energía eléctrica, de gas o en oleoductos y otros procesos de distribución y de procesamiento, en donde sea posible medir alguna variable. Gestión de la producción (facilita la programación de la fabricación); Mantenimiento (proporciona magnitudes de interés tales para evaluar y determinar modos de fallo, índices de Fiabilidad, entre otros; Control de Calidad (proporciona de manera automatizada los datos necesarios para calcular índices de estabilidad de la producción, administración (actualmente pueden enlazarse estos datos del SCADA con un servidor ERP (Enterprise Resource Planning o sistema de planificación de recursos empresariales), e integrarse como un módulo más); Tratamiento histórico de información (mediante su incorporación en bases de datos) (SCADA@2007).

FIGURA 1
Adquisición de datos y control de procesos a través de un sistema SCADA



CARACTERÍSTICAS DEL PLC

Las características con las que debe cumplir el PLC y sus aplicaciones para este proyecto son básicamente: que utilice y posea la tecnología que permita la comunicación bajo el protocolo TCP/IP, el número de entradas digitales y compatibilidad y Licencia del software que utilice para a programación y la supervisión.

CONCLUSIONES

Las conclusiones que se derivan del presente proyecto consideran aspectos internos de la empresa Plásticos Truher S.A., y trata en general del beneficio al implementar un sistema de supervisión automatizado, donde se pueda consultar datos reales en tiempo real.

El sistema de supervisión se implemento en ocho máquinas de marca DongShin satisfactoriamente.

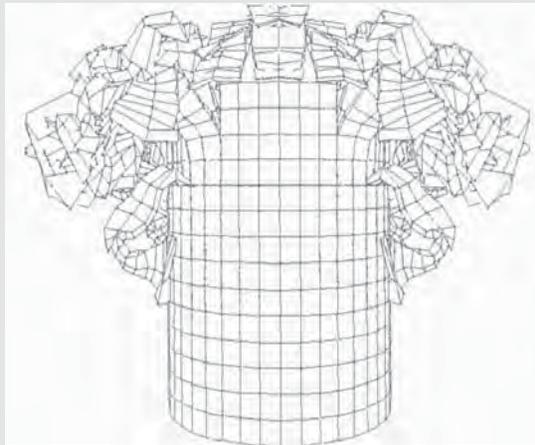
El sistema de supervisión permite medir tiempos de ciclo de las máquinas, y almacenarlos satisfactoriamente en Excel.

Los tiempos de toma de datos por parte del departamento de producción se mejoraron significativamente, se disminuyeron y se amplió el muestreo de uno por turno a todos los tiempos de ciclo realizados por la máquina.

BIBLIOGRAFÍA

Andrew S. Tanenbaum. (2003). Redes de computadoras. Pearson. 1408 p

ANÁLISIS DE CHOQUES EN MATERIALES COMPUESTOS



SEBASTIÁN GUTIÉRREZ RESTREPO

sgutier5@eafit.edu.co

Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS

MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

ASESOR PRINCIPAL

CARLOS EDUARDO LÓPEZ

SECTOR BENEFICIADO

UNIVERSIDAD EAFIT

RESUMEN

El presente artículo pretende mostrar el método de análisis dinámico explícito para un absorbedor de energía, empleando Ansys LS-Dyna. El análisis se realiza con el fin de encontrar una alternativa más segura al problema de las colisiones entre automóviles.

En el artículo se trata la metodología de análisis de impactos, se modelan los sistemas dinámicos sometidos a colisión, se muestran los resultados más significativos y se concluye al determinar la opción más adecuada de configuración de absorbedor de energía entre diversos materiales, tanto convencionales como compuestos.

ABSTRACT

The present article tries to show the method of explicit dynamic analysis for energy absorbers, using Ansys LS-Dyna. The analysis is made with the purpose of finding a safer alternative to the problem of the collisions between automobiles.

In the article, the methodology of analysis of impacts is treated, the dynamic systems submitted to collision is modeled, the most significant results are shown and the most suitable option of configuration for energy absorber is presented, conventional and composed.

PALABRAS CLAVES

Análisis dinámico explícito, método de elementos finitos, esfuerzos, deformaciones, energía cinética, energía interna, amortiguación, Hourglassing, compuestos

KEY WORDS

Explicit dynamic analysis, finite element method, stress, strain, kinetic energy, internal energy, damping, Hourglassing, composites

INTRODUCCIÓN

Los materiales compuestos son aquellos que combinan dos materiales diferentes para obtener ciertas propiedades mecánicas específicas, como son la alta rigidez, alta resistencia; lo que comparativamente representa una ventaja comparado con materiales isotrópicos como los metales (Jones, 1998, 27).

Una de las aplicaciones más importantes de los materiales compuestos es la de elementos estructurales en automóviles, pues su bajo peso y su alta deformación permiten que sean una alternativa viable desde los costos de fabricación y como dispositivos de seguridad. Se suelen emplear en bumpers, en el chasis y como absorbedores de energía (Reddy, 1995, 141).

MATERIALES COMPUESTOS EN PROBLEMAS DE IMPACTO

Los materiales compuestos en la industria del automóvil son una alternativa a considerar, pues dan solución a muchos de los problemas que se presentan en la actualidad, como son los costos de fabricación, la seguridad, e incluso las emisiones de gas, pues son más ligeros que los metales.

MECÁNICA DE MATERIALES COMPUESTOS

Los materiales compuestos son aquellos que se constituyen por dos o más materiales de forma macroscópica para formar un tercer material que sea útil. La ventaja de los materiales compuestos radica en que cada constituyente individual aporta las mejores características al compuesto,

e incluso es posible encontrar características que ninguno de los dos posee (Jones, 1998, 2).

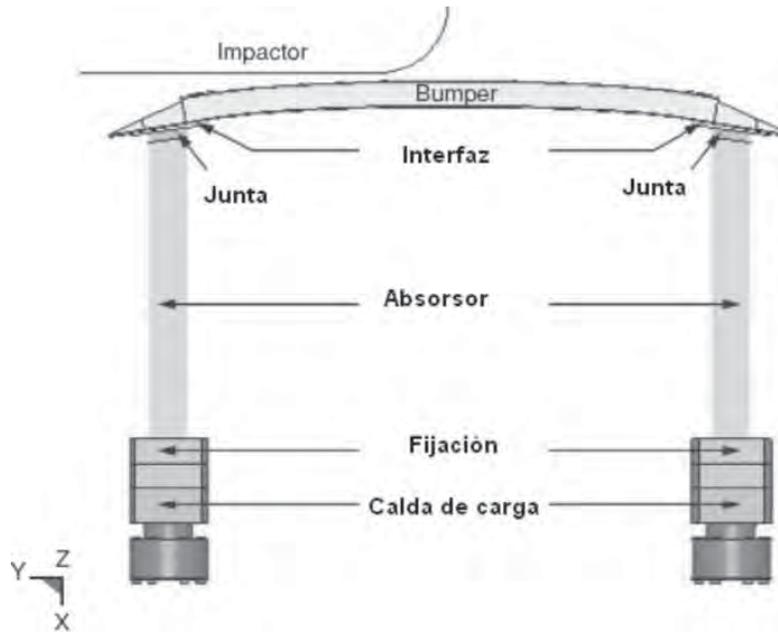
Las características básicas de los materiales compuestos laminados, con respecto a sus constituyentes son: La lámina no está sujeta a esfuerzos iniciales, su comportamiento es elástico lineal, es homogénea a escala macroscópica, es ortotrópica a escala macroscópica. La fibra es homogénea, su comportamiento es elástico lineal, es isotrópica, está igualmente espaciada, está perfectamente alineada, su unión es perfecta. La matriz es homogénea, es elástica lineal, es isotrópica, sin imperfecciones.

ANÁLISIS DINÁMICO DE CHOQUES

El análisis de choques en automóviles implica el estudio tanto de los materiales isotrópicos como de los no isotrópicos como lo son los compuestos de matriz reforzada por fibra. Los materiales compuestos son, hoy en día, de uso generalizado en la industria del transporte, para reemplazar a los materiales metálicos. La simulación de impactos se convierte en una herramienta esencial en el diseño de vehículos de tierra. La integración de simulaciones numéricas y reales lleva a mejores diseños de automóviles desde los costos y la seguridad (Reddy, 1995, 219).

La caracterización de los materiales es de especial interés en la determinación del comportamiento general de la estructura. En la industria automotriz, una de las aplicaciones más específicas de los materiales compuestos son los absorbedores de energía, que usualmente se componen de varios elementos metálicos que encierran un cilindro de compuesto que colapsa ante la energía del impacto (Figuras 1 y 2) (Kokkula, 2005, 5).

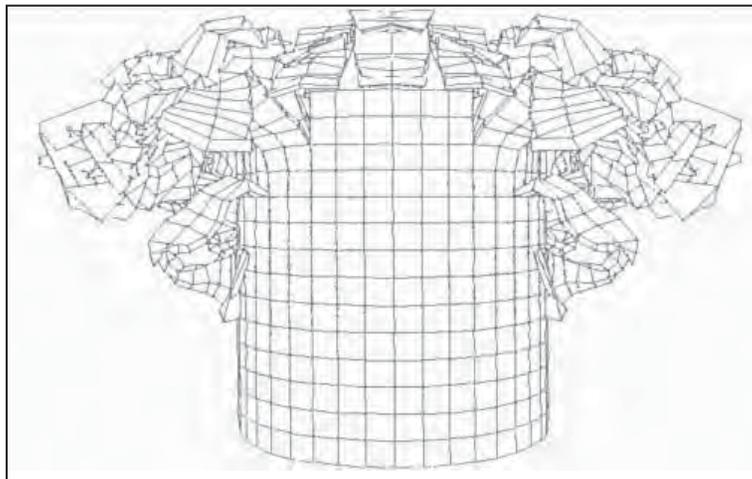
FIGURA 1
Esquema del bumper de un automóvil



Kokkula, 2005, 5

El comportamiento de los absorbentes de energía se debe caracterizar porque no sufran daño a la mínima condición de carga. La estructura debe alcanzar un nivel de carga máximo antes de que ocurra la iniciación de la falla, lo que garantiza que la carga durante el evento permanece a un nivel menor al de este máximo. La cantidad de energía que debe ser absorbida durante el impacto es dependiente de la carga y el desplazamiento (Reddy, 1995, 224).

FIGURA 2
Cilindro compuesto del absorbedor de energía



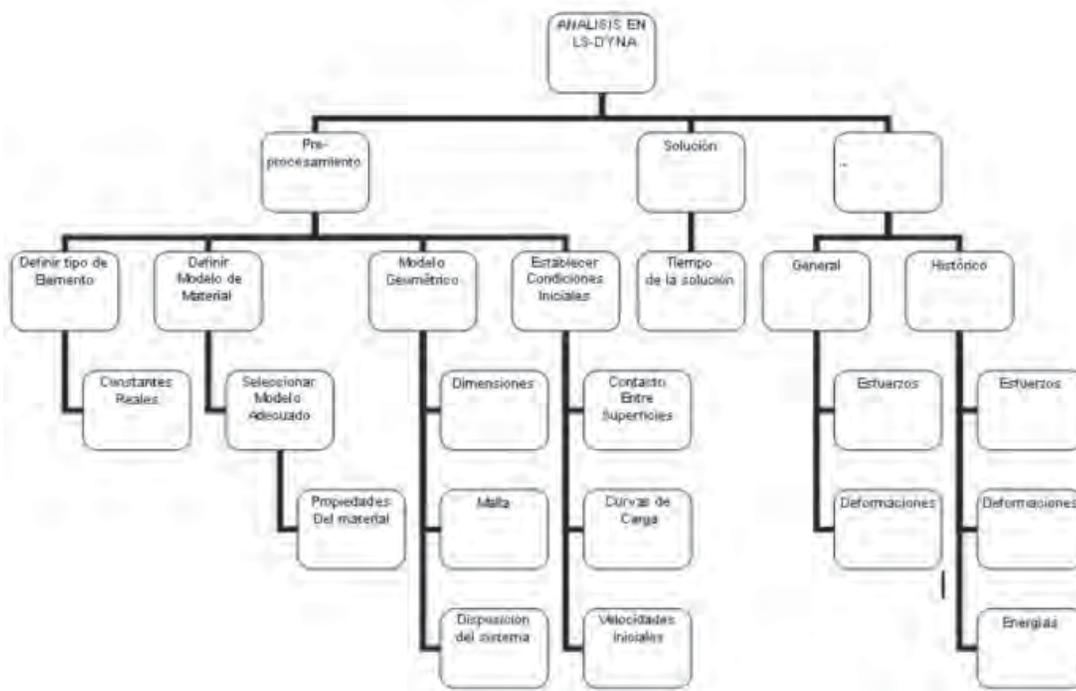
Reddy, 1995, 231

MÉTODOS DE ANÁLISIS DE IMPACTOS

El estudio de los problemas no lineales exige la aplicación de modelos de elementos finitos que permiten un acercamiento a la realidad sin requerir de altos gastos debidos a la simulación y experimentación por medio de modelos reales. El paquete de FEM Ansys combina las capacidades de pre- y post-procesamiento con el módulo explícito LS-Dyna, el cual conduce análisis altamente no lineales, dinámicos dependientes del tiempo (Explicit Dynamics Training Manual, 2003, 1-2).

El procedimiento de análisis en LS-Dyna se presenta a continuación, Figura 3. En el se observan las principales etapas de análisis: el pre-procesamiento, la solución y el post-procesamiento.

FIGURA 3
Procedimiento de análisis en LS-Dyna



DESARROLLO DE LA ALTERNATIVA

El desarrollo de la alternativa para el absorbedor de energía del bumper de un automóvil exige que se tengan en cuenta ciertos factores de diseño. Estos factores se orientan hacia la disposición de los materiales compuestos que son ampliamente usados en estas estructuras. Con el fin de verificar la validez de la selección de los materiales compuestos en absorbedores de energía, sus resultados se comparan con los obtenidos para estructuras similares de materiales convencionales, como son el acero y el aluminio (Jones, 1998, 385).

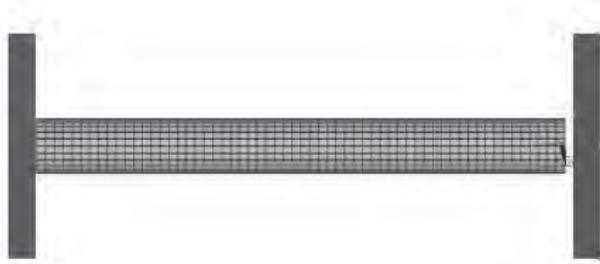
DEFINICIÓN DE MODELOS

Los modelos que se definen son geométricos, de material y condiciones iniciales.

MODELO GEOMÉTRICO

El cilindro (turquesa) con una longitud de 300mm, el diámetro de 35mm y el espesor del Shell es de 2mm y posee 1440 elementos. La Figura 4 muestra el modelo geométrico completo (Bisagni, 2004, 2).

FIGURA 4
Geometría del modelo



La placa móvil (púrpura) se compone de un único elemento definido a partir de un material rígido con propiedades correspondientes a un aluminio no aleado (puro). Posee un grado de libertad (translación en el eje Z), con el fin de imprimirle velocidad y chocarlo contra el cilindro compuesto, que se encuentra enfrentado a una placa totalmente fija (roja). La placa se restringe para todos los otros grados de libertad (translaciones en X y Y, rotaciones en X, Y y Z) (Hosseinzadeh2, 2004, 3).

Las dimensiones correspondientes a la placa son: 100mm de altura, 100mm de lado y 15mm de espesor. Los elementos nodales Mass166 correspondientes a las masas, son creados a partir de los nodos de las esquinas posteriores de esta placa móvil. La placa fija es un elemento único que posee las mismas dimensiones y propiedades de la placa móvil. Está restringida para todos los grados de libertad (rotaciones y translaciones en X, Y y Z).

CONDICIONES INICIALES

Las condiciones iniciales satisfacen el contexto de energía necesario para realizar el análisis. La velocidad de la placa móvil no debe exceder los 10m/s para conservar el movimiento dentro del estado de impacto a baja velocidad, mientras que la masa impuesta a la placa se aumenta a 110kg (10% de la masa total de un vehículo) en total, con lo que se obtiene es la energía cinética, según la ecuación (Kokkula, 2005, 3):

$$E_k = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} (110 \text{ kg}) (10 \text{ m/s})^2 = 5500 \text{ J}$$

La tabla 1 resume las condiciones iniciales del modelo de Bisagni.

TABLA 1
Resumen de condiciones iniciales

CONDICIÓN	VALOR BISAGNI
Tiempo del análisis	2ms
Masa	4X27,5kg=110kg
Velocidad	10m/s
Contacto entre superficies	ASSC
Modelo de material	BISO
Constante Real (factor de cortante)	05-jun
Constante Real (Espesor del Shell)	0,002m
Energía teórica del impacto	5500J

MODELOS ISOTRÓPICOS BILINEALES

Los modelos isotrópicos de endurecimiento cinemático bilineal (BISO) se resumen en la tabla 2. Este modelo de material emplea el esfuerzo de Von Mises como criterio de falla y asume que el material se endurece a medida que se deforma en la región plástica. El comportamiento del material se describe por una curva bilineal de esfuerzo contra deformación. Las propiedades simples del acero y el aluminio corresponden a aceros de bajo carbono y a aluminio no aleado, respectivamente (Hosseinzadeh1, 2005, 2).

TABLA 2
Propiedades de modelos BISO

PROPIEDAD	ALUMINIO	ACERO
Módulo de elasticidad	70GPa	207GPa
Módulo de Poisson	0,33	0,3
Densidad	2700kg/m3	7850kg/m3
Esfuerzo de Fluencia	420MPa	700MPa
Módulo Tangente	100MPa	150MPa

MODELOS COMPUESTOS

El comportamiento del material se define a través de los módulos elásticos, de rigidez y de Poisson, para cada dirección (no existen valores predeterminados). Esfuerzos de fluencia para cortante, longitudinal a tensión, transversal

a tensión y a compresión pueden ser introducidos para caracterizar la falla. El módulo de compresibilidad (Bulk Modulus) se requiere para falla a compresión (Reddy, 1995, 225).

TABLA 3
Propiedades de los modelos de material compuesto

PROPIEDAD	ALTA RESISTENCIA	ALTA RIGIDEZ
Dens	1600kg/m ³	2150kg/m ³
Ex	61GPa	80GPa
Ey	14GPa	10GPa
Ez	14GPa	10GPa
Gxy	3,8GPa	3,3GPa
Gyz	3,2GPa	3,9GPa
Gxz	3,8GPa	3,3GPa
Nuxy	0,25	0,2
Nuyz	0,3	0,3
Nuxz	0,25	0,2
Bulk Modulus	40,7GPa	44,4GPa
Resistencia Cortante	80MPa	70MPa
Esfuerzo Longitudinal	920MPa	810MPa
Esfuerzo Transversal a tensión	120MPa	220MPa
Esfuerzo Transversal a compresión	239MPa	320MPa
Esfuerzo Cortante no lineal	0,5	0,5

Los dos modelos de material compuesto (de alta resistencia y alta rigidez) poseen la misma estructura básica: fibras de carbón en matriz epóxica. La diferencia corresponde al tipo de fibra y la proporción de fibra y resina, una posee mayor resistencia, mientras la otra posee mayor rigidez. La tabla 3 expone las propiedades de los materiales. Los modelos de material compuesto se eligen de entre estas categorías, ya que tienen propiedades contrarias, pero se fabrican de los mismos constituyentes (Hosseinzadeh1, 2005, 4).

La distribución de las capas de los materiales compuestos se da en tres configuraciones diferentes, con el fin de identificar la mejor forma de orientar las fibras para resistir los impactos. Se parte de la suposición que las fibras resisten mejor cuando están orientadas en dirección del impacto. La orientación de las tres configuraciones son las siguientes (Hosseinzadeh1, 2005, 3):

- Orientación (1): [90,45,-45,45,90]
- Orientación (2): [-45,45,-45,45,-45]
- Orientación (3): [90,0,-45,0,90]

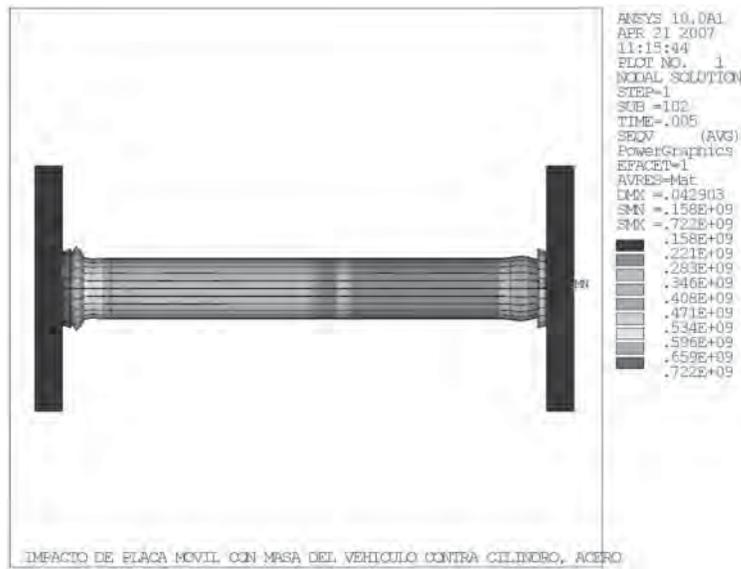
RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN

Los resultados más importantes de la simulación son los esfuerzos y las deformaciones máximas, así como las energías cinética, interna, de amortiguación y Hourglassing.

ESFUERZOS DE VON MISES

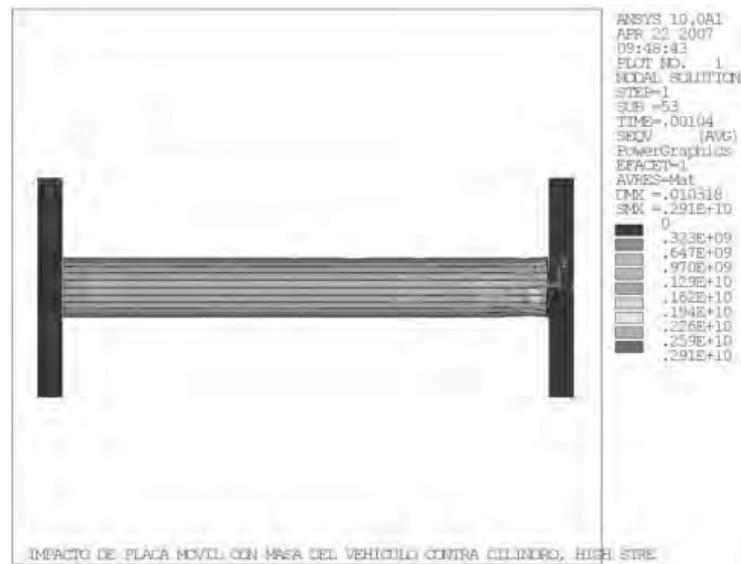
Los esfuerzos de Von Mises sirven para determinar cuál modelo transfiere mejor la energía. Los esfuerzos máximos de Von Mises se encuentran en el Post1 al identificar el conjunto de resultados de LS-Dyna con el mayor esfuerzo (Hosseinzadeh1, 2005, 4).

TABLA 4
Esfuerzos máximos de Von Mises para Aluminio



MÁXIMO (Tiempo) 722MPa (5ms)

TABLA 5
Esfuerzos máximos de Von Mises para compuesto alta resistencia

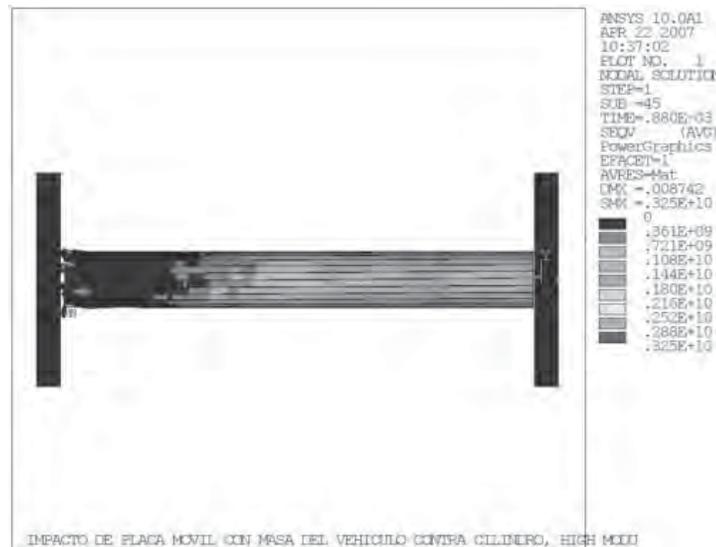


MÁXIMO (Tiempo) 2,91GPa (1,04ms)

Los esfuerzos de Von Mises para material compuesto de alta resistencia se dan en la tabla 5. La tabla contiene la distribución de esfuerzos y los valores máximos para las tres orientaciones de material, tanto en Post1 (postprocesador general) como

en Post26 (postprocesador histórico). La tabla 6 contiene los resultados de esfuerzos máximos de Von Mises para el modelo de material compuesto de alta rigidez.

TABLA 6
Esfuerzos máximos de Von Mises para compuesto de alta rigidez



MAXIMO (Tiempo) 3,25GPa (0,88ms)

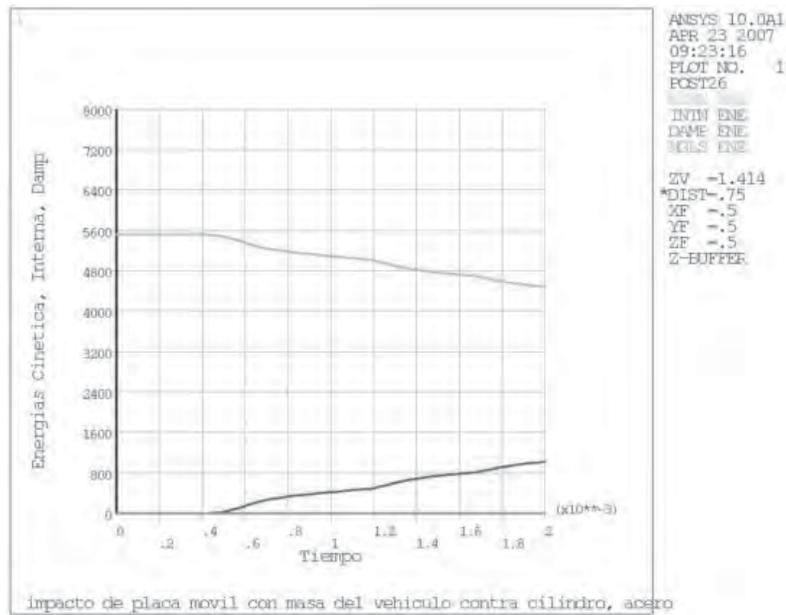
DEFORMACIONES TOTALES DE VON MISES

Las deformaciones totales de Von Mises sirven para identificar los lugares de la solución con mayor deformación, especialmente plástica. Mientras que la deformación elástica es una forma de energía conservativa y puede ser convertida fácilmente en otra (movimiento), la deformación plástica es no conservativa e irreversible.

Energías.

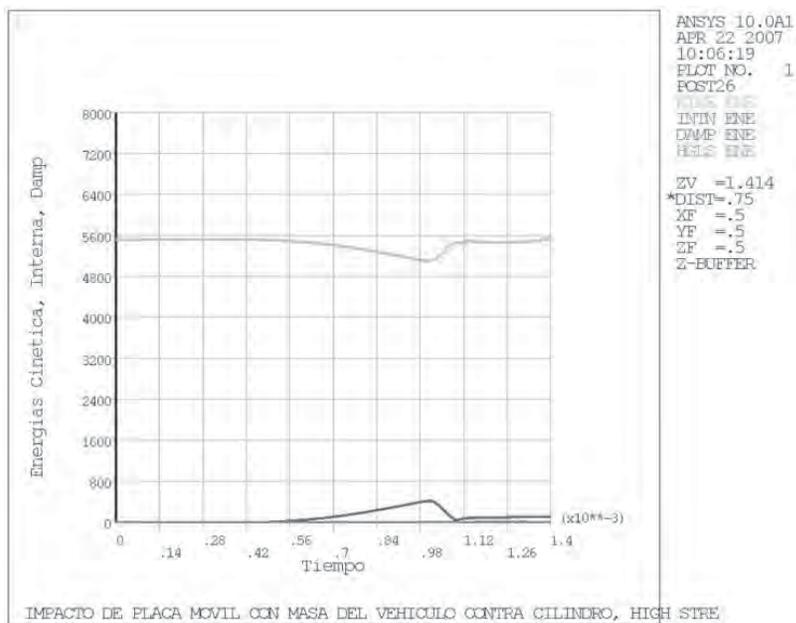
Las gráficas de energía comprueban la transferencia de energía entre la placa móvil y el cilindro absorbedor de energía. La transferencia de energía es una medida de la efectividad de la configuración. La tabla 7 contiene las energías de los modelos de material bilineal (Bisagni, 2004, 3).

TABLA 7
Energías para modelos bilineales



Cinética (turquesa), Interna (púrpura), damping (rojo), hourglassing (azul)
MÁXIMO E. Interna (Tiempo) 1023J (2ms)

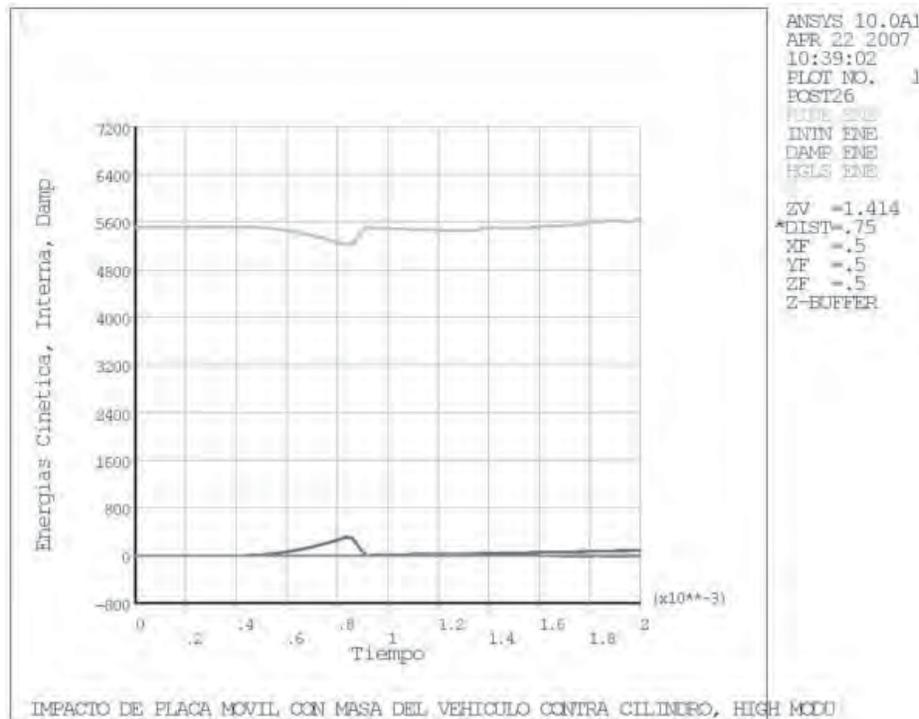
TABLA 8
Energías para modelos de material compuesto de alta resistencia



MÁXIMO E. Interna (Tiempo) 418,94J (1ms)

Las energías para los modelos de material compuesto se exponen en las tablas 8 y 9. La mayor diferencia con los modelos de material bilineal consiste en que los materiales isotrópicos absorben energía por más tiempo que los compuestos, que tienden a retornar la energía de deformación elástica en cinética (Hosseinzadeh1, 2005, 8).

TABLA 9
Energías para modelos de material compuesto de alta rigidez



MÁXIMO E. Interna (Tiempo) 313,55J (0,85ms)

COMPARACIÓN DE RESULTADOS

La comparación de los modelos parte de la definición de ciertos criterios. Estos criterios se evalúan en base a la información que se obtiene de los análisis y se verifican en base a la necesidad de absorción de energía para que los ocupantes y las estructuras sufran el mínimo daño posible. Los criterios a establecer se basan en dos condiciones (Bisagni, 2004, 2):

En los choques a velocidad reducida (menos de 5m/s), como en este caso, las estructuras que absorben energía resistan los impactos con el mínimo de deformación plástica posible.

Un buen absorbedor de energía va a convertir la energía cinética del cuerpo en movimiento, en energía de deformación, para el caso de impactos a más de cierta velocidad. Los absorbedores de energía deben resistir impactos a baja velocidad (5-10m/s), sin que las demás estructuras sufran daño.

Con el fin de verificar la primera condición, se emplean los esfuerzos de Von Mises y las deformaciones totales. Para la segunda condición, se comparan las energías cinética e interna por medio del coeficiente de absorción específico de energía (*Specific Energy Absortion*) que se define en la ecuación (Bisagni, 2004, 3).

$$SEA = \frac{E_{absorbida}}{Masa\ AbsorSOR}$$

Los materiales bilineales se consideran como alternativas de diseño debido a que actualmente constituyen la mayoría de los componentes estructurales en los vehículos (chasis, vigas, carrocería). Debe tenerse mucho cuidado al analizar la información, especialmente la que corresponde a las deformaciones plástica, ya que el modelo que se emplea para simular el material es una idealización del comportamiento plástico de los materiales isotrópicos (Bourel, 2006, 3).

TABLA 10
Resultados fundamentales de los materiales bilineales

RESULTADOS	ALUMINIO	ACERO
Esfuerzos Von Mises	466MPa	722MPa
Deformaciones Von Mises	0,8647	0,79
Energías (J)	685	1023
Masa (kg)	0,1781	0,5178
SEA (J/kg)	1322,66	1975,31
Elementos eliminados	0	0

Al comparar ambos modelos de material isotrópico bilineal, se infiere que el aluminio es un mejor material para estructuras absorbedoras de energía debido a que no es tan rígido y su endurecimiento plástico es menor que en el acero. Los esfuerzos máximos en el acero son mayores debido a que para alcanzar la fluencia, requiere mayor energía, pero su deformación es menor. Un absorbedor de energía de aluminio es más viable que uno de acero (Kokkula, 2005, 20).

A partir de los resultados se puede deducir que la configuración menos resistente es la (2), debido a que presenta menores esfuerzos para las deformaciones máximas alcanzadas. Las orientaciones (1) y (3) presentan el mejor comportamiento frente al impacto debido a que la mayoría de las fibras se orientan en dirección de la velocidad de la placa (Z) (Hosseinzadeh1, 2005, 8).

El modelo de alta resistencia es mejor al de alta rigidez ya que la energía específica que absorbe del impacto es mayor en cualquier caso de orientación. La deformación plástica, en las configuraciones (1) y (3) del modelo de alta resistencia sucede cuando los esfuerzos en el material son muy altos, por lo que la energía cinética que se convierte a energía interna de deformación es muy alta (Bisagni, 2004, 12).

TABLA 11
Resultados fundamentales de los materiales compuestos

MODELOS	ALTA RESISTENCIA			ALTA RIGIDEZ		
Variables	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)
Esfuerzos	2,91GPa	360MPa	1,61GPa	791MPa	482GPa	3,25GPa
Deformaciones	1,499	2,61	2,943	2,458	10,122	3,841
Energías (J)	352,41	26,03	418,94	73,35	24,42	313,55
Masa (kg)	0,1055	0,1055	0,1055	0,1418	0,1418	0,1418
SEA (J/kg)	3338,55	246,59	3968,82	517,12	172,16	2210,53
Elementos fallados	254	0	499	142	26	400

La cantidad de elementos eliminados permite identificar el patrón de deformación y desintegración del cilindro. Este patrón inicia en los extremos del cilindro y se propaga hacia el centro del mismo, a medida que los elementos alcanzan la deformación plástica y fallan. En el mejor de los casos, la deformación comienza en ambos extremos. La orientación pareja de las fibras,

como en el caso (2) impide que el material se desintegre fácilmente, lo que ocasiona que el elemento sea muy tenaz y no se desprenda de la estructura. Una orientación no ortogonal de las fibras permite la propagación de las fallas y la desintegración del cilindro (Bisagni, 2004, 12).

CONCLUSIONES

Los modelos de material compuesto como el de Reddy y modelos de muy alta resistencia son poco adecuados, para las condiciones establecidas. Sus valores de rigidez son una cuarta parte de otros materiales, o el doble de resistentes. El modelo de compuesto de carbón presenta dos inconvenientes: es inestable para la solución, pues su energía de Hourglassing es inaceptable (mayor del 5% de la energía interna) y su resistencia es demasiado alta (2GPa), por lo que el cilindro de material compuesto se comporta como un resorte y no como un absorbente de energía.

El modelo de absorbente de energía bisagni prueba ser más apropiado, en este caso. Este parte de un modelo de absorbente de energía para automóviles de Fórmula 1 y a causa de su delgado espesor (2mm) y gran longitud (300mm), la capacidad que exhibe para resistir un golpe a velocidad reducida y aun así convertir energía cinética en energía de deformación es mayor.

Los materiales isotrópicos como los metales son, en cualquier circunstancia, inadecuados para producir absorbentes de energía, porque son 1,2 veces más rígidos y 3 veces más resistentes, en comparación con los materiales compuestos.

Los materiales compuestos de alta resistencia exponen un mejor comportamiento a los impactos que los materiales compuestos de alta rigidez ya que las deformaciones plásticas se alcanzan a valores de energía más alto (3338J/kg contra 2210J/kg). Entre las diferentes orientaciones, la (2) [-45,45,-45,45,-45] absorbe mucha menos energía que la (1) o la (3) [90,0,-45,0,90]. La energía que absorbe la orientación (2) de material de alta resistencia es de 249,59J/kg, mientras 3338,55J/kg para la orientación (1) y 3968,82J/kg para la orientación (3).

El peso de las estructuras absorbentes de energía es un factor determinante en su diseño. Los materiales compuestos suelen ser hasta cinco veces más ligeros que los aceros, así como por lo menos 70% más ligeros que el aluminio.

La velocidad de 10m/s que se aplica a todos los modelos de absorbentes de energía representa la máxima energía debida a la velocidad que deben absorber los absorbentes de energía.

Las fibras deben orientarse en dirección del impacto para que la resistencia de estas actúe como amortiguador. La resina absorbe el impacto convirtiendo la energía, las fibras en dirección transversal al movimiento evitan que el elemento absorbente de energía se desintegre con fuerzas pequeñas ocasionadas por impactos a muy baja velocidad.

BIBLIOGRAFÍA

BISAGNI, Chiara, et al. Progressive crushing of fiber-reinforced composite structural components of a Formula One racing car. Módena, Italia. Composite Structures. Departamento de Ingeniería Aeroespacial, Politécnico de Milán. Junio 4 de 2004, 13p.

BOUREL, B, et al. Handling contact in multi domain of automotive crashes. Lyon, Francia. Laboratorio de Mecánica de los contactos y los sólidos. Finite Element Analysis and Design. Febrero 23 de 2006. 14p.

EXPLICIT DYNAMICS with LS-Dyna. Ansys Training Manual para Ansys 7.1. Segunda edición. Junio 4, 2003.

EXPLICIT DYNAMICS with LS-Dyna. Ansys Workshop para Ansys 7.1. Segunda edición. Junio 4, 2003.

HOSSEINZADEH, Ramin, et al. Damage behavior of fiber reinforced composite materials subjected to drop weight impact. Composites Science and Technology. Sharif University of Technology, Teheran, Iran. 2005, 8p.

HOSSEINZADEH, Ramin, et al. Parametric study of automotive composite bumper beams subjected to low

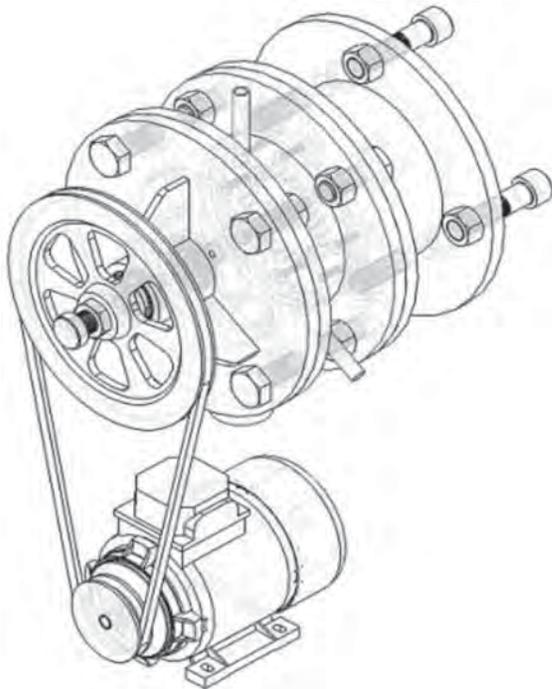
velocity impacts. Composites Science and Technology. Sharif University of Technology, Teheran, Iran. 2004, 9p.

JONES, Robert M. Mechanics of Composite Materials. Aen Arbor, Estados Unidos: Editorial Taylor and Francis, 1998. 270p. ISBN 1-56032-712-X (hardcover).

LS-DYNA. LS-Dyna Theoretical Manual. Livermore Software Technology Corporation, 1998. 498p.

REDDY, J.N, et al. Practical Analysis of Composite Laminates. Boca Ratón, Estados Unidos: CRC Press, 1995. 317p. ISBN 0-8493-9401-5.

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA PELLETIZADORA EN PLACA CALIENTE



JUAN PABLO SALAZAR GONZÁLEZ

jsalaz16@eafit.edu.co

Departamento de Ingeniería Mecánica

DANIEL URREGO GIL

durregog@eafit.edu.co

Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS

DISEÑO DE SISTEMAS TÉCNICOS

ASESOR PRINCIPAL

IVÁN DARÍO ARANGO

RESUMEN

El siguiente artículo expone el proceso que se llevo a cabo para el diseño y la construcción de una máquina Pelletizadora en Placa Caliente para ser utilizada como material didáctico en el laboratorio de plásticos de la universidad Eafit.

ABSTRACT

The following article exposes the process that they take to him to end for the design and the construction of a machine Pelletization in Warm Plate to be used as didactic material in the laboratory of plastic of the university Eafit.

PALABRAS CLAVES

Pellets, extrusión, reciclaje, cabezal, torpedo.

KEY WORDS

Pellets, extrusion, recycling, compress, torpedo.

INTRODUCCIÓN

La sociedad colombiana hoy en día toma más en serio los temas del medio ambiente, desarrollo sostenible y está consciente de su responsabilidad con el planeta. Esto es claramente apreciable en las numerosas campañas de reciclaje iniciadas en diferentes formas en las empresas, oficinas, centros comerciales, centros de educación y en general en todo aquel lugar donde se generan desechos sólidos pero todas tiene en común la separación en canecas de diferentes colores con el fin de identificar mejor el residuo (EIA@,2006).

Los desechos sólidos o lo que comúnmente llamamos basura son materias primas, que una vez que van a los sistemas de disposición final (botaderos, basureros o rellenos sanitarios) se degradarán o no, pero lo que sí es seguro es que no volverán a ser utilizados.

El camino para obtener materias primas, madera, agua, pulpa de papel, petróleo, minerales, entre otros no renovables, para luego hacer productos y botarlos después de usados, conduce en una sola vía: el encarecimiento de las materias primas por su escasez y el aumento de los impactos ambientales derivados de su obtención.

La población crece cada día, pero este crecimiento no es problema, sino su crecimiento asociado a un estilo de vida consumista insaciable que necesita cada vez de mas productos (materia y energía) para satisfacer a individuos que ven su modelo de felicidad en acumular bienes y consumir más servicios (Acoplasticos@, 2006).

El reciclaje busca recuperar materiales ya usados para volverlos a utilizar en la fabricación de nuevos productos y así reducir la demanda de recursos del planeta. Estas iniciativas ambientales con base en una herramienta como lo es el reciclaje tienen una base conceptual fuerte: el planeta tiene recursos limitados y no hay que desperdiciarlos (EIA@,2006).

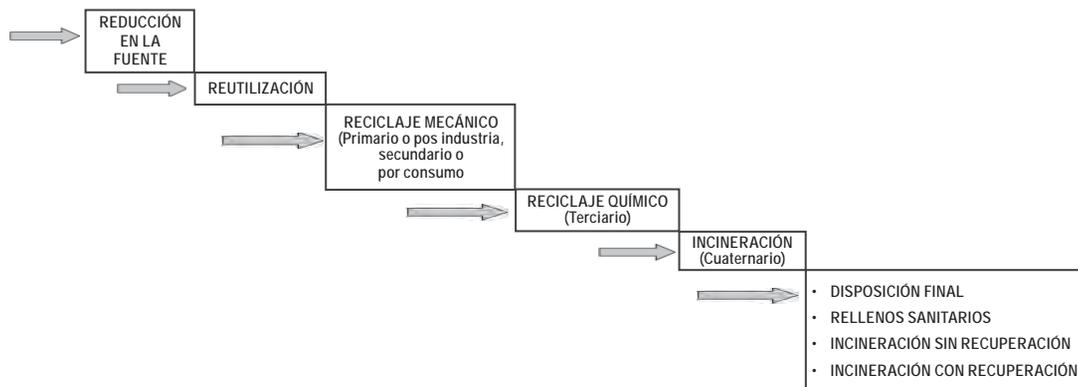
MARCO TEÓRICO

Los plásticos se caracterizan por una relación resistencia/densidad alta, unas propiedades excelentes para el aislamiento térmico y eléctrico y una buena resistencia a los ácidos, álcalis y disolventes; por estas razones desde hace 40 años los materiales plásticos son muy utilizados en el mundo en diferentes aplicaciones, entre las que podemos encontrar: industria manufacturera, construcción, empaquetado, aislamiento térmico, partes de automóviles, entre otros (Rave, 2005-2).

Los diferentes tipos de reciclaje que se implementan en la actualidad son el reciclaje mecánico, el reciclaje químico, y la incineración con recuperación energética (Acoplasticos@, 2006).

Reciclaje mecánico. Este proceso de reciclaje se divide en dos partes el post industrial (primario) que es el que se realiza en la misma empresa generadora del residuo y se hace mediante la molienda; y el reciclaje post consumo (secundario) se realiza mediante el reciclaje mecánico de productos que ya han cumplido su vida útil (Acoplasticos@, 2006).

FIGURA 1
Opciones para el manejo integral de residuos plásticos



Acoplasticos@, 2006

No todos los productos plásticos se pueden reciclar por medio mecánico ya que muchas veces han tenido contacto con productos químicos, tóxicos o peligrosos; además los materiales reciclables no se pueden utilizar para realizar empaques para alimentos, empaques para el sector farmacéutico o para elaboración de juguetes (Acoplasticos@, 2006).

EXTRUSIÓN

Para describir en pocas palabras el proceso de extrusión se debe tener en cuenta que la función principal de la extrusora es generar la presión necesaria para expulsar el material, haciéndolo pasar a través de una abertura llamada cabezal; esta presión depende directamente de la geometría del cabezal y las propiedades del material (Rodríguez, 2006-2).

MATERIALES DE EXTRUSIÓN

Los materiales plásticos más usados en la Industria Colombiana son los siguientes:

TABLA 1
Clasificación de envases

Tereftalato de Polietileno PET	Polietileno de alta densidad PEAD	Policloruro de vinilo PVC	Polietileno de baja densidad PEBD	Polipropileno PP	Poliestireno PS	Otros

Acoplastico@2006

PELLETIZADO

El pelletizado es una operación de moldeado termoplástico en el que partículas finamente divididas de una ración se integran en un pellet compacto y de fácil manejo, el cual incluye condiciones específicas de humedad, temperatura y presión.

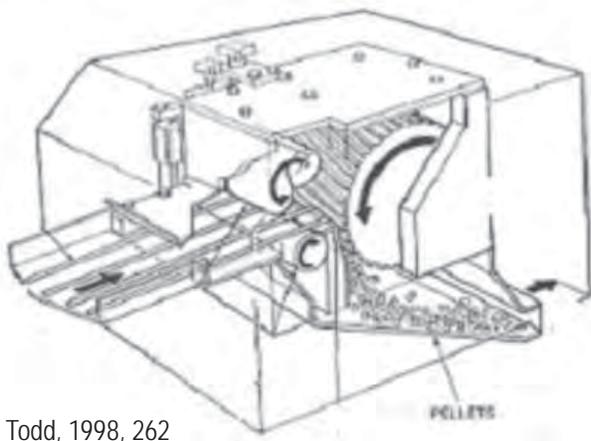
El proceso de pelletización puede ser clasificado en dos categorías: (I) Temple y solidificado, luego corte; o, (II) primero corte, después templado y solidificado. En la categoría I se encuentran las pelletizadoras de cubos o dados y de hilos. En la categoría II, hay varios tipos de pelletizadoras de placa seca frontal, incluyendo las de aro de agua y las pelletizadoras bajo

agua. En los casos anteriores, el corte y el enfriamiento puede ser en aire o en agua, o el corte puede ser realizado en aire, seguido por el temple en agua (259).

TIPOS DE PELLETIZADORAS

Pelletizadoras de hilos (Figura 2): La fundición que viene de la etapa de composición es forzada a que pase a través de una hilera de pequeños orificios redondos. Estos hilos parecidos a un espagueti son luego introducidos en un baño de agua, siendo empujados por los rodillos dentados de la cortadora. Se pueden utilizar corrientes de aire para ayudar a secar los hilos que emergen del baño de agua (261).

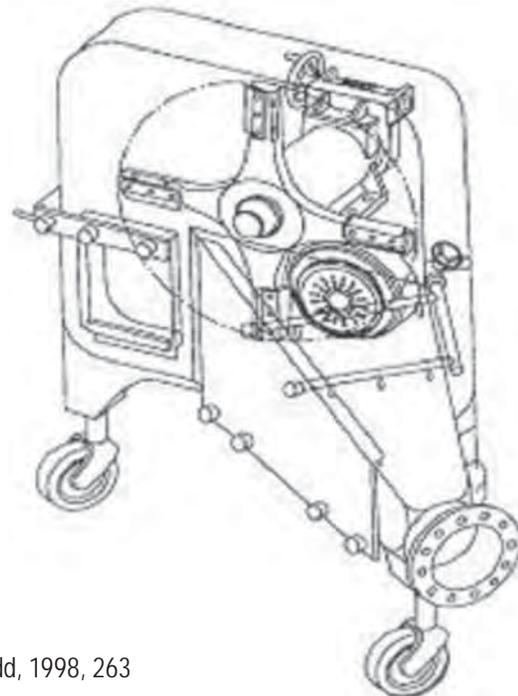
FIGURA 2
Pelletizadora de hilos



Todd, 1998, 262

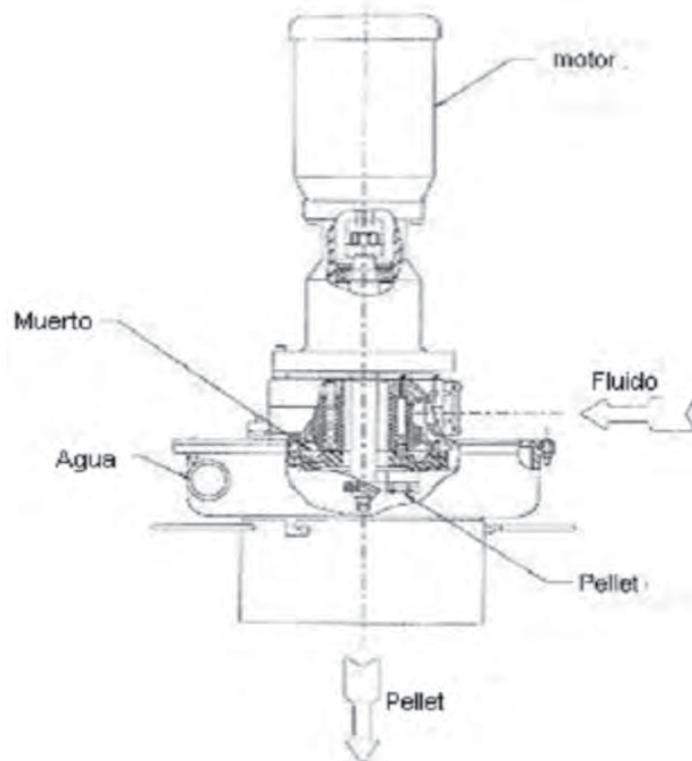
Pelletizadoras de placa seca frontal (Figura 3): Las cuchillas centradas o excéntricas cortan el plástico fundido que emerge de una placa de múltiples agujeros. El rápido movimiento de las cuchillas lanzan los pellets lejos de la placa frontal generalmente hacia un flujo de agua. Los pellets son llevados al baño de agua con suficiente templeado para prevenir la aglomeración, y luego son secados (263).

FIGURA 3
Pelletizadora de placa seca



Todd, 1998, 263

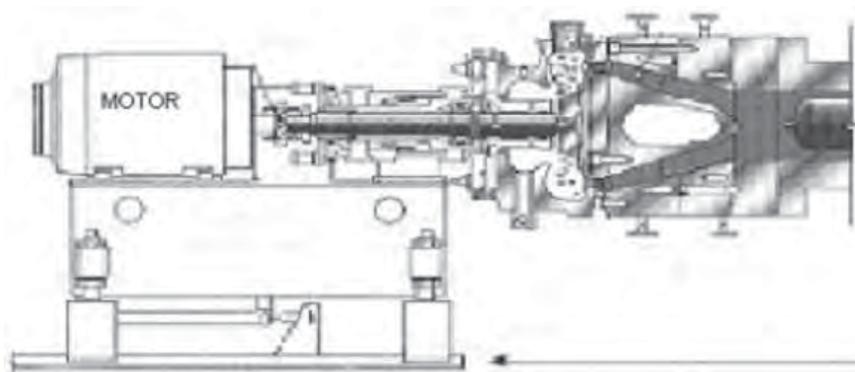
FIGURA 4
Pelletizadora Aro de Agua



Todd, 1998, 264

Pelletizadoras bajo agua (Figura 5): La fundición caliente que viene de matriz de varios orificios puede ser extruída directo en el agua, seguida de un corte realizado por una cortadora de múltiples cuchillas. La capacidad de esta clase de pelletizadoras va desde una pequeña empresa a una gran planta manufacturera de hasta 10,000 kg/h (264).

FIGURA 5
Pelletizadora bajo agua



Todd, 1998, 265

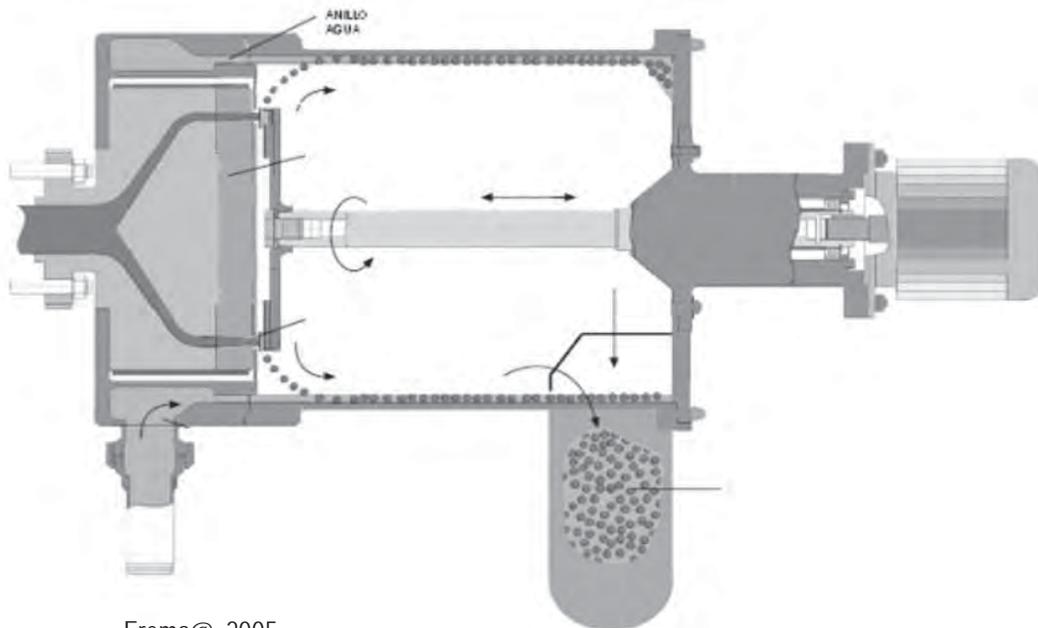
Pelletizadora de placa caliente frontal (Figura 6): El sistema de placa caliente frontal se puede montar en casi cualquier extrusora convencional, después de cualquier equipo de filtro o bomba de engranajes.

La masa fundida sale a través de los orificios calibrados en la placa frontal (pelletising knife) y es cortada a su salida por las cuchillas rotativas y la fuerza centrífuga la empuja hacia fuera en un anillo de agua rotativo a alta velocidad.

El pellet se enfría y transporta a través de un canal de descarga hacia una criba separadora del agua, donde el

pellet enfriado se separa del agua de enfriamiento (water ring). El pellet pasa entonces por una malla separadora de gruesos y va a una centrifuga secadora. La centrifuga trabaja con doble intercambio de aire y junto con el sistema siguiente de transporte de la granza por tuberías (al silo o equipo de ensacado) asegura que la granza se seque continuamente. Una bomba devuelve el agua de enfriamiento al cabezal de la pelletizadora, en un circuito, pasando a través de un sistema de filtración de esta agua y de un intercambiador de calor. Así se consigue un reducido coste de agua de enfriamiento (Erema®, 2005).

FIGURA 6
Pelletizadora de placa caliente



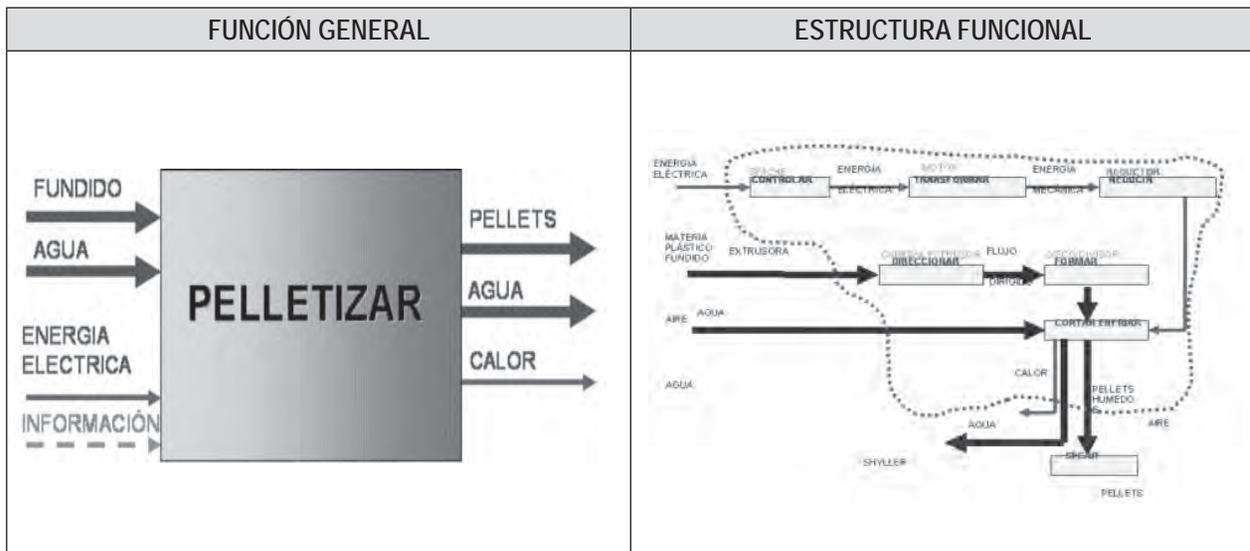
Erema®, 2005

PROCESO DE DISEÑO

El usuario directo es el laboratorio de plásticos de la Universidad EAFIT y con base en la extrusora que hace parte del mismo se determinan las dimensiones y características funcionales y formales del producto.

Empresa: La necesidad principal es optimizar el rendimiento del proceso de reciclaje de plástico a nivel del valle de aburra pero inicialmente se va a implementar en el laboratorio de la Universidad EAFIT con el fin de analizar su funcionamiento y que a su vez sirva de soporte para la educación. Por esta razón este tipo de usuario limita el costo, los materiales y forma de la máquina a diseñar.

TABLA 2
Proceso de diseño



PROPUESTAS DE DISEÑO I

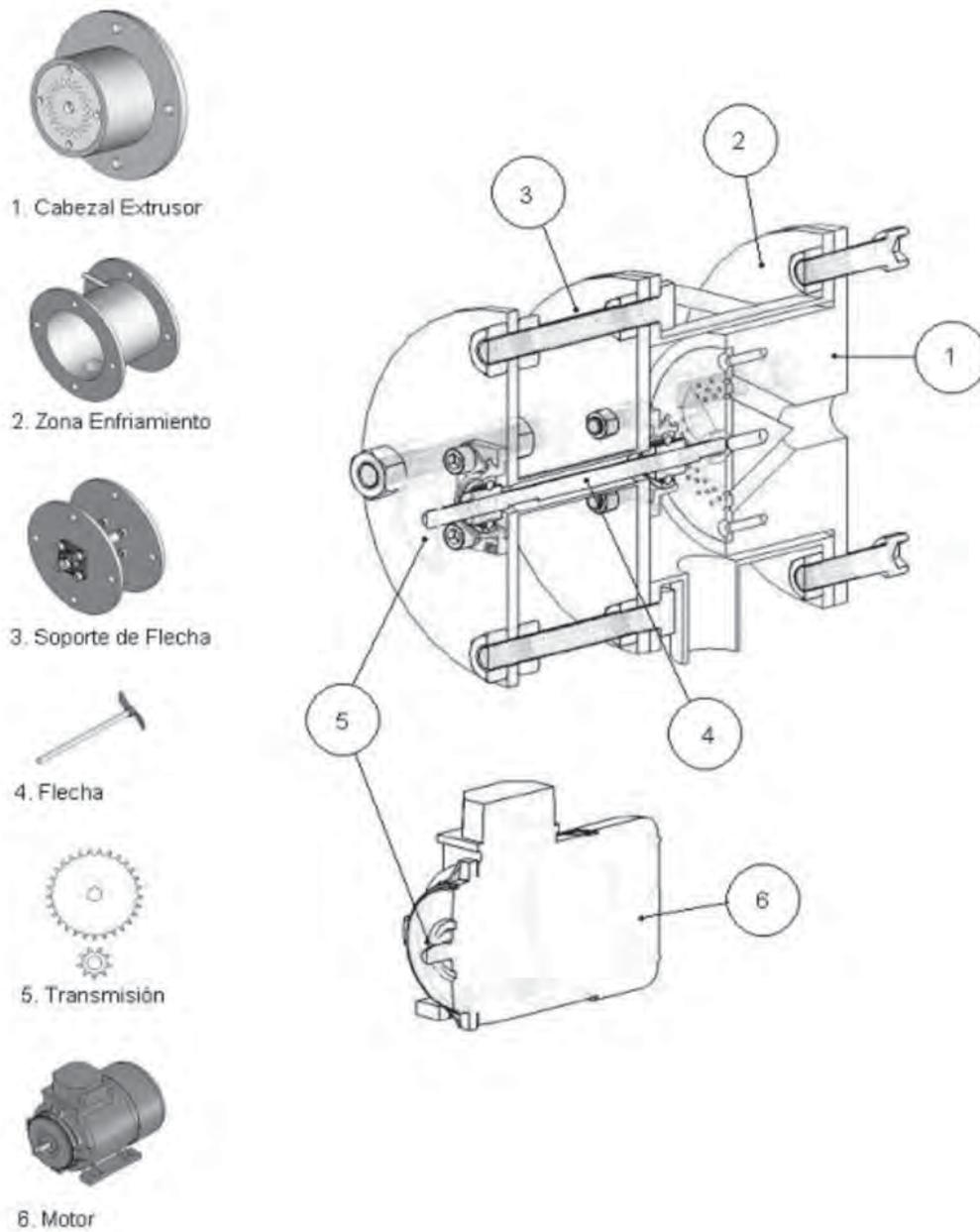
El cabezal extrusor posee un solo flanche, sin resistencias para calentarlo y esta cubierto por la zona de enfriamiento.

La zona de enfriamiento va soportada mediante un flanche fijado directamente de la extrusora después del flanche del cabezal extrusor y cuenta con alimentación directa de agua direccionada a las cuchillas de corte con el fin de reducir la temperatura del fundido extruido para facilitar el proceso de corte y evitar que se adhiera el fundido a las cuchillas.

El soporte de la flecha esta unido a la zona de enfriamiento por medio de un flanche, cuyos tornillos están dispuestos de tal forma que quede más estructurado.

La flecha es regulable mediante arandelas en la parte de unión con el porta cuchillas. El sistema de transmisión de potencia esta compuesto por medio de piñón cadena. El motor de corriente alterna esta dispuesto en el piso o alguna otra base.

FIGURA 7
Propuesta de diseño 1



PROPUESTAS DE DISEÑO II

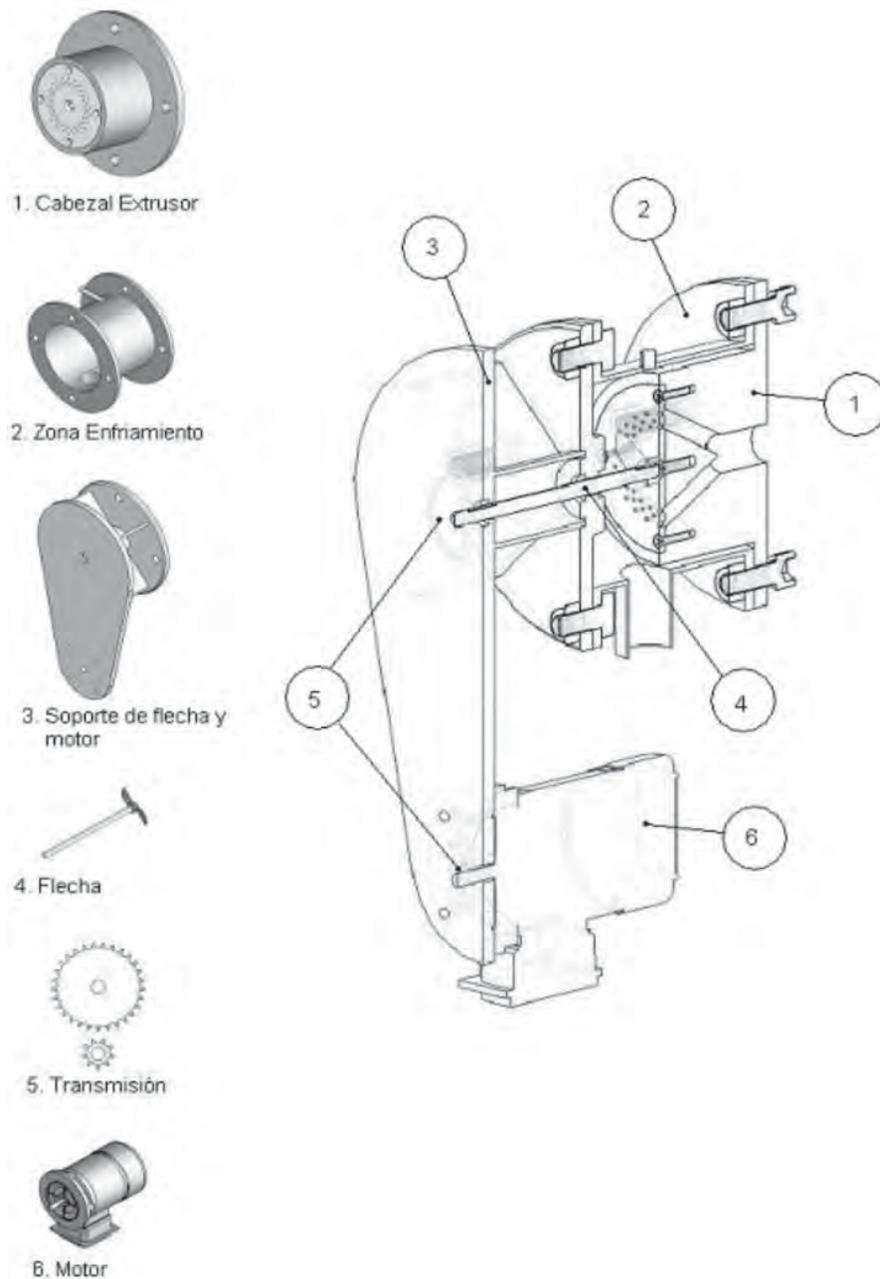
El cabezal extrusor posee un solo flanche, sin resistencias para calentarlo y esta cubierto por la zona de enfriamiento. La zona de enfriamiento va soportada mediante un flanche fijado directamente de la extrusora después del flanche del cabezal extrusor y cuenta con alimentación directa de agua direccionada a las cuchillas de corte con el fin de reducir la temperatura del fundido extruído para facilitar el proceso de corte y evitar que se adhiera el fundido a las cuchillas.

El soporte de la flecha cumple también la función de soporte del motor, ambos estarían unidos en una sola pieza fijada de la zona de enfriamiento por medio de un flanche y esta estructurado por medio de aletas. La flecha es regulable mediante arandelas en la parte de unión con el porta cuchillas.

El sistema de transmisión de potencia esta compuesto por medio de piñón cadena.

El motor de corriente alterna esta dispuesto en el mismo soporte de la flecha.

FIGURA 8
Propuesta de diseño 2



PROPUESTAS DE DISEÑO III

El cabezal extrusor posee un solo flanche, sin resistencias para calentarlo y esta cubierto por la zona de enfriamiento.

La zona de enfriamiento va soportada mediante un flanche fijado directamente de la extrusora después del flanche del cabezal extrusor y cuenta con alimentación directa de agua direccionada a las cuchillas de corte con el fin de reducir la temperatura del fundido extruido para facilitar el proceso de corte y evitar que se adhiera el fundido a las cuchillas.

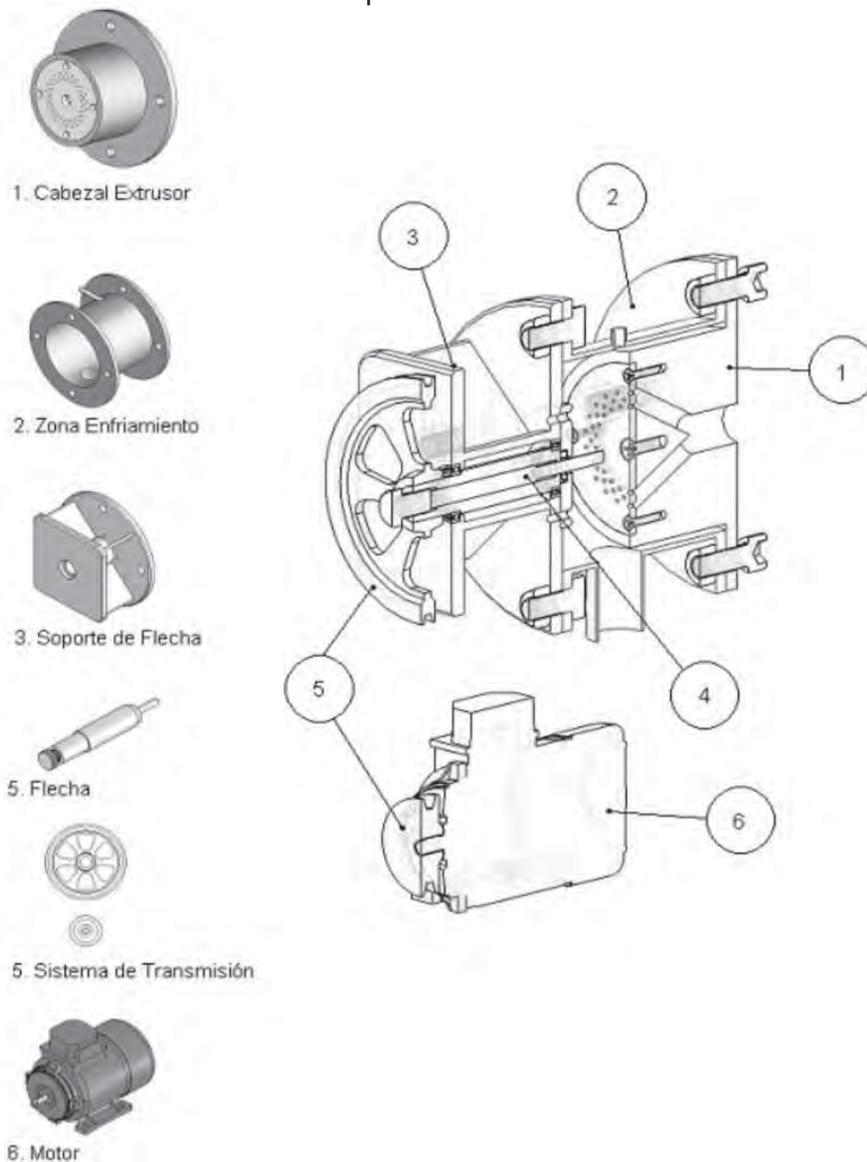
El soporte de la flecha esta unido a la zona de enfriamiento por medio de un flanche y esta estructurado por medio de aletas.

La flecha se puede regular mediante un tornillo para facilitar el montaje y tener una mejor precisión de corte.

El sistema de transmisión de potencia esta compuesto por medio de poleas.

El motor de corriente alterna esta dispuesto en el piso o alguna otra base.

FIGURA 9
Propuesta de diseño 3



PROPUESTAS DE DISEÑO FINAL

El cabezal extrusor posee dos flanches, posee una resistencia para calentarlo y así evitar la posible solidificación del material fundido dentro de él.

La zona de enfriamiento va soportada mediante un flanche fijado directamente al segundo flanche del cabezal extrusor y cuenta con alimentación directa de agua por tres puntos separados a 120 ° los cuales están direccionados a las cuchillas de corte con el fin de reducir la temperatura del fundido extruido para facilitar el proceso de corte y evitar que se adhiera el fundido a las cuchillas.

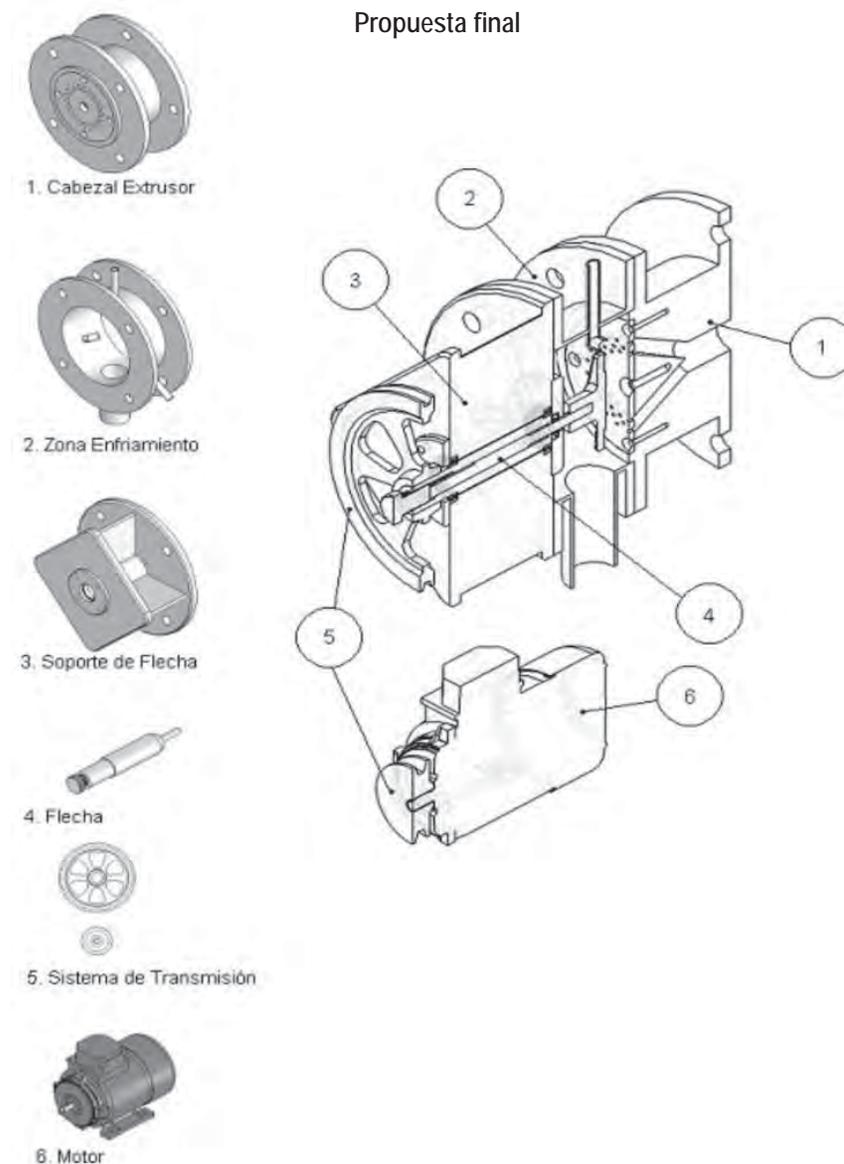
El soporte de la flecha esta unido a la zona de enfriamiento por medio de un flanche y esta estructurado por medio de aletas.

La flecha se puede regular mediante un tornillo para facilitar el montaje y tener una mejor precisión de corte.

El sistema de transmisión de potencia esta compuesto por medio de poleas.

El motor de corriente alterna esta dispuesto en el piso o alguna otra base.

FIGURA 10
Propuesta final



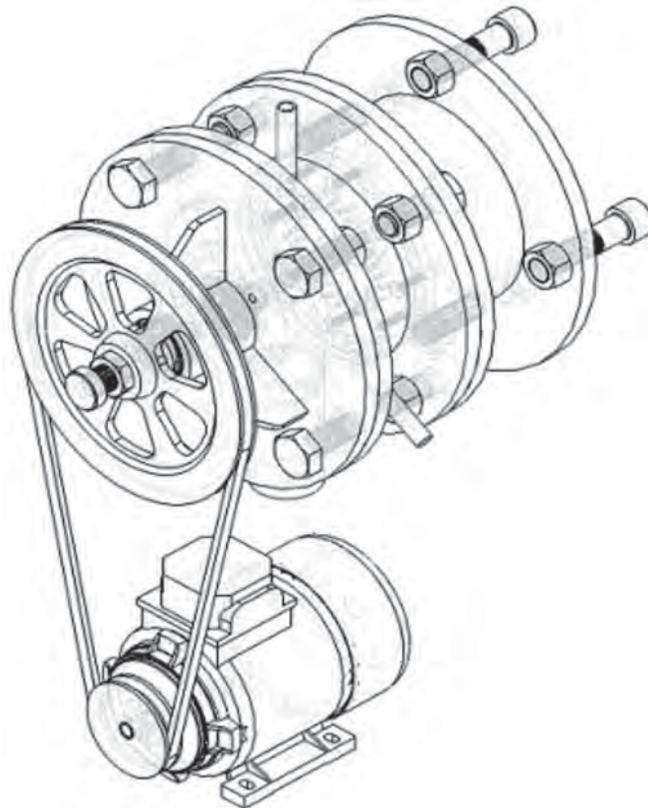
Teniendo en cuenta que cada una de las propuestas poseen defectos y cualidades que las hacen diferentes mediante un análisis de necesidades y características de la máquina, se obtiene una propuesta final en la que se puede resumir las necesidades del producto con el fin de cumplir las especificaciones requeridas para su correcto funcionamiento, de las cuales se destacan las siguientes:

- Debe facilitarse el proceso de limpieza y mantenimiento.
- Deben evitarse las zonas muertas y los cambios bruscos de geometría que generen regiones de acumulación de material o altos tiempos de residencia, ya que en dichos puntos el polímero corre el riesgo de degradarse y generar problemas de puntos negros o roturas del extruido.

- Debe considerarse la resistencia mecánica de los metales utilizados para la construcción, de manera que no fallen a las presiones de operación.
- Debe minimizarse la inercia térmica para que el cabezal responda rápido a los cambios de temperatura y pueda establecerse un adecuado control de la temperatura de la masa fundida.

La propuesta final fue desarrollada en el programa CAD SolidWorks con el fin de presentar las diferentes partes de las cuales consta la máquina y su posterior explicación, así como definir cada una de las piezas con su respectivo material.

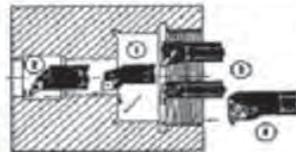
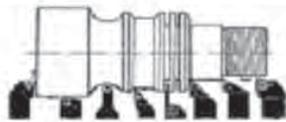
FIGURA 11
Pelletizadora de Placa Caliente



PROCESO DE CONTRUCCIÓN

TABLA 3
Torno-fresa

MAQUINADO PARTE	TORNEADO EXTERIOR				TORNEADO INTERIOR				FRESADORA		
	CEBARRADO	REFRENADO	ROZADO	RECTIFICADO	CEBARRADO	REFRENADO	ROZADO	RECTIFICADO	RECTIFICADO	REFRESCADOS	CEBARRADO
CABEZAL	X	X			X	X	X	X		X	
DISCO	X	X		X					X	X	
FLANCHES	X	X		X						X	
CARBA	X	X								X	
EJE INTERIOR	X	X		X							
FLECHA HERRERA	X	X		X	X	X	X	X			
SOPORTE RODAMIENTOS	X	X		X	X	X		X			



CONCLUSIONES

El mundo entero esta siendo guiado económicamente por la industria del plástico; la necesidad de innovar en cuanto a maquinaria y a procesos es cada vez mayor ya que cada día aumentan las exigencias de los clientes y por lo tanto las empresas deben invertir en nuevos procesos que los hagan más efectivos en la producción y por consiguiente más competitivos frente al mundo.

Las pequeñas industrias por su reducido capital se tienden a extinguir ya que no son capaces de mantenerse tecnológicamente en el mercado, con el prototipo que construimos se pretende abrirles las puertas a estas empresas para que con poco capital puedan acceder a esta tecnología que no se ha explotado completamente en el mercado nacional y aumentará la efectividad en la producción reduciendo tiempos, espacio y sobre todo aumentando la calidad y homogenizando el proceso.

Las bondades que le ofrece la máquina al sector son altas en cuanto a forma, operabilidad, mantenibilidad, de bajo costo y que se puede ajustar a las necesidades de la industria; las diferencias entre la máquina de EREMA y las

de nosotros está basada en la parte eléctrica, electrónica y en el sistema de transmisión de potencia los cuales fueron adaptados a nuestro medio teniendo en cuenta las necesidades principales entre las cuales están el bajo costo y el cumplimiento de la función principal.

El proceso de diseño nos llevo a tener un sin número de problemas que fuimos sobrellevando con el paso de los días con la ayuda de los diferentes profesores encargados de cada tema.

El principal problema que tuvimos y aún tenemos es la disposición de la extrusora de la Universidad EAFIT, lo que no solo nos atraso durante el desarrollo del proyecto sino que nos impidió la realización de pruebas del prototipo construido, dichas pruebas van a a ser realizadas por el laboratorio de plásticos de la universidad una vez terminado el montaje de la extrusora.

Los cálculos realizados sirven para dimensionar la máquina y además para la selección de los materiales adecuados que nos cumplan con la resistencia a la cual debe estar sometida, esto es importante ya que se garantiza que

las partes no van a fallar por causa de un esfuerzo no estipulado en la etapa de diseño.

El proceso de diseño nos sirve para determinar los factores que intervienen la máquina, así como tener en cuenta el direccionamiento de los flujos para conocer la influencia de estos en el funcionamiento; el planteamiento de varios portadores nos abre la posibilidad de otros diseños por lo cual se realizaron varias propuestas de donde se tomaron ideas para realizar una propuesta final que agrupara todas las bondades de las demás propuestas.

Las piezas que están en contacto con el agua como lo son el disco divisor y la flecha interior deben ser construidos en acero inoxidable para evitar la corrosión.

Se debe analizar el funcionamiento de la extrusora con el fin de determinar si es necesario mejorar el acabado final de las superficies que están en contacto con el fundido.

Para aumentar la vida útil de las cuchillas se debe trabajar a las condiciones ideales de contacto con el disco, esto se puede lograr mediante la regulación por medio de la flecha diseñada.

La pelletizadora tiene la capacidad de ser implementada en otra extrusora realizando algunos cambios dimensionales según las especificaciones de la misma.

BIBLIOGRAFÍA

CANO CARDONA, David Alexander y ESCOBAR TOBON, Juan David. Fundamentos básicos para la planeación de la producción en empresas recicladoras de termoplásticos. Trabajo de grado (Ingeniero de Producción). Universidad EAFIT. Departamento de Ingeniería de Producción. Medellín, Colombia, 2000. p. 44-46.

Curso Inyección de plásticos. Roberto Rave. Universidad Eafit. Medellín, Colombia, 2005.

Curso Extrusión de plásticos. Carlos Rodríguez. Universidad Eafit. Medellín, Colombia, 2006.

Curso Reciclaje de plásticos. Luis Alberto García. Universidad Eafit. Medellín, Colombia, 2006.

Plastics Compounding. Equipment and Processing. TOOD, David B. Plastics Compounding. Equipment and Processing. Cincinnati, Estados Unidos : Hanser Publications, 1998. p. 259-266. ISBN 3-446-15861-8

Plastics for Engineer. Domininghaus. Publicación con información básica sobre los materiales plásticos. Sexta actualización. Boston, Estados Unidos: septiembre 2005

DEUTSCHMAN, Aarón; MICHELS, Walter J. y WILSON, Charles E. Diseño de Máquinas: Teoría y Práctica. 6ª ed. Ciudad de México: Continental, 1995. 973 p.

MICHAELI, Walter, Extrusion Dies for Plastics and Rubber ISBN-13: 978-3-446-22561-9

ENCARTA@ Enciclopedia con información sobre los plásticos. En línea. - Visitado el 25 de Septiembre de 2005: < URL: <http://es.encyclopedia.msn.com/encyclopedia>

EREMA@ Sistema de granceado de placa caliente frontal HG Disponible en internet: <URL : <http://www.erema.com>>

JORPLAST@. Curso básico de plásticos en línea. Visitado el 26 de Septiembre de 2005: < URL: <http://www.jorplast.com.br>

Matweb@. Página en línea donde encontramos propiedades y características de cada uno de los materiales. Visitado el 25 de Septiembre de 2005. <URL:<http://www.matweb.com>

UDLAP@. Proceso de reciclaje de plásticos: Visitado el 25 de Septiembre de 2005 < URL : <http://www.udlap.mx>

IMPI@2006 Instituto mexicano de plásticos: Enciclopedia del plástico. Visitado en Septiembre de 2006 < URL : <http://www.impi.mx>.

TEXTOSCIENTIFICOS@2006 Proceso extrusión de polímeros: textos educativos: Visitado en Septiembre de 2006 < URL : <http://www.textoscientificos.com>.

ACOPLASTICOS@2006 Entidad dedicada al estudio de los plásticos: Visitado en Octubre de 2006 < URL : <http://www.acoplasticos.org/principal.php>

GUÍA PARA LA GESTIÓN DE PROYECTOS BASADA EN EL PROYECTO “MEJORAMIENTO TECNOLÓGICO LÍNEA DE PRODUCCIÓN WAFER TRADICIONAL” EN COMPAÑÍA DE GALLETAS NOEL



LUIS FELIPE VÉLEZ MAYA

lvelezma@eafit.edu.co

Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS

GESTIÓN DE PROYECTOS

ASESOR PRINCIPAL

JUAN SANTIAGO VILLEGAS

SECTOR BENEFICIADO

COMPAÑÍA DE GALLETAS NOEL

RESUMEN

El proyecto de grado consiste en documentar una guía para abordar los proyectos de mejora en las líneas de producción en Compañía de Galletas Noel, empresa en la que dicha gestión no se encuentra documentada. Dicha guía tiene como base el proyecto “Mejoramiento tecnológico línea de producción Wafer tradicional”

El tener una guía para la gestión de proyectos de mejora en las líneas de producción logra estandarizar la manera de enfrentarlos, permite seleccionar la alternativa que más satisfaga las necesidades iniciales, hace que los proyectos puedan ser ejecutados por diferentes equipos de trabajo, ayuda a la planeación y al control, a focalizar la gestión en cada una de las etapas, hace tener en cuenta los posibles riesgos de ejecución así como la medición de los mismos, minimiza posibles errores humanos y logra controlar el costo de los proyectos.

La guía se desarrolla en cinco grandes etapas, necesarias para intervenir los proyectos, las cuales son:

- Estudios y concepción del proyecto.
- Planificación del proyecto.
- Ejecución del proyecto.
- Puesta a punto y estabilización del proyecto.
- Cierre del proyecto.

ABSTRACT

This thesis seeks to document a guide to manage the improvement production lines projects in Compañía de Galletas Noel, this management is not documented in the company. The guide is based in the project “Technological Improvement of the Wafer Tradicional Production Line”.

To have a guide for project management achieves the optimum management standardization, it allows to select the best alternative which satisfy all the initial needs, it makes the projects executable by different work teams, it helps the planning and monitoring process and also helps to focalizes in the right stage the project is in course. The guide looks for a management that seeks to diminish risks, costs, human errors in aim all the possible lost in the project life.

The guide has five stages, which are completely necessary to have success in the project:

- Studies and project conception.
- Project planning.
- Project execution.
- Project stabilization.
- Closing the project.

PALABRAS CLAVE

Gestión, control, proyecto, estudios de prefactibilidad, planeación, ejecución, definición de ingeniería, proceso comercial, fabricación, montaje, estabilización, riesgo, ensayos, mantenimiento productivo total, retroalimentación.

KEY WORDS

Management, monitoring, project, stage, prefeasibility studies, planning, execution, engineering definition, commercial process, manufacture, assembly, stabilization, risk, testing, total productive management, feedback.

INTRODUCCIÓN

Un proyecto es la búsqueda de una solución inteligente al surgimiento de una necesidad humana y que siempre haya crecimiento económico y social, esto se logra a través de un conjunto de actividades que no son repetitivas y en un tiempo determinado. Todos los proyectos son diferentes, tienen riesgos y pueden incurrir en factores económicos, ambientales, gubernamentales, y cambios tecnológicos no fácilmente predecibles.

El que los proyectos tengan un tiempo definido, resultados únicos, operaciones diferentes debido a las especificaciones técnicas, costo y discontinuidad; hacen que los proyectos se diferencien claramente de otro tipo de actividades que se desarrollan en una organización. Las operaciones repetitivas y continuas son objeto de estudio de otras disciplinas aunque en algunas ocasiones existe superposición de temas. Por ejemplo, tanto los en los proyectos como en las operaciones continuas nos

encontramos con: Ambos son desarrollados por personas, tienen limitaciones de recursos, se pueden describir en forma de proceso y ambos pueden ser planeados, ejecutados y controlados (Ochoa, 1997,4).

Basados en el proyecto "Mejoramiento tecnológico línea de producción Wafer tradicional", del cual he hecho parte durante el período de práctica, se documenta una guía que permita ejecutar todo proyecto de mejora al interior de la compañía y así lograr estandarizar la metodología para lograr intervenir desde megaproyectos hasta pequeños proyectos.

ETAPA 1: ESTUDIOS Y CONCEPCIÓN DEL PROYECTO

En esta etapa se hace una descripción de que es un proyecto, sus etapas y de los estudios previos necesarios para la toma de una decisión que satisfaga la necesidad inicial.

Los estudios previos del proyecto, según el estándar de la organización de las naciones unidas para el desarrollo industrial -ONU- son los siguientes:

- Estudio sectorial y de mercados.
- Estudio técnico y ambiental.
- Estudio administrativo y organizacional.
- Estudio legal.
- Estudio financiero.

No obstante, existen proyectos como es el caso del proyecto en estudio, que no requieren de todos estos estudios y por tal motivo esta etapa se puede reducir a:

- Análisis de la necesidad.
- Definición de objetivos.
- Evolución de la línea.
- Análisis del layout y puntos críticos.
- Búsqueda y análisis de alternativas.
- Análisis costo-beneficio para la propuesta nacional.
- Selección de la alternativa y aprobación del proyecto.

ETAPA 2: PLANEACIÓN DEL PROYECTO

En la segunda parte se hace énfasis en los ítems necesarios correspondientes a la planeación del proyecto la cual consta de:

- Definición de recursos, tales como clientes internos y externos, los asesores, los interventores y los proveedores.
- Se exponen los criterios para la selección del personal como el gerente del proyecto, el equipo de trabajo y el equipo de apoyo.
- Se define la metodología de trabajo, la cual puede ser una mezcla entre el cuerpo del conocimiento (metodología para la gestión de proyectos basada en procesos), el trabajo en equipo, control visual por tableros, reuniones, agenda de trabajo, implementación de cronogramas entre otras.
- Se debe realizar la estructura desglosada de trabajo (WBS) ya que esta es la base para la formación de los equipos de trabajo, la generación de actividades y su secuenciamiento (cronograma) y la planificación de recursos, en general.
- Una vez se tienen las actividades y su duración, se procede a desarrollar mediante barras de Gantt, el cronograma de actividades del proyecto
- Se plantea en esta etapa el estimativo de costos, tiempo y riesgos que tendrá el proyecto desglosado por paquetes de trabajo y se define el manejo de la información como las reuniones e informes.

ETAPA 3: EJECUCIÓN DEL PROYECTO

En esta etapa se deben controlar todas las variables que han surgido en la planeación del proyecto, como el cronograma, las actividades, el tiempo, los riesgos, el buen funcionamiento de los equipos de trabajo y la calidad; es de vital apoyo las reuniones, los informes, las bitácoras, la metodología para la resolución de problemas y demás temas planteados en dicha etapa para lograr el correcto desarrollo y control del proyecto.

En la ejecución del proyecto se presenta además la necesidad del control del presupuesto; esta etapa se compone de 5 grandes fases, las cuales son:

- Definición y solución de ingeniería: Es la fase en la que se establecen las posibles soluciones que deben satisfacer los requerimientos de calidad, salud ocupacional, desempeño de la línea, nivel de automatización, en fin todas las necesidades que dieron vida al proyecto para culminar con la selección del mejor diseño.
- Proceso comercial: Es en esta fase que se realiza la contratación de los proveedores
- Fabricación de equipos: En esta fase se lleva a cabo la fabricación de los equipos seleccionados en la fase de definición y solución de ingeniería
- Montaje de equipos: Para el caso del proyecto en estudio se ejecuta de manera conjunta con la etapa de fabricación de equipos ya que facilita el trabajo, se disminuyen los tiempos de montaje ya que tan pronto el entregable se encuentra listo se ubica dentro del layout, tal y como fue dispuesto
- Verificación y ajustes: Esta es la fase en que se revisa el cumplimiento de los estándares exigidos por la compañía, y se hacen pequeños ensayos para comprobar el correcto funcionamiento de todos y cada uno de los equipos.

ETAPA 4: PUESTA A PUNTO Y ESTABILIZACIÓN

La cuarta parte analiza la etapa de puesta a punto y estabilización del proyecto, esencial para un arranque sin inconvenientes, en esta se realiza el análisis cualitativo de riesgos, la definición de ensayos y el control inicial del proyecto.

Adicionalmente, se debe capacitar a al personal que operara la el proyecto.

ETAPA 5: CIERRE DEL PROYECTO

En esta etapa de debe tener en cuenta el siguiente procedimiento:

Implementación de paso 1 del pilar de mantenimiento planeado de la filosofía TPM: TPM es una filosofía de origen japonés, orientada a aumentar la productividad de una empresa, por medio de la eliminación de las pérdidas ocasionadas en todo el ciclo productivo. La filosofía TPM se basa en 8 pilares para lograr aumentar la productividad

El objetivo del pilar de mantenimiento planeado es mejorar la funcionalidad de los equipos a través del incremento de la confiabilidad, mantenibilidad y siendo costo – efectivo.

Cada uno de estos pilares requiere de una serie de pasos para su implementación, en donde el pilar de mantenimiento planeado en cuanto a proyectos se refiere debe tener la siguiente ruta:

- Registro de equipos.
- Clasificación de los equipos.
- Levantamiento de listado de repuestos para el almacén, con definición de cantidades máximas y mínimas.
- Registro de la información técnica como catálogos, planos, entre otros.
- Evaluación de resultados y retroalimentación.

Se debe también cerrar el proyecto con un acta de cierre para luego activarlo contablemente, entregar la línea a producción y comenzar la operación continúa.

CONCLUSIONES

La metodología de trabajo para el desarrollo de proyectos, al ser didáctica muestra como un proyecto, sin importar su magnitud, puede ser llevado a feliz término.

El trabajar bajo la metodología de la guía se pueden obtener grandes beneficios para proyectos de ingeniería de cualquier magnitud gracias a su correcta distribución de recursos y actividades a lo largo del horizonte del proyecto a medida que se enfrenta cada una de sus etapas ya que trae consigo la optimización de costos, optimización del tiempo de realización del proyecto, reducción y planes de contingencia para los riesgos y problemas durante las etapas, entre otros.

Con la aplicación de la guía, cada procedimiento y método para desarrollar cada etapa de un proyecto, quedan totalmente definidos hasta el último nivel detalle, permitiendo la correcta asignación de responsables, tiempos, costos, requerimientos por parte de calidad o salud ocupacional que se encuentran involucrados en las actividades.

La etapa de definición y concepción del proyecto es vital para, identificar las necesidades, definir un alcance para el proyecto, analizar las condiciones iniciales en caso de existir, tener en cuenta la posibilidad de desarrollar el proyecto de varias maneras, y para tomar la decisión adecuada.

La etapa de planeación del proyecto define los recursos, el equipo de trabajo, las actividades, los entregables, la metodología de trabajo, el manejo de la información, el cronograma y el estimativo de costos, tiempo y riesgos, entre otras.

La ejecución del proyecto es donde se desglosan las actividades de control, seguimiento, se aplica la metodología de trabajo y se obtiene la materialización del proyecto cumpliendo con los estándares de la política de calidad integrada, todo se logra gracias no solo al equipo del proyecto, sino también a los técnicos, proveedores y demás personas involucradas en el proyecto.

La etapa de cierre del proyecto se considera de igual importancia dentro de la gestión de proyectos, debido a que se registra la línea con el fin de cumplir con la filosofía de TPM, se activa y se presenta una evaluación de resultados y una retroalimentación con el fin de obtener las mejores experiencias para aplicarlas en otros proyectos, así como también mejorar los puntos críticos para que no se presenten en proyectos futuros, se aprueba por producción y se realiza una celebración que pretende dar reconocimiento a los involucrados en el desarrollo del proyecto.

Contar con una guía para la gestión de proyectos es de vital importancia para la compañía debido a que estos hacen parte del día a día e involucran al personal directa e indirectamente, en donde la guía marca la ruta de trabajo.

La guía brinda el método y el orden necesario para la gestión de proyectos, factores clave de éxito a la hora de enfrentar un proyecto.

En los proyectos se pueden presentar variaciones de tiempos, actividades, costos y recursos; para lograr que lo planeado y lo real sean aproximados y con la mínima desviación, se hace necesario tener una excelente metodología de control la cual no solo debe ser implementada rigurosamente sino que se debe realizar seguimiento continuo, actualizaciones frecuentes y una correcta difusión de la información para la toma de decisiones en el momento oportuno.

BIBLIOGRAFÍA

COMPANIA DE GALLETAS NOEL, Carpetas del proyecto. Medellín-Colombia. 2006.

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE. A guide to the project management body of knowledge PMBOK guide. Newtown Square. Project Management Institute, 2000. pp. Completo.

WYSOCKY, Robert y Otros. Effective Project Management. United States of America. John Wiley & Sons, 2000. pp. Completo.

BURTON, Celia. Guía Práctica para la Gestión por Proyecto: Como Hacerla Efectiva en su Empresa. España. Ediciones Padios, 1995. pp. Completo.

JOHNSTON, Andrew. A Hacker's Guide to Project Management. Oxford-England. Butterworth-Heinemann, 1995. pp. Completo.

OCHOA, Oscar Jaime y EASTMAN, Thomas. Guía para la planeación en proyectos de ingeniería. Medellín-Colombia. EAFIT, 1997. pp. Completo.

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).

SENET, Eliseo. Introducción al proyecto. Valencia-España. Universidad Politécnica de Valencia, 1988. pp. Completo.

PREPARACIÓN Y EVALUACIÓN DE PROYECTOS. Apuntes de clase. Énfasis en Gerencia de proyectos. Medellín-Colombia. Universidad EAFIT, 2006. pp. Completo.

TPM. Memorias de clase. Libre configuración en Mantenimiento. Medellín-Colombia. Universidad EAFIT, 2006. pp. Completo.

Mono@ Planificación de Proyectos [On line]. Carlos Núñez [Citado en 03 de Octubre de 2006]. Disponible en Internet <<http://www.monografias.com/trabajos34/proyecto-planificacion/proyecto-planificacion.shtml>>

Mono1@ Gestión de proyectos [On line]. Rodrigo Peña [Citado en 03 de Octubre de 2006]. Disponible en Internet <<http://www.monografias.com/trabajos11/gepro/gepro.shtml>>

Noel@. Proceso de producción de Wafer. Compañía de Galletas Noel. [Citado en 10 Enero de 2007]. Disponible en Intranet Noel.

Noel1@, 2006. Web interna del proyecto Actualización tecnológica línea de producción Wafer tradicional. Compañía de Galletas.

ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD DE LA PRODUCCIÓN DE MEZCLADORAS DE HORMIGÓN



LUISA FERNANDA AGUDELO B.
luisafernandaagudelo@gmail.com
Departamento de Ingeniería Mecánica

MIGUEL ARTURO ECHEVERRI R.
mecheverri@concreto.com
Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS
GESTIÓN DE PROYECTOS

ASESOR PRINCIPAL
JOSÉ ALFREDO VÁSQUEZ

SECTOR BENEFICIADO
SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN

RESUMEN

El replanteamiento del modelo de producción del sector de la construcción, así como el auge en el que se encuentra actualmente, exige la búsqueda de eficiencias técnicas y económicas que propendan por el buen desempeño de las empresas de construcción. Ello implica un adecuado manejo de recursos humanos y técnicos, lo que constituye un espacio para la generación de nuevas oportunidades de negocio en las industrias asociadas al sector. En el caso particular del área técnica, el sector de la metalmecánica podría aportar soluciones al mejoramiento en los procesos de producción de materiales para la construcción, tales como, la fabricación de hormigón (mezcla de cemento, arena y agregados pétreos), cuyo costo incide sobre las utilidades económicas de las empresas.

Este artículo contiene los resultados obtenidos del estudio de prefactibilidad que busca determinar la viabilidad financiera de la creación de una empresa productora de mezcladoras de hormigón en el municipio de Sabaneta, Antioquia. Esto se logró mediante la recopilación de información a través de los estudios de mercado, técnico, administrativo, legal y financiero.

ABSTRACT

New productive models in the construction sector, as well as the upside it is actually, demands the search for efficient and economic techniques that provide a good direction for the construction companies. This implies an adequate human resource and technical management, which constitutes a space for the generation of new business opportunities in the industries associated to the sector. In the particular case of the technical area, the metal mechanics sector could provide solutions to improve production processes of construction materials, such as concrete fabrication (a mix of cement, sand and oil aggregates), whose cost directly affects utilities in factories.

This article contains the results obtained in the prefeasibility study that strives to determine financial viability of the creation of a company that manufactures concrete mixers in Sabaneta, Antioquia. This was achieved by compiling information using market, technical, administrative, legal and financial studies.

PALABRAS CLAVES

Mezcladora de hormigón, construcción, eficiencia, pre-factibilidad, rentabilidad, flujo efectivo.

KEY WORDS

Concrete mixer, construction, efficiency, prefeasibility, yield, cash flow.

INTRODUCCIÓN

Atendiendo que en Colombia el volumen de consumo de hormigón se ha ido incrementado en los últimos años a partir del aumento de proyectos de construcción y, que estos a su vez se han visto en alza por la reactivación económica que ha presentado el sector, hace pensar en el replanteamiento de los procesos de producción de materiales indispensables para la construcción para poder obtener así, insumos de buena calidad en el tiempo requerido y a buen precio.

En la actualidad, en el país existen pocas compañías fabricantes de mezcladoras de concreto y esto combinado con la reactivación del sector de la construcción, hace que la disponibilidad del equipo sea baja haciendo que los costos de alquiler o de compra sean altos.

El mercado de alquiler de máquinas y equipos de construcción maneja diferentes tipos de mezcladoras según su capacidad. Las más comunes son las de 175 (0.175 m³), 200 (0.2m³) y 300 (0.3 m³) litros de mezcla y muy pocas compañías (ConConcreto, AIA, CONINSA entre otras) tienen de 500 litros, siendo estas de uso exclusivo para sus proyectos y generando una insuficiencia en la oferta de las de mayor capacidad (400 y 500 litros), las cuales serían utilizadas por proyectos independientes.

La cantidad de mezcladoras de 175 (0.175 m³), 200 (0.2m³) y 300 (0.3 m³) litros que se requieren en el mercado es muy superior a la cantidad disponible. Las mezcladoras de 500 litros son de difícil consecución en el medio, por lo tanto la fabricación de este tipo de maquinaria representa una oportunidad de negocio, ofreciendo un producto que permita disminuir costos de adquisición para las empresas de alquiler de equipos para la construcción, y a su vez disminuir costos a los proyectos.

ANÁLISIS DE LA DEMANDA

Para el análisis de la demanda actual e histórica de las mezcladoras de hormigón en Colombia, se realizaron entrevistas a personas que pertenecen a organizaciones nacionales que producen este tipo de bien y poseen información relevante sobre el nivel de rotación de esta maquinaria. Además se solicitó a la DIAN un informe sobre las importaciones de los últimos años de mezcladoras de minerales con asfalto.

El consumo aparente del proyecto va a ser tal que sustituya la cantidad de maquinaria importada a nuestro país, haciendo que la demanda sea de sustitución, ya que la producción del proyecto no amplía el volumen del mercado existente, si no que desplaza a otros proveedores del mercado, de esta forma se tiene que suplir las necesidades del mercado que realiza las importaciones de mezcladoras de alta capacidad.

Con la información extraída del reporte suministrado por la DIAN, se realizó una modelación estadística de estos datos aleatorios. Con la función de distribución de probabilidad se realizó una proyección de la demanda futura a un periodo de 10 años (tabla 1).

TABLA 1
Proyección de la demanda de mezcladoras de hormigón a 10 años

Año	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Cantidad	3	3	1	1	1	1	1	1	1	2

REQUERIMIENTOS TÉCNICOS

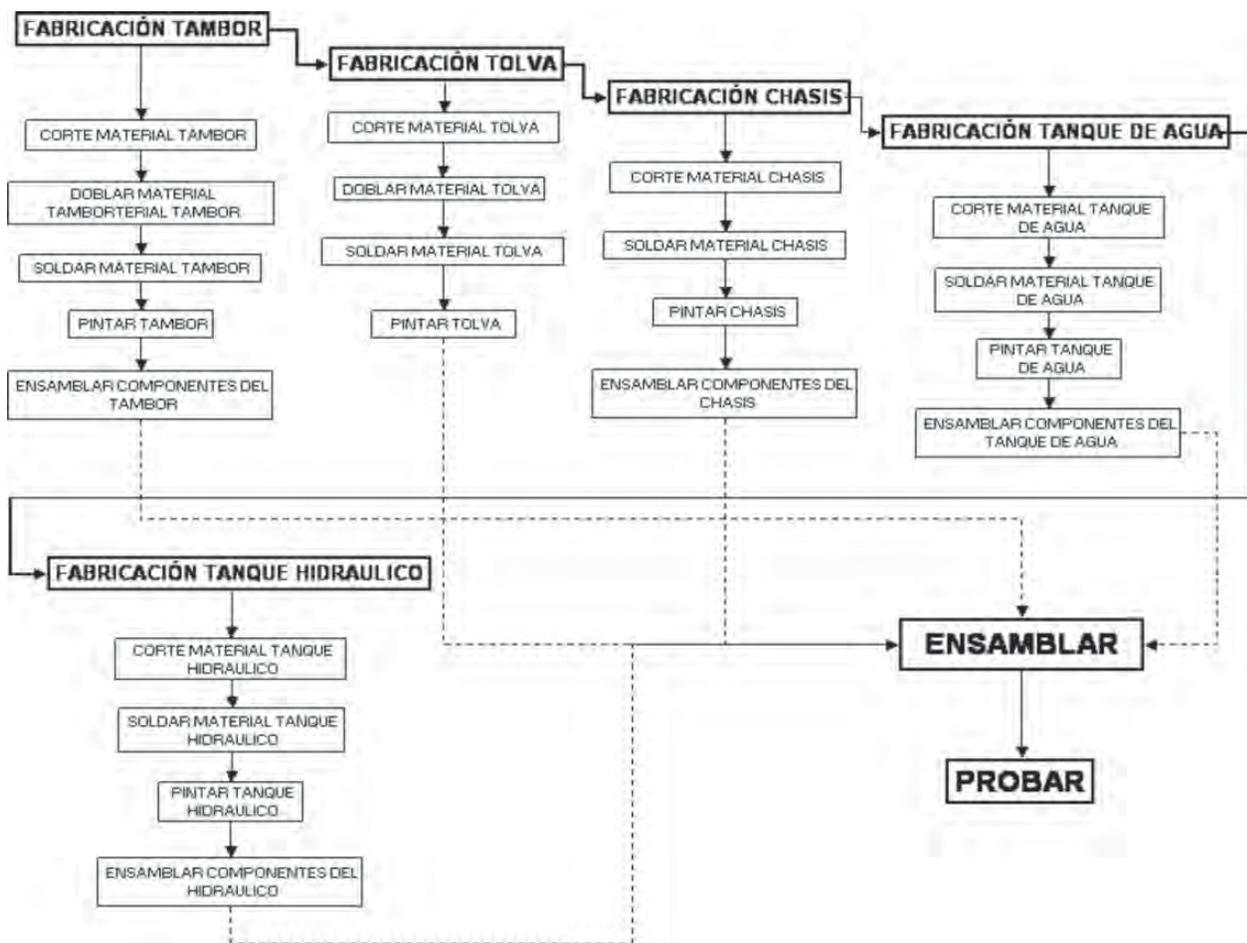
El proceso productivo consta de tres etapas, la primera es la gestión de compra de materiales e insumos, la segunda es contratar en talleres especializados el servicio de corte, mecanizado y doblaje del material para obtener así piezas con las especificaciones técnicas de la mezcladora de hormigón y por último el ensamble y pintura de todos los componentes.

Para lograr un óptimo desempeño durante el proceso de producción, poder cumplir con las necesidades del proyecto

y a su vez poder garantizar las normas de seguridad dentro de la planta, se requiere invertir en los siguientes equipos y herramientas: aparato de soldadura para trabajar por medio del proceso de soldadura de arco de flujo continuo (FCAW), equipo para corte con oxígeno y acetileno, diferencial eléctrica para tres toneladas, pulidora eléctrica, taladro magnético y juego de herramientas

A continuación se presenta la secuencia del proceso de transformación del producto (Figura 1).

FIGURA 1
Flujograma del proceso



RESULTADOS ESTUDIO FINANCIERO

La evaluación financiera contemplo tres diferentes alternativas de inversión inicial, dependiendo si los equipos y herramientas eran nuevos, de segunda mano o alquilados.

La Tasa Mínima de Retorno (TMR), es la tasa mínima de rendimiento que se debe exigir a una inversión para que sea aceptada. Actualmente el mercado financiero Colombiano esta rentando en inversiones a largo plazo valores entre 10% y 14% efectivo anual. La tasa del proyecto debe ser unos puntos superiores a éstas, para hacer atractiva la inversión en el proyecto, por eso se ha optado por tomar una TMR equivalente al 20% E.A. para evaluar el proyecto.

En las tres alternativas de inversión, el Valor Presente Neto (VPN) es menor que cero, lo que quiere decir que los egresos del proyecto son mayores que los ingresos, esta situación genera una perdida a una tasa de 20% E.A, por tal razón, el proyecto no es viable financieramente para los flujos de efectivo esperados y el tiempo proyectado.

Por la naturaleza del flujo de caja de este proyecto, el cual no presenta ningún rendimiento durante el horizonte, es intrascendente el cálculo de la Tasa Interna de Retorno (TIR), reafirmado la no viabilidad del proyecto.

En este caso, el proyecto no genera utilidades, por tal motivo no se puede calcular la Tasa Verdadera de Retorno (TVR)

CONCLUSIONES

Según el análisis financiero realizado al flujo del inversionista y al flujo del proyecto, podemos concluir que el proyecto de producir en Colombia mezcladoras de hormigón para capacidad de 500lts, no es rentable dentro de los parámetros establecidos en este estudio.

El resultado del estudio de mercado puede determinar la viabilidad de un proyecto antes de seguir adelante con las demás etapas. Este proyecto pudo haber sido interrumpido desde el momento en que se proyectó la demanda.

Actualmente en Colombia, en el sector de la construcción se prefiere invertir en las mezcladoras de hormigón antiguas, que en comprar una máquina nueva, haciendo que la comercialización de este producto sea difícil, esto hace que la consecución de una cartera de clientes sea una tarea ardua.

Según el flujo del inversionista, los costos de operación para una capacidad instalada del 100% son superiores en un 23.6% a los ingresos del proyecto, dando como resultado perdidas durante la vida útil de éste. Se recomienda estudiar la viabilidad del proyecto modificando los costos variables y los gastos de administración. Entre los dos representan un 79.38% del total de los costos de operación.

Analizando diferentes alternativas de evaluación podemos concluir que para hacer rentable el proyecto, se deben presentar las siguientes condiciones:

Incrementar el valor de venta del producto en un 63% y reducir los gastos de administración en un 50%. Por condiciones del mercado es imposible tener en cuenta esta opción ya que no ofrece ventajas competitivas.

Incrementar la cantidad de producción a 8 mezcladoras por año, anular los costos de mano de obra y cambiarlos por servicios prestados de contratistas, de esta forma se evita pagar tiempo inoficioso. Además es indispensable reducir los gastos de administración en un 80%, anulando de esta forma al vendedor y al administrador del proyecto. Desde el punto de vista financiero es muy buena opción, pero la realidad es muy diferente, porque según el estudio de la demanda es imposible vender 8 mezcladoras al año.

Este proyecto puede ser rentable si se asocia con otros proyectos similares, es decir que se puede montar la empresa desde el punto de vista organizacional y legal pero se debe diversificar los productos, para no depender de una sola línea de producción.

El proyecto presenta un apalancamiento financiero porque la tasa de oportunidad es mayor que la tasa de financiación, 20% y 13% respectivamente.

El análisis de alternativas dio como resultado que la opción más favorable para los inversionistas es la de alquiler de equipos seguida de comprar los activos de segunda mano y por último la compra de nuevos activos. Esto se ve reflejado en las diferencias de los VPN en cada una de las alternativas.

El tamaño del proyecto no soporta los costos de una estructura organizacional como la que se definió en el estudio administrativo

BIBLIOGRAFÍA

Alonso Molina; Información obtenida en entrevista con el Jefe de alquiler de Equipos de ConConcreto S.A; Marzo 2006.

ARBOLEDA VELEZ, Germán. Proyectos : Formulación, evaluación y control. Cali : AC Editores, 1998. 593 p. ISBN 9589648509.

ARBOLEDA, Benjamín. Ingeniería económica : métodos para el análisis de alternativas. 2 ed. Medellín, Colombia : Copiservicio, 1982. 501 p.

ASOCIACIÓN NACIONAL DE INSTITUCIONES FINANCIERAS. Mercados industriales. c.l. : POP Impreso, 2006. 216 p. ISBN 1794-2373.

_____ Riesgo industrial II-2005. c.l. : Impresión Procesos Gráficos, 2006. 193 p. ISBN 1794-2411.

BACA URBINA, Gabriel. Evaluación de Proyectos. 3 ed. México : MCGraw-Hill Interamericana, 1995. 339p. ISBN 9701007468.

BANKS, Jerry. Handbook of simulation. Atlanta, Estados Unidos : John Wiley & Sons, 1998. 849 p.

COLOMBIA. DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADÍSTICA. Clasificación Central de Productos Adaptado para Colombia : versión 1.0. Bogotá, Colombia : Dirección de difusión, mercadeo y cultura estadística, 2004. 277 p.

_____. Clasificación Industrial internacional Uniforme de todas las actividades económicas : revisión 3 adaptada para Colombia. Bogotá, Colombia : División de mercadeo y edición del DANE, 2003. 351 p.

_____. Encuesta anual manufacturera. Bogotá, Colombia : DANE, 1994.

_____. _____. Bogotá, Colombia : DANE, 1995.

_____. _____. Bogotá, Colombia : DANE, 1996.

_____. _____. Bogotá, Colombia : DANE, 1997.

_____. _____. Bogotá, Colombia : DANE, 1998.

_____. _____. Bogotá, Colombia : DANE, 1999.

_____. _____. Bogotá, Colombia : DANE, 2000.

_____. _____. Bogotá, Colombia : DANE, 2001.

_____. _____. Bogotá, Colombia : DANE, 2002.

_____. _____. Bogotá, Colombia : DANE, 2003.

CEMENTO. En : Dinero. 2005, No 231 (jun 2005); p. 118,120

CEMENTO. En : Dinero. 2006, No 255 (jun 2006); p. 116,118

HIERRO Y ACERO. En : Dinero. 2005, No 231 (jun 2005); p. 116

HIERRO Y ACERO. En : Dinero. 2006, No 255 (jun 2006); p. 120 -121

LA ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO INDUSTRIAL . Manual para la preparación de estudios de viabilidad industrial. Nueva York, Naciones Unidas : ONUDI, 1978. 109 p.

MATALLANA RODRÍGUEZ, Ricardo; INSTITUTO COLOMBIANO DE PRODUCTORES DE CEMENTO y ASOCRETO. Concreto : serie de conocimientos básicos. Bogotá, Colombia : Gráficas Ducal, s.f. 30 p.

MIRANDA MIRANDA, Juan José. Gestión de proyectos : Identificación, formulación, evaluación. Bogotá, Colombia : MB Editores, 1997. 366 p. ISBN 9589622704.

MONTOYA GARCÍA, Walter y PATIÑO ZULUAGA Jorge Mario. Estudio de requisitos para fundar una empresa manufacturera cumpliendo con las exigencias de la ley. Medellín, 1996, p.v.p. Trabajo de grado (Ingeniero de Producción). Universidad EAFIT. Facultad de Ingeniería.

PROYECTOS INMOBILIARIOS. En : Dinero. 2006, No 255 (jun 2006); p. 152,154

RESTREPO JARAMILLO, Carlos Mario. Manual para construir una empresa en Medellín : administración y disolución. Medellín : Cámara de comercio, 1997. 290 p. ISBN 958-9221-22X.

VIVIENDA. En: Dinero. 2005, No 231 (jun 2005); p. 140,142

ORTEGA GOMÉZ, Esther. Derrumbe de las constructoras Colombianas. [en línea]. [citado 11 de marzo de 2006] Disponibilidad en Internet: <<http://www.americaeconomica.com/reportajes/econstruccionrep.htm>>.

Colombia. Actividades del sector servicios construcción y vivienda. [en línea]. [citado 11 de marzo de 2006] Disponibilidad en Internet: <<http://www.cideiber.com/infopaises/Colombia/Colombia-06-06.html>>.

Equipos de construcción. [en línea]. [citado 11 de marzo de 2006] Disponibilidad en Internet: <<http://www2.udec.cl/~cdomarch/construccion/materia07.html>>.

CARDONA, Tatiana. Diagnóstico del sector de la construcción y la ingeniería civil para el periodo 1996 – 2003 [en línea]. [Bogotá, Colombia]: Universidad de Los Andes, s.f. [citado 11 de marzo de 2006]. Disponibilidad en Internet: <http://triton.uniandes.edu.co:5050/dspace/bitstream/1992/696/1/MI_ICYA_2004_013.pdf>.

Área aprobada para la construcción creció 33.8 por ciento [en línea]. [citado 14 de marzo de 2006] Disponibilidad en Internet: <<http://www.presidencia.gov.co/cne/2003/mayo/23/18232003.htm>>.

URIBE BOTERO, Beatriz. Panorama de la edificación en el país. [en línea]. [Bogotá, Colombia]: CAMACOL, nov. 2005. [citado 31 de marzo de 2006]. Disponibilidad en Internet: <[http://www.camacol.org.co/htm/documentos_docpres/20051130162156_Panorama%20de%20la%20edificaci3n%20en%20el%20pa3s%20\(Nov%2030\).pdf](http://www.camacol.org.co/htm/documentos_docpres/20051130162156_Panorama%20de%20la%20edificaci3n%20en%20el%20pa3s%20(Nov%2030).pdf)>.

Concreto [en línea]. [citado 1 de abril de 2006] Disponibilidad en Internet: <<http://www.arqhys.com/particulas-concreto.html>>.

OFICINA COMERCIAL DE LA EMBAJADA DE ESPAÑA EN COLOMBIA. Estudio de mercado: maquinaria construcción en Colombia. [en línea]. [Bogotá, Colombia]: PROEXPORT, jun. 2006. [citado 1 de junio de 2006]. Disponibilidad en Internet: <<http://www.proexport.com.co/VBeContent/library/documents/DocNewsNo5332DocumentNo4328.PDF>>.

Panorama económico. [en línea]. PROEXPORT COLOMBIA, jun. 2006. [citado 1 de junio de 2006]. Disponibilidad en Internet: <http://www.proexport.com.co/VBeContent/newsdetail.asp?id=5600&idcompany=20&ItemMenu=0_253>.

COLOMBIA. DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADÍSTICA. Indicadores económicos alrededor de la construcción: I trimestre de 2006. [en línea]. [Bogotá, Colombia]: DANE, jul. 2006. [citado 1 de junio de 2006]. Disponibilidad en Internet: <http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/pib_const/Boletin_PIB_Const_ltrim06.doc>.

GRUPO BANCOLOMBIA. Macroeconómicos proyectados. [en línea]. may. 2006. [citado 1 de junio de 2006]. Disponibilidad en Internet: <[http://www.corfinsura.com/InvEconomicas/\(qxkwjm450ypjoo45wew5y3qx\)/Indicadores/MacroEconomicosProy.aspx?C=B](http://www.corfinsura.com/InvEconomicas/(qxkwjm450ypjoo45wew5y3qx)/Indicadores/MacroEconomicosProy.aspx?C=B)>.

GRUPO BANCOLOMBIA. Macroeconomía. [en línea]. jun. 2006. [citado 1 de junio de 2006]. Disponibilidad en Internet: <[http://www.corfinsura.com/InvEconomicas/\(qxkwjm450ypjoo45wew5y3qx\)/Tematica/HomeMacroEconomia.aspx?C=B](http://www.corfinsura.com/InvEconomicas/(qxkwjm450ypjoo45wew5y3qx)/Tematica/HomeMacroEconomia.aspx?C=B)>.

GRUPO BANCOLOMBIA. Entorno macroeconómico 2006. [En línea]. jun. 2006. [citado 10 de junio de 2006].

Disponibilidad en Internet: <[http://www.corfinsura.com/InvEconomicas/\(oq3uapzww2b2nczbva1zak45\)/Informes/Busqueda.aspx?td=31&C=C](http://www.corfinsura.com/InvEconomicas/(oq3uapzww2b2nczbva1zak45)/Informes/Busqueda.aspx?td=31&C=C)>.

GRUPO BANCOLOMBIA. Recomendaciones y alternativas de inversión 2006. [En línea]. jun. 2006. [citado 10 de junio de 2006]. Disponibilidad en Internet: <[http://www.corfinsura.com/InvEconomicas/\(oq3uapzww2b2nczbva1zak45\)/Informes/Busqueda.aspx?td=31&C=C&IdDoc=7575](http://www.corfinsura.com/InvEconomicas/(oq3uapzww2b2nczbva1zak45)/Informes/Busqueda.aspx?td=31&C=C&IdDoc=7575)>.

Indicadores de la industria manufacturera. [en línea]. FEDESARROLLO, jun. 2006. [citado 10 de junio de 2006]. Disponibilidad en Internet: <<ftp://ftp.fedesarrollo.org.co/pub/estadisticas/cuadro3.pdf>>.

Boletín económico. [En línea]. CAMACOL, feb. 2006. [citado 10 de junio de 2006]. Disponibilidad en Internet: <http://www.camacol.org.co/documentos_estadisticas_sectoriales/200646174134_boletin%20economico%20feb%202006.pdf>.

Costos laborales 2006. [En línea]. PROEXPORT COLOMBIA, jul. 2006. [citado 26 de julio de 2006]. Disponibilidad en Internet: <http://www.proexport.com.co/VBeContent/newsdetail.asp?id=6347&idcompany=20&ItemMenu=0_257>.

Régimen laboral 2007. [En línea]. PROEXPORT COLOMBIA, 2007. [Citado 1 de marzo de 2007]. Disponibilidad en Internet: <<http://www.proexport.com.co/vbecontent/library/documents/DocNewsNo5722DocumentNo6722.PDF>>.

Preliquidador derechos de constitución y matrícula. [en línea]. CÁMARA DE COMERCIO ABURRÁ SUR, marzo. 2007. [citado 15 de marzo de 2007]. Disponibilidad en Internet: <<http://www.ccas.org.co/EnLinea/preliquidamaticulaformulario.php?organizacion=03&categoria=1&jurisdicion=S&valoractivos=40000000&fechadoc=20070417>>.

Superintendencia de industria y comercio consulta de patentes nacionales. [en línea]. SÚPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO, marzo. 2007. [citado 16 de marzo de 2007]. Disponible en Internet: <<http://200.91.231.203/Patentes/index.php>>.

Registro de la constitución de una sociedad comercial. [en línea]. CÁMARA DE COMERCIO DE ABURRÁ SUR, marzo. 2007. [citado 20 de abril de 2007]. Disponibilidad en Internet: <http://www.ccas.org.co/images/paginas/0702090902104_%20INSTRUCTIVO%20CONSTITUCION%20SOCIEDAD.pdf>.

BANCO DE COMERCIO EXTERIOR DE COLOMBIA. Macroeconómicos proyectados. [en línea]. BANCOLDEx, Marzo. 2007. [citado 25 de abril de 2007]. Disponibilidad en Internet: <<http://www.bancoldex.com/pys/condi-modalid.php>>.

Tramites de creación y constitución de empresas en Antioquia. [en línea]. CÁMARA DE COMERCIO DE MEDELLÍN, abril. 2007. [citado 1 de abril de 2007]. Disponibilidad en Internet: <http://www.camamed.org.co/cae/main.asp>

DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PRUEBA DE UN PROTOTIPO CALENTADOR SOLAR DE AGUA CON TUBOS DE CALOR



CAROLINA MIRA HERNÁNDEZ

cmiraher@eafit.edu.co

Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ENFÁSIS

DISEÑO DE SISTEMAS TÉCNICOS

ASESOR PRINCIPAL

LUIS SANTIAGO PARÍS LONDOÑO

SECTOR BENEFICIADO

UNIVERSIDAD EAFIT

RESUMEN

En este artículo se presentan las etapas de diseño, construcción y prueba de un prototipo de calentador solar de agua con tubos de calor. En cuanto al diseño se enfatiza en el diseño conceptual y la selección de materiales. Se expone los métodos de construcción de los tubos de calor empleados. Finalmente se presentan los resultados obtenidos.

ABSTRACT

In this article the stages of design, construction and test of a prototype of solar heater of water with heat pipes are described. In the design aspect, is given particular attention to conceptual design and material selection. The methods used in the construction of the heat pipes are exposed. Finally the obtained results are presented.

PALABRAS CLAVE

Energía solar, tubos de calor, calentadores solares de agua, aplicaciones de los tubos de calor, fluido de trabajo, estructura capilar, eficiencia térmica.

KEY WORDS

Solar Energy, heat pipes, solar water heaters, heat pipe applications, working fluid, wick, thermal efficiency.

INTRODUCCIÓN

Un calentador solar de agua es un dispositivo técnico que capta y emplea la energía proveniente del sol para calentar agua. De esta manera se aprovecha el sol como fuente de energía y se reduce la utilización de otras fuentes, cuya explotación puede significar el deterioro del medio ambiente, ser costosa o no estar disponible.

En los calentadores solares un cuerpo oscuro absorbe energía de la luz solar y transfiere este calor absorbido a un líquido. El elemento encargado de recibir la energía absorbida y transferirla al fluido es clave, y es donde resulta aplicable la tecnología de los tubos de calor. Un tubo de calor es un dispositivo que permite conducir efectivamente el calor de un punto a otro. Con frecuencia se les llama superconductores de calor, puesto que pueden conducir calor a altas tasas y con bajas pérdidas (ABREU y OTROS, 2003). Los tubos de calor tienen la cualidad de trabajar en posiciones casi horizontales, es por esto que se usan en los calentadores solares.

El uso de la radiación solar como energía térmica parece ser la aplicación más directa de esta energía amigable con el ambiente, disponible y gratuita. Utilizar este calor para aumentar la energía interna de una masa de agua no requiere ningún tipo de transformación en la forma de la energía, lo que se necesita diseñar es un mecanismo que permita transferir el calor y prevenir de las pérdidas del mismo.

DISEÑO DEL PROTOTIPO

El objeto de diseño es un prototipo de calentador solar de agua, que en particular utiliza tubos de calor para la transferencia de la energía captada al agua.

CONDICIONES DE OPERACIÓN

El artefacto que se diseña debe estar expuesto de a la radiación solar, es decir debe estar a la intemperie, sometido a fenómenos climáticos como el sol, la lluvia y el viento. Estas condiciones plantean exigencias principalmente en lo referente a los materiales utilizados.

El prototipo que se diseña, se ubica en la ciudad de Medellín que tiene una latitud de $6^{\circ} 13'$, una longitud de $-75^{\circ} 36'$ y una altitud de 1490m. En promedio la irradiación solar en Medellín, para una superficie horizontal, es de $4,80 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$ o $1800 \text{ kWh/m}^2/\text{año}$ y las horas de brillo son 5.30 horas diarias o 2000 horas anuales (RODRÍGUEZ Y OTROS, 1992). La radiación instantánea promedio para una superficie horizontal es cercana a 400W/m^2 .

DISEÑO CONCEPTUAL

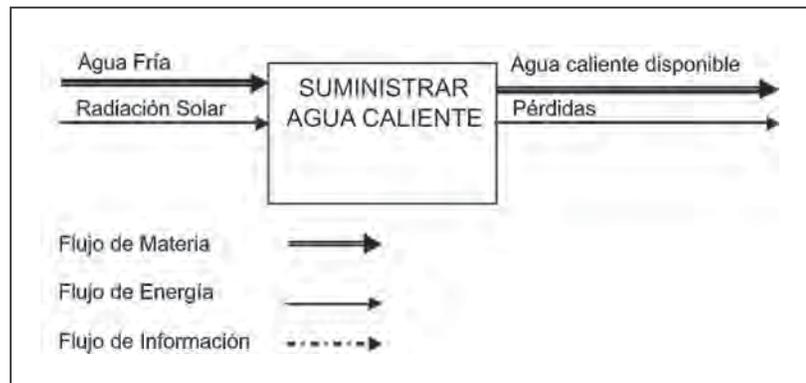
En el caso del calentador solar la función global es el suministro de agua caliente a condiciones requeridas. Los flujos de entrada son:

- **Agua Fría (Materia):** Proveniente del acueducto con una temperatura promedio de 20°C .
- **Radiación Solar (Energía):** El valor promedio para el diseño es $4.80 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$.

Los flujos de salida son:

- **Agua caliente disponible (Materia):** Agua apta para su utilización con una temperatura promedio de 50°C .
- **Pérdidas de Calor (Energía):** Calor que es emitido al ambiente por diferentes mecanismos como la radiación y la convección.

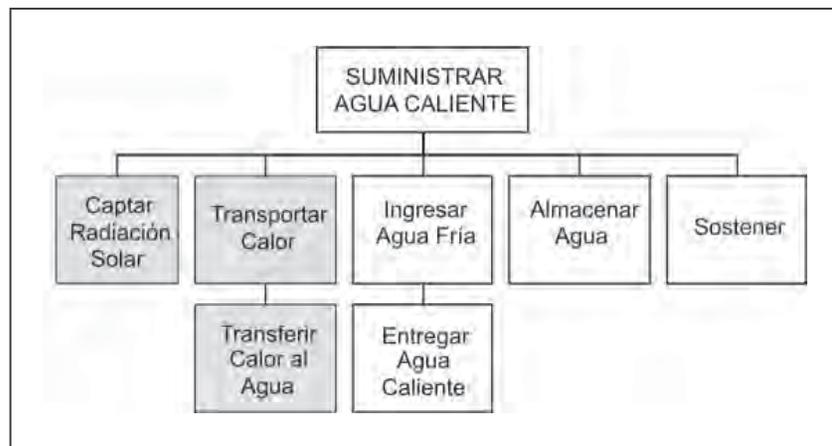
FIGURA 1
Caja negra



La función principal se logra a través de la realización de subfunciones. El trabajo desarrollado se centra en las siguientes funciones, para las demás se utilizan soluciones tradicionales:

- **Captar radiación solar:** Involucra un conjunto de elementos que permiten captar radiación solar a través de una.
- **Transportar Calor:** Es la función desempeñada por los tubos de calor.
- **Transferir calor al agua:** El calor captado y transportado debe ser entregado al agua, a través de una superficie.

FIGURA 2
Estructura funcional



Alternativas de solución para las funciones claves en el diseño son propuestas y evaluadas. La combinación de las alternativas más apropiadas permite obtener los conceptos de solución. Estos también son evaluados y se selecciona el siguiente.

- **Captar radiación solar:** Placa absorbidora en material con alta conductividad térmica.
- **Transportar calor:** Tubo de calor con estructura capilar.
- **Transferir calor al agua:** Área del condensador del tubo de calor.

- Almacenar agua: Tanque aislado independiente del panel de captación.

CONFIGURACIÓN FINAL DEL PROTOTIPO

Se procede a establecer cuales materiales son más apropiados utilizando como criterio las condiciones de operación.

- La placa se fabrica de aluminio porque tiene una buena conductividad térmica y una baja densidad.
- Para la cubierta se selecciona una lámina transparente de PVC con los objetivos de reducir los costos y utilizar nuevos materiales. Por estas mismas razones se decide fabricar el soporte en madera plástica.
- Para el intercambiador se instalan accesorios comerciales en una porción de tubería de PVC de 4" de diámetro.
- Los aislamientos se elaboran en espuma de poliuretano, ya que este material es impermeable, y tienen un costo medio.

FIGURA 3
Prototipo de calentador solar



DISEÑO DE LOS TUBOS DE CALOR

La función principal de los tubos de calor es transportar la energía térmica captada por la placa y entregarla al agua que se pretende calentar. Las condiciones de la aplicación requieren que los tubos operen en posición casi horizontal y tengan un evaporador largo respecto al condensador. Además, se restringe la sección transversal a una anular, por la facilidad de conseguir tubería de distintos materiales.

Para el contenedor se escoge cobre porque tiene alta conductividad térmica y es resistente a la corrosión. Como fluido de trabajo se selecciona agua desionizada, por la facilidad para su manejo.

La estructura capilar que se utiliza es una malla de aluminio trenzada en forma tubular.

ASPECTOS RELEVANTES DE LA CONSTRUCCIÓN

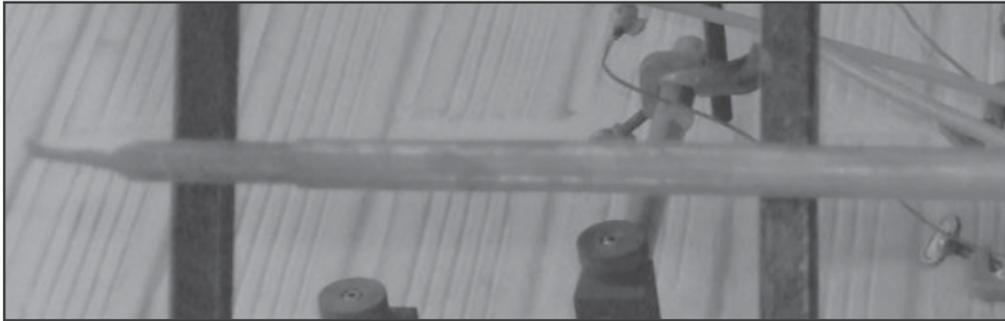
Los tubos de calor son dispositivos con un número de elementos bajo, pero su construcción requiere tener cuidados especiales.

- **Limpieza:** La limpieza es un procedimiento crucial en la fabricación de tubos de calor. Esta permite la eliminación de partículas extrañas óxidos y grasas, los cuales pueden afectar de manera negativa la capacidad de transferencia de calor del dispositivo (APPLEBY y OTROS).

La literatura tiene diferentes propuestas para la realización de la limpieza. En general se propone el uso de soluciones básicas y ácidas con enjuagues intermedios. Estas sustancias remueven óxidos, grasas y partículas extrañas. En este caso se hicieron lavados con ácido clorhídrico al 12% e hidróxido de sodio al 2%, con tiempos de permanencia de 15min y enjuagues intermedios con abundante agua.

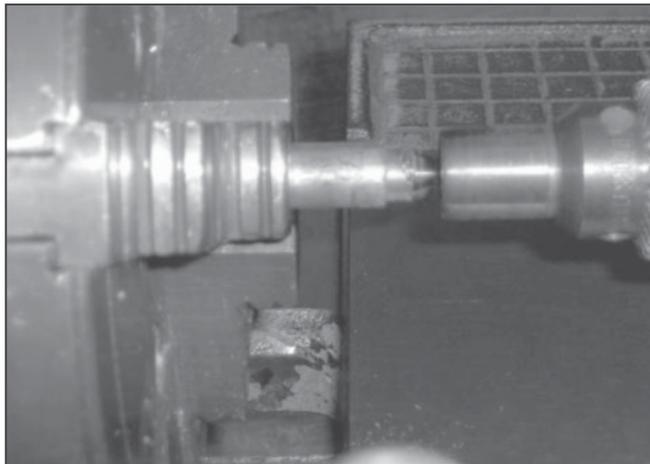
- **Ensamble:** El ensamble consiste en introducir la malla en el tubo de cobre. Se ensarta la malla en una varilla y se encaja este conjunto dentro del tubo. Luego se extrae la varilla.

FIGURA 4
Ensamble malla y tubo



- **Cierre:** Los tubos se cierran en los extremos mediante un proceso de formación en el torno que genera una cúpula esférica con un orificio en la mitad por el cual se introduce bien sea el termopozo o el capilar. La herramienta que se utiliza es una copa de acero fabricada en los laboratorios de la universidad y diseñada para el cierre de tubos de $\frac{1}{2}$ " de diámetro.

FIGURA 5
Cierre de los extremo del tubo



- **Soldadura:** Luego del cierre se introducen los capilares y termopozos y se sueldan. Este proceso debe hacerse con soldadura de oxiacetileno, con material de aporte de alta capilaridad.
- **Carga:** El proceso de carga es de gran importancia, ya que en este se ingresa el fluido al contenedor. Primero se hace vacío en el interior del tubo y luego se ingresa el fluido. Se pesa el tubo de calor para determinar la masa de fluido que se ha cargado. El tubo se ensaya para descartar la presencia de gases no condensables y se hace una purga. Finalmente, vuelve a pesarse el tubo para encontrar la masa final de volumen cargado.
- **Sellado:** Para sellar los tubos, se estrangula el capilar y se corta con un punto de soldadura con arco eléctrico. Luego de este proceso debe ensayarse el tubo de nuevo para comprobar su funcionamiento.

EVALUACIÓN Y RESULTADOS

Se realizan pruebas en el prototipo construido para evaluar su desempeño.

INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN

Las pruebas de desempeño técnico del prototipo hacen necesario el uso de diferentes instrumentos de medición. Las variables más importantes a registrar son: la intensidad de radiación, las temperaturas y flujos másicos.

Para el cálculo de la eficiencia se requieren valores de entrada y salida. Para determinar la entrada, se necesita un instrumento capaz de medir la intensidad de radiación. Para la etapa de pruebas no se dispone de un piranómetro, entonces se procede a la construcción de un elemento que permita tener una percepción de la energía que ingresa al sistema. Este instrumento utiliza una celda fotovoltaica, aprovechando el hecho de que para bajas resistencias la corriente de la celda es directamente proporcional a la energía que incide (SOLAREX CORP, 1979).

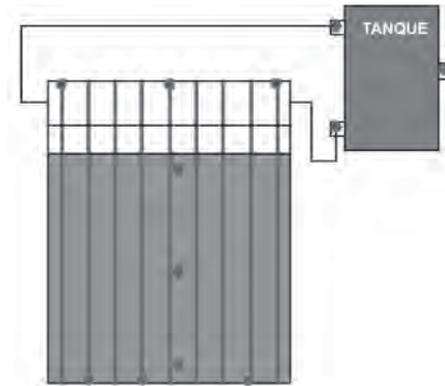
La medición de temperatura se hace con termopares o termocuplas tipo J y K. En búsqueda de una mayor certidumbre en los datos que se coleccionen en las pruebas, se realiza un proceso de calibración en las termocuplas. Los datos se adquieren mediante un PLC.

PRUEBA CON CIRCULACIÓN NATURAL

La prueba consiste en evaluar el dispositivo sin ningún elemento externo que promueva el flujo, solo utilizando el principio de termosifón. El esquema de medición de temperaturas (ver Figura 6).

Durante la prueba las temperaturas de los evaporadores y la placa se comportan de manera fluctuante. Las temperaturas de los condensadores y el tanque, en cambio, mantuvieron una pequeña tendencia de crecimiento durante toda la prueba. Esto se debe a la alta inercia térmica que agrega el agua que se pretende calentar.

FIGURA 6
Esquema prueba de circulación natural

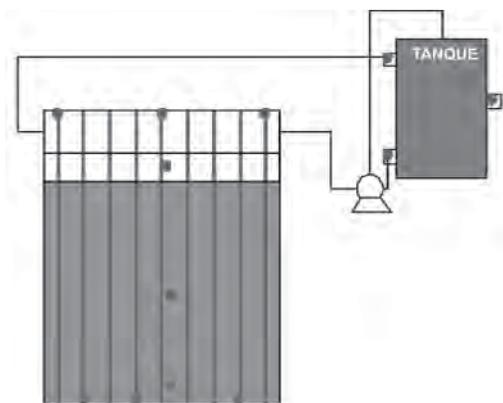


La temperatura de los 67kg de agua contenidos en el sistema pasa de 22,8°C a 25,8°C, lo que equivale a 841,59kJ de energía y en promedio durante la prueba a un flujo de calor de 50,0W.

PRUEBA CON CIRCULACIÓN FORZADA

Se realizan pruebas con circulación forzada con el fin de aumentar los coeficientes de transferencia en la parte superior y así facilitar la evacuación del calor de los tubos.

FIGURA 7
Esquema prueba circulación forzada



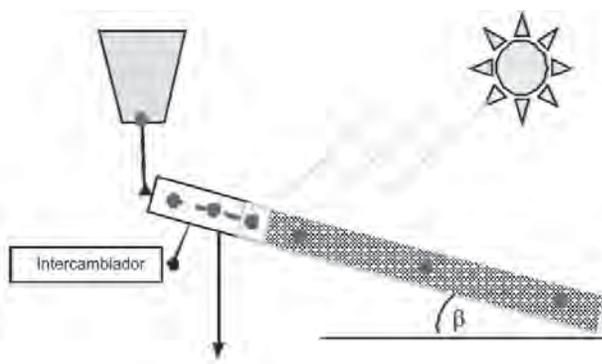
La temperatura media en el tanque pasa de 24,4°C a 34,8°C, esto es equivalente para los 67kg a 2917,50kJ de energía y en promedio durante la prueba a un flujo de calor de 301,2W. Este valor es alto si se tiene en cuenta que

la radiación durante la prueba fue de aproximadamente 680W/m^2 . Sin embargo existe cierta distorsión, ya que la potencia de la bomba es más grande de la requerida y una parte considerable de esta se traduce en calor que va al agua.

PRUEBA A DISTINTAS INCLINACIONES

Las pruebas con circulación natural y forzada dejan la percepción de un bajo desempeño de los tubos de calor. Con el fin de determinar las posibles causas de ese desempeño se separa uno de los tubos y se realiza un montaje como el ilustrado en la Figura

FIGURA 8
Esquema prueba con diferentes inclinaciones



La diferencia de temperaturas entre el evaporador y el condensador para una potencia similar es mayor cuando la inclinación es mayor. Es decir, que la operación del tubo se ve afectada negativamente cuando la inclinación aumenta. Estas observaciones indican la presencia de gases no condensables en el condensador.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se desarrolló un equipo que combina la tecnología de los tubos de calor con la del uso de la energía solar. El proceso consistió: de la adquisición de conocimiento general sobre ambos temas, la identificación de los requerimientos, el diseño metódico, la construcción y finalmente una breve evaluación del prototipo resultante.

Se diseñó un prototipo de calentador solar con tubos de calor que tiene un área de colección de un metro cuadrado y calienta una masa de agua de 67kg . En el panel se ubican 9 tubos de calor con una longitud de 1.3m .

En el prototipo se utilizaron varios materiales plásticos, por la facilidad para su procesamiento y costo moderado. Se hicieron las respectivas consideraciones sobre la coherencia de sus propiedades con las condiciones de operación y se concluyó que esta combinación es innovadora, técnicamente viable y económicamente favorable.

Se utilizaron métodos nuevos para la instalación de la estructura capilar y el cierre de los tubos. La implementación del cierre a través de la formación del extremo del tubo, permite la abolición del uso de tapones y reduce el número de uniones con posible fuga. El uso de una malla tubular facilita la adherencia a las paredes del tubo y elimina el punto de unión longitudinal de las mallas envueltas.

La construcción de los tubos de calor es un proceso con cierta complejidad que se realizó de una manera manual. Este proceso demanda mucho tiempo y restringe las cantidades de tubos a fabricar. La tecnología de los tubos de calor es atractiva, pero igualmente exigente en aspectos de manufactura.

Se realizaron pruebas en el prototipo para evaluar su desempeño y se encontraron bajas eficiencias indicando pérdidas de calor mayores a las consideradas inicialmente y / o una capacidad de transporte térmico baja.

Se realizaron pruebas sobre un solo tubo de calor a diferentes inclinaciones que permitieron concluir, que existe presencia de gases no condensables en el interior del tubo de calor. La malla en el interior de los tubos se ha degradado y es la causa más probable de la aparición de gases no condensables. Esta degradación puede ser ocasionada por iones disueltos provenientes del lavado de la malla y corrosión galvánica entre el cobre y el aluminio.

Para mejorar el desempeño técnico y la viabilidad económica del prototipo es necesario resolver problemas de manufactura en cuanto a: la estructura capilar, la

fabricación de aislamientos y la instalación adecuada de cubiertas de bajo costo. El prototipo construido actualmente no es competitivo comparado con valores de rendimiento de calentadores solares de agua comerciales.

Los procesos de diseño y construcción fueron realizados con cuidado y precaución. Sin embargo, la tecnología de los tubos de calor es un tema en desarrollo y aún existen muchos aspectos por determinar; por lo cual el diseño y optimización aún esta muy ligado a la experimentación. Los campos involucrados en el proyecto como son modelación, manufactura, selección de materiales y experimentación, plantean un panorama muy amplio. Abarcar completamente este panorama se sale de los límites de un proyecto de este tipo.

Se recomienda utilizar otras sustancias como fluido de trabajo que tengan una mayor compatibilidad con el material del cual esta fabricada la malla. También considerar la utilización de mallas con estructuras similar a la utilizada pero fabricadas de acero inoxidable.

BIBLIOGRAFÍA

ABREU, Samuel; SKIAVE, Jorge y COLLE Sergio. "Working Characteristics of a Compact Solar Hot Water System with heat pipes during Startup and Geyser Boiling Periods". En: ISES Solar World Congress 2003. Florianópolis, Brasil, 2002..

APPLEBY, Edward y CATAÑO, Juan. "Diseño y Construcción de tubos de calor", Proyecto de grado (Ingeniería Mecánica). Medellín: Universidad Eafit, 2003.

DUQUE, Andrés. "Diseño y Construcción de un prototipo de Intercambiador de calor utilizando termosifones bifásicos" Proyecto de grado (Ingeniería Mecánica). Medellín: Universidad Eafit, 2004.

DUNN, P. y REAY, D. A. "Heat pipes". Segunda edición. Londres, Pergamon Press, 1978. 334 P. ISBN 0-08-022127-0.

ESEN, Mehmet y ESEN Hikmet. "Experimental investigation of two-phase closed themosyphon solar water heater". En: Solar Energy, 2005. ISSN: 0038-092X

FAGHRI, Amir. "Heat Pipe Science and Technology". Londres: Taylor & Francis, 1995. ISBN 1-56032-383-3

KREITH, Frank y KREIDER Jan. "Principles of Solar Engineering". Washington: McGraw Hill, 1978. ISBN: 0-07035476-6

LUNDE, Peter. "Solar Thermal Engineering, Space Heating and Hot Water Systems". Nueva York: John Wiley & Sons, 1980. ISBN: 0-471-08233-3.

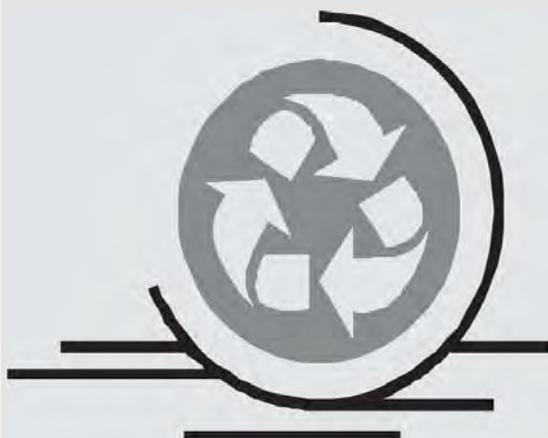
MATHIOULAKIS, Emmanouil y BELESSIOTIS, Vassilis. "A new Heat Pipe Type Solar Domestic Hot Water System". En: Elsevier, Londres 2002. ISSN 0038-092X/02/S

PETTERSON, GP. "An introduction to Heat Pipes Modeling, Testing and Applications". Nueva York: John Wiley & Sons, 1994. ISBN 0-471-30512-X.

RODRIGUEZ, Humberto y GONZALEZ, Fabio. "Manual de radiación solar en Colombia". Bogotá., 1992. ISBN 958-95506-0-6.

WIEDER, Sol. "An introduction to Solar Energy for Scientist and Engineers". Nueva York: John Wiley & Sons, 1982. ISBN: 0-471-06048-8.

ESTUDIO DE LA EVOLUCIÓN DEL RECICLAJE DE PLÁSTICOS EN ANTIOQUIA. CASO ÁREA METROPOLITANA



OSCAR DE JESÚS DÍAZ CADAVID
odlazcad@eafit.edu.co
Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS
PLÁSTICOS

ASESOR PRINCIPAL
LUIS ALBERTO GARCÍA

SECTOR BENEFICIADO
GRUPO DE INVESTIGACIÓN GIRP
UNIVERSIDAD EAFIT

RESUMEN

El propósito de este proyecto es buscar información acerca del reciclaje de plásticos, sus orígenes métodos empleados para llevara cabo esta actividad. El proyecto habla sobre la evolución y el estado en que se encuentra el reciclaje de plásticos en Antioquia, los procesos que se llevan a cabo y el tipo de tecnología empleada en los procesos de transformación. Se puede observar también, como ha crecido el interés por el tema en las diferentes áreas del conocimiento, al buscar las tesis y proyectos de grado desarrollados en los últimos años en las universidades de Medellín y algunas universidades del país. Finalmente, se indaga sobre el manejo del tema del reciclaje de plásticos en las corporaciones ambientales en la región y sobre la evolución de la disposición final de los residuos sólidos de la ciudad de Medellín.

ABSTRACT

The intention of this project is to search information about plastic recycling; their origins, and the different methods used in this activity. The project talk about the evolution and actual situation with the plastic residuals in Antioquia, that processes are carried out, and that technology type is used in the processes of transformation. In the project can also observe, like the interest has grown for the topic in the different areas of the knowledge, when looking for the theses and grade projects developed in the last years in the universities of Medellín and some universities of the country. Finally, the project makes an investigation in the environmental corporations in the region and the companies of final disposition of the solid residuals of the city of Medellín, to know their interest about plastics recycling.

PALABRAS CLAVE

Reciclaje, Cadena de reciclaje, Centros de Acopio, Empresas Transformadoras.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el reciclaje juega un papel importante en la conservación y protección del ecosistema, por lo tanto, es fundamental la apropiada ejecución de programas educativos sobre el reciclaje y además la puesta en práctica de acciones concretas en pro de éste; que es lo que lleva haciendo la universidad EAFIT desde hace algunos semestres con el curso de reciclaje de plásticos IP0212 en la línea de énfasis para ingenierías.

Esta inquietud fue lo que impulsó la idea de realizar un estudio sobre la evolución del reciclaje de plásticos en Antioquia y la manera como se recicla actualmente, por que aunque el tema es conocido en los diferentes sectores de la sociedad y existe buena información de lo que es reciclar y que técnicas se emplean en este proceso, hay poco soporte teórico de la evolución del reciclaje de plásticos en la región, ya que las experiencias relacionadas con el tema, se transmiten al interior de las industrias y en muy pocos casos se documentan.

ORÍGENES

Los orígenes del reciclaje de plásticos a nivel mundial y en Colombia son inciertos, no se conoce la fecha ni el lugar donde esta actividad comenzó. La principal causa de la falta de información es que el negocio del reciclaje de plásticos es muy informal y hasta el momento no se conoce una publicación o estudios que hablen sobre los orígenes del reciclaje en el país, es decir, donde y cuando empezó esta actividad.

ESTUDIOS PREVIOS SOBRE EL RECICLAJE DE PLÁSTICOS

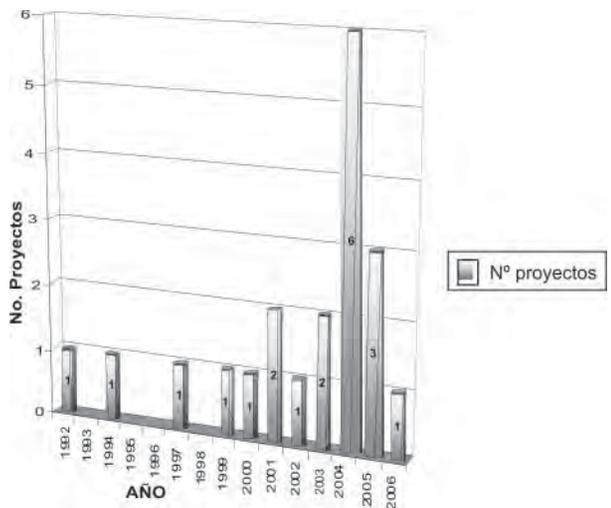
Se presentan las tesis y proyectos de grado desarrollados en las universidades de Medellín y algunas universidades del país que han trabajado con el tema de reciclaje de plásticos.

En la ciudad de Medellín, como en las demás ciudades del país, el interés por desarrollar estudios relacionados con el reciclaje de plásticos aparece en la década de los años

90, y muestra una tendencia a aumentar, no el incremento anual de tesis y proyectos, sino en la medida en que a partir del año 2000, cada año se ha llevado a cabo por lo menos un estudio en alguna universidad, cosa que no sucedía en la década anterior en la que no se refleja un interés continuo sobre el tema.

El gráfico que se presenta a continuación muestra el número de proyectos llevados a cabo por las universidades de la ciudad, desde el año que se tiene registro.

FIGURA 1
Estudios realizados en Universidades de Medellín

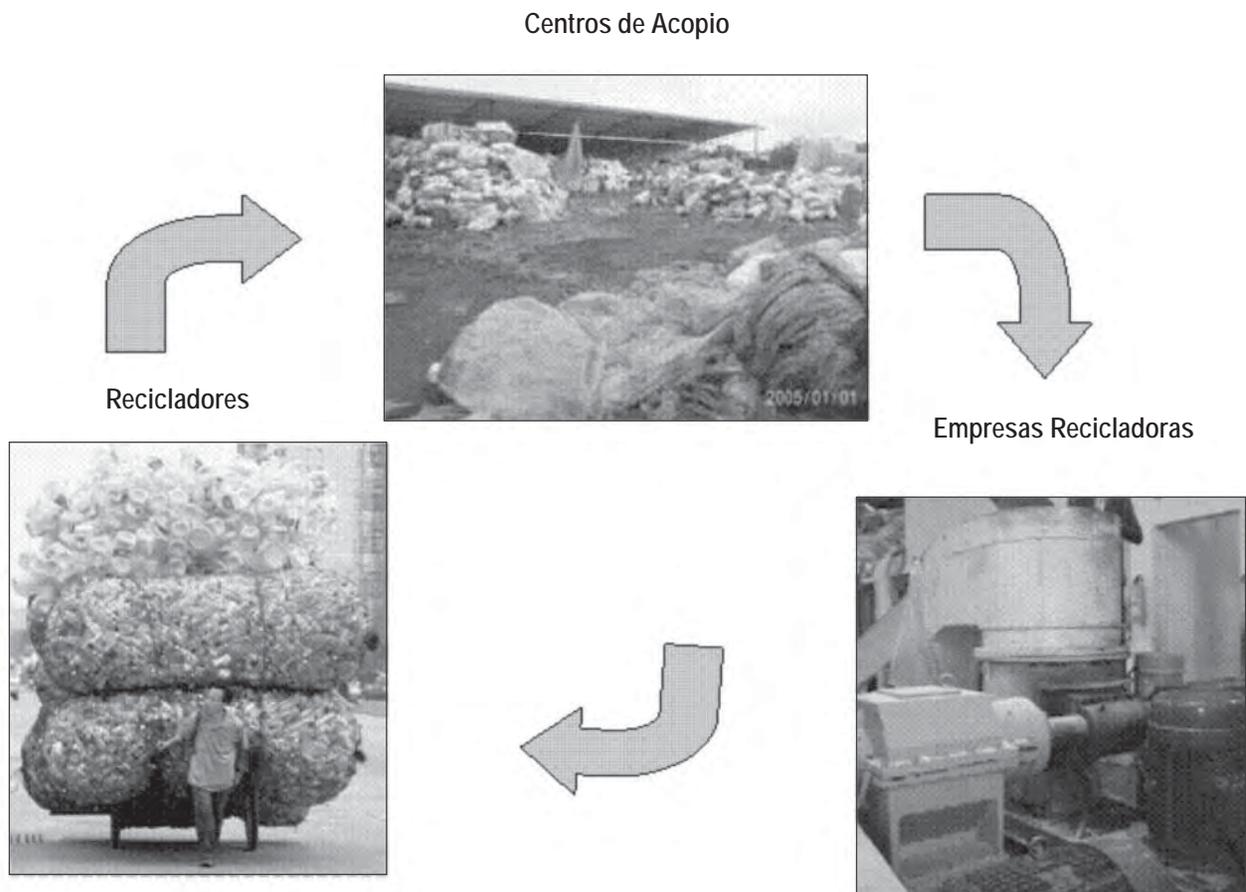


EVOLUCIÓN DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS

Lo que se pretende es saber si desde los diferentes sitios de disposición final de residuos sólidos que han existido en la ciudad de Medellín se han desarrollado proyectos específicos para el reciclaje de plásticos. Para obtener información al respecto, se consultó en la red, en los centros de documentación de Empresas Varias de Medellín y Eviaseo, por ser las principales entidades prestadoras del servicio de aseo en la ciudad y a la vez se entrevistaron funcionarios de ambas entidades, como lo son el director de planeación de Empresas Varias, el doctor Luis Oliverio Cárdenas y en encargado de el proyecto EVAS

Enviambientales S.A E.S.P, el ingeniero Álvaro Londoño. Como resultado de la averiguación, se encontró que hasta el momento el único proyecto que se tiene para la transformación de residuos plásticos por parte de estas empresas, empieza a funcionar en mayo de 2007 en el Centro Industrial del Sur liderado por EVAS. El proyecto presenta la evolución por medio de una breve reseña histórica de los diferentes sitios de disposición final de residuos sólidos de la ciudad, como son la Planta de Tratamiento de Abonos, el Basurero de Moravía, la Curva de Rodas, el Parque Industrial La Pradera, y el Centro Industrial del Sur.

FIGURA 2
La cadena de reciclaje



Se realizó un trabajo de campo con las personas jurídicas y naturales involucradas en la cadena de reciclaje de plástico; este trabajo se centra especialmente en los recicladores, centros de recepción de residuos sólidos y empresas de reciclaje.

Se encontró una población de 82 empresas recicladoras de plásticos en la ciudad de Medellín, de las cuales se tomó la siguiente muestra: 9 empresas comercializadoras de residuos plásticos sucios y sin seleccionar, 22 empresas comercializadoras de plástico que involucran procesos de selección, y finalmente 16 empresas transformadoras de residuos plásticos.

RECICLADORES

Los recicladores son las personas encargadas de rescatar los residuos plásticos en las calles antes de ir al relleno sanitario, en este proceso no se involucra ningún tipo de tecnología y los productos obtenidos son los residuos generados por los diferentes sectores de la sociedad, como son el sector comercial, industrial, domestico e institucional.

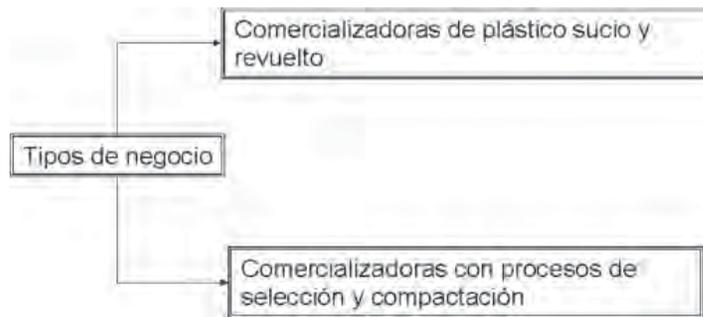
En el año 2005, la alcaldía de Medellín y la Secretaria de Medio Ambiente, realizó el primer censo a personas jurídicas y naturales dedicadas al reciclaje de residuos sólidos; el censo arrojó un total de 4000 recicladores

en la ciudad y 225 establecimientos de compraventa de residuos sólidos recuperados, de los cuales el 80% trabaja con plástico.

CENTROS DE ACOPIO

Los centros de recepción de residuos sólidos o centros de acopio, son las empresas que se dedican a comercializar los residuos tanto posconsumo como postindustriales, son la gran mayoría de establecimientos dedicados al reciclaje no solo de productos plásticos, sino también de materiales como vidrio, papel, metal, entre otros. En este punto de la cadena de reciclaje, se pueden reconocer dos tipos de negocio, como se muestra a continuación:

FIGURA 3
Centros de acopio



La maquinaria común en todas estas empresas son las basculas o pesas, tanto manuales como digitales, y en algunos sitios prensas para empaçar los materiales.

EMPRESAS TRANSFORMADORAS

El tercer elemento de la cadena son aquellas empresas transformadoras de los residuos plásticos, en las que se involucran los procesos de selección, molido, aglutinado, lavado, secado, y pelletizado.

En el proceso de visitas a empresas transformadoras de residuos plásticos en la ciudad de Medellín, se encontró que estas se pueden clasificar de acuerdo a la tecnología utilizada así:

La tecnología importada que se encuentra en la ciudad de Medellín esta ubicada en muy pocas empresas y ha tenido acogida en los últimos años; las grades empresas que se encontraron, y que trabajan con alta tecnología son: Pellets, SC. Recycling y la Fundación Codesarrollo. Los principales países en los que se importa, son países Europeos, China, Taiwán y Estado Unidos. Este tipo de maquinaria, tiene buenos acabados, tiene en cuenta la seguridad del operario, y realiza procesos limpios, además de generar menores desperdicios o eliminarlos completamente, este tipo de maquinaria es reconocida por tener una mayor capacidad de producción, aunque hay que aclarar que la producción no solo depende del nivel tecnológico, sino también del orden y la distribución de los materiales y equipos al interior de la planta.

FIGURA 4
Empresas transformadoras



La capacidad de producción de los equipos para el reciclaje de plásticos difiere para cada empresa, depende de los requerimientos de la misma y de la manera de fabricación de la máquina. Los indicadores que se presentan en la comparación de maquinaria, son para tener una idea del funcionamiento de la maquinaria que actualmente opera en la ciudad de Medellín. Hay que resaltar que la evolución de las máquinas para la transformación de residuos plásticos se ha presentado básicamente en el diseño exterior de los equipos y no tanto en sus principios de funcionamiento, como lo son los materiales de fabricación, el tipo conexiones eléctricas y motores y los elementos de básicos para cada máquina, como lo son cuchillas, rejillas, entre otras.

Una diferencia importante entre los equipos locales e importados es que en los equipos de fabricación local aproximadamente el 90% los materiales utilizados para su construcción son usados, mientras que en los equipos importados todos los materiales son nuevos por que deben cumplir una norma internacional para asegurar la calidad de los mismos

MANEJO RESIDUOS SÓLIDOS EN LAS CORPORACIONES AMBIENTALES

En Antioquia, las tres corporaciones ambientales existentes, empiezan a funcionar como tal con la creación del ministerio

del medio ambiente en el país, a partir de la Ley 99 del año 1993 buscando reordenar el sector ambiental en Colombia. En el año de 1997, el estado expide la política nacional de residuos sólidos, que buscaba básicamente lograr la separación de residuos desde la fuente y organizar los procesos de recolección, transporte y entierro de residuos. Con esta política, se empieza a hablar del manejo integral de residuos sólidos en los municipios, conocido con las siglas MIRS. Esta política, tuvo un inconveniente, y fue justamente que estar en calidad de política ya que esto no implicaba un estricto cumplimiento por parte de todos los municipios de la región. Debido a esto, en el año 2002, aparece el decreto 1713, que reglamenta el servicio público de aseo en el marco de la Gestión Integral de Residuos sólidos; GIRS, lo que obligó a los municipios a formular un plan para la gestión integral de residuos sólidos.

Actualmente, ninguna de las tres corporaciones ambientales en Antioquia tiene un manejo específico para el reciclaje de plásticos, lo que hacen trabajos de educación con las comunidades urbanas, con los generadores domiciliarios, institucionales, del comercio y la industria, para optimizar los recursos. Manejan proyectos de separación de residuos en la fuente, recolección selectiva y para lograr un máximo aprovechamiento, tanto de los residuos orgánicos, con la construcción de composteras y lombricultivos y construcción de bodegas de reciclaje y dotación de equipos para el trabajo con materiales inorgánicos. Uno de

los proyectos que más se acerca al reciclaje de plásticos, lo tiene Corantioquia que trabaja con una ONG llamada ECORREGION y tienen una red de comercialización de reciclaje en el Suroeste, con sede en el municipio de Bolombolo y cuenta con una máquina picadora de plástico, prensas y molinos para vidrio.

Una de las causas de no tener procesos de transformación de reciclaje en las corporaciones ambientales, es por que los municipios de la región son muy pequeños, ya que solo para municipios de más de 8000 usuarios; entendiéndose como usuario cada una de las viviendas u entidades públicas y privadas, se debe hacer un estudio de factibilidad para reciclar.

CONCLUSIONES

Los orígenes del reciclaje de plástico a nivel mundial, en Colombia, y especialmente en Antioquia son inciertos; no se conoce la fecha ni el lugar donde se inició esta actividad; esto debido en gran parte, a que el reciclaje de plásticos nació como un negocio informal.

En Antioquia comenzó la actividad de el tratamiento y disposición final de los residuos sólidos; se inicio con la creación de una Planta de Trituración de Basuras, entre los años de 1968 y 1972, donde el vidrio era considerado como el principal problema, ya que el abono obtenido de dicho tratamiento estaba mezclado con este y no fue bien aceptado en el medio. Hasta entonces el plástico no era considerado un residuo que necesitara tratamiento por parte de las entidades prestadoras del servicio de aseo de la ciudad. Sólo hasta la apertura del parque industrial la pradera, y en convenio con la fundación CODESARROLLO, se empieza a seleccionar el plástico, específicamente PET, y en lo que se refiere a la transformación de residuos plásticos por parte de estas empresas, a penas, empieza a funcionar en mayo de 2007 en el Centro Industrial del Sur liderado por EVAS Enviambientales S.A E.S.P.

Se realizo un trabajo de campo con las empresas y personas involucradas en la cadena de reciclaje de plásticos en Antioquia, donde se pudo reconocer los procesos y las tecnologías que hay actualmente en la ciudad de Medellín.

De una población 82 empresas, fueron contactadas 47 de ellas, donde se encontró que sólo tres empresas grandes importan maquinaria, correspondiente al 6.3% del total de la muestra, lo que significa que más del 90% de las empresas de la región trabajan con maquinaria local.

RECOMENDACIONES

El Reciclaje de Plásticos en Antioquia, es un tema en el que la información esta muy dispersa, tanto así que hasta el momento no se conocen sus orígenes, ni se puede hablar con certeza de cuantas empresas o negocios dedicados al reciclaje de plásticos hay en la ciudad. La recomendación que se hace entonces es realizar un estudio para reconocer la totalidad de empresas, formales e informales que reciclan plástico actualmente en Medellín y el área metropolitana.

Una recomendación que se hace especialmente a los estudiantes de ingeniería mecánica y demás ingenierías de la Universidad EAFIT, es empezar a desarrollar proyectos y a crear máquinas para el reciclaje de plásticos que estén adecuadas a las necesidades del país, para que en un futuro se pueda reconocer la maquinaria local a nivel nacional y se pueda comparar satisfactoriamente con la maquinaria internacional.

BIBLIOGRAFÍA

ACOPLÁSTICOS. Manual del Reciclador de Residuos Plásticos, Bogota, Colombia, 1999. ISBN 958-33-0855-2.

ACOPLÁSTICOS."Mercado nacional de resinas plásticas". En revista: Plásticos en Colombia, XXXV Edición, Colombia, 2005. 89p.

_____ "Un avance gremial y sectorial en reciclaje de plásticos". Colombia, 1998. 151p.

BUSTAMANTE PÉREZ, Sergio. Guía para el manejo integral de residuos sólidos en el Valle de Aburrá: área metropolitana del Valle de Aburrá, Colombia, 2004.

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA-CAR. Guía ambiental pequeñas

empresas de transformación de residuos plásticos y textiles. 1997, Colombia, ISBN 958-8009-308.

EMPRESAS VARIAS DE MEDELLIN E.S.P. Estudio de mercado para material inorgánico parque ambiental La Pradera, Medellín, 2003.

FUNDACION CODESARROLLO. Gestión Integral de Residuos Sólidos Municipales, Medellín, Colombia, 2000.

G. Matthes. "Reciclaje de materiales plástico." En: Plásticos universales. 1991. ISSN 0303-4011. 33 p.

GIRALDO JIMENEZ, Oscar. Evaluación del Manejo de los Residuos Sólidos en Medellín, Contraloría General de Medellín, 2002-2003.

INDUSTRIAL WORLD, Reciclaje de plásticos. 1993, ISSN 0193- 0508. 13 p.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Normas Colombianas para la presentación de trabajos de grado. Quinta actualización. Bogotá DC.: ICONTEC, 2004. NTC 1486.

JARAMILLO VILLEGAS, Germán Alberto. Seminario internacional sobre reciclaje de plásticos: aspectos socioeconómicos del reciclaje de plásticos, Medellín-Colombia, 1995.

LUND, Herbert F. Manual Mc Graw-Hill de Reciclaje, España, 1996, ISBN 84-4810750-0

MINISTERIO DE DESARROLLO ECONOMICO, Decreto N° 1713, Colombia, Agosto 6 de 2002.

MUÑOZ SÁNCHEZ, Alberto. Residuos sólidos plásticos. Cuadernos del CIFCA, Madrid, 1980. ISBN 84-50002843-4

TCHOBANOGLIOUS, George, THEISEN, Hilary, VIGIL, Samuel A. Gestión integral de Residuos Sólidos, Volumen 2, Mc Graw-Hill, España 1996, ISBN 84-481-1765-4

VON DER OHE, Walter, "Reciclaje mecánico de

plásticos posconsumo en Alemania: ¿hasta donde se ha llegado?". En revista: Tecnología del plástico, 1996. ISSN 0120- 7644.

ACOPLASTICOS@ Asociación de plásticos Colombiana. Visitado en Noviembre de 2006. http://www.acoplasticos.com/~acoplast/institucion/index.php?id_sesion

CORANTIOQUIA@ Corporación autónoma regional del centro de Antioquia. Visitado en enero de 2007. Disponible en: <http://www.corantioquia.gov.co/>

CORNARE@ Corporación Autónoma Regional Rionegro-Nare. Visitado en enero de 2007. Disponible en: www.cornare.gov.co/

CORPOURABA@ Corporación para el Desarrollo Sostenible del Uraba. Visitado en enero de 2007. Disponible en: <http://www.corpouraba.gov.co/>

DANE@ Departamento Administrativo Nacional de Estadística. Visitado en enero de 2007. Disponible en: www.dane.gov.co/

EAFIT@ Enlaces con otras universidades Biblioteca Luis Echevarría Villegas Universidad EAFIT. Visitado en enero de 2007. Disponible en: <http://www.eafit.edu.co/biblioteca/>

ENCARTA@ Enciclopedia Virtual Encarta. MSN, 2005. Visitado en julio de 2006. Disponible en: <http://es.encarta.msn.com/>

ENVIASEO@ Empresa prestadora de servicio de aseo para el Sur del Valle de Aburra. Visitado en enero de 2007. Disponible en: <http://www.enviaseo.gov.co/>

EEVV@ Empresas Varias de Medellín. Visitado en octubre de 2006. Disponible en: www.eevvm.com.co/

GOOGLE@ Evolución del reciclaje de plásticos. Visitado en 2006 - 2007. <http://www.google.com.co/search?hl=es&q=evolucion+del+reciclaje+de+plasticos&meta=>

ICIPC@ Instituto de capacitación e investigación del plástico y del caucho. Visitado en abril de 2006. <http://www.icipc.com/icipc/es/organization/index.html>

MAQUITEC@ Representante de maquinaria para reciclaje de plásticos importada. Visitado en febrero de 2007. Disponible en: www.maquitecandina.com

MATILA@ Máquinaria para reciclaje de plásticos importada. Visitado en febrero de 2007. Disponible en: www.matila.com.tw/

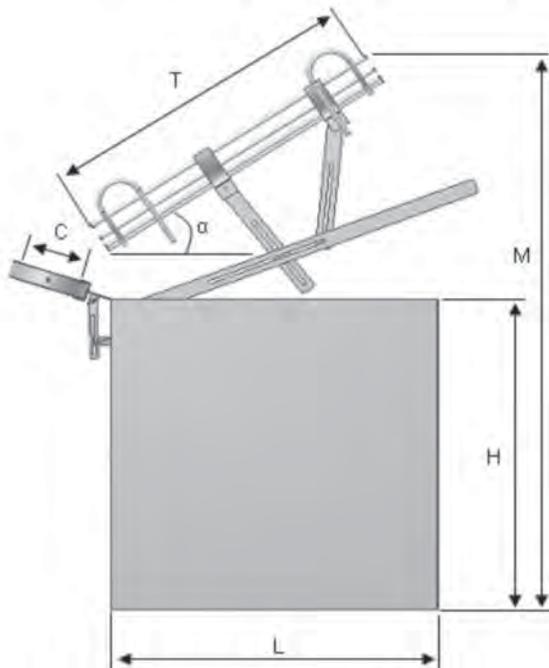
MONOGRAFÍAS@ Reciclaje de plásticos, visitado en marzo de 2006 Disponible en: <http://www.monografias.com/cgi-bin/search.cgi?substring=0&bool=and&query=evolucion+del+reciclaje&l1=Buscar>

PÁGINAS AMARILLAS@ Paginas Amarillas de Publicar S.A. Visitado en noviembre de 2006. Disponible en: <http://www.paginasamarillas.com>

PLÁSTICO@ Tecnología del Plástico, Visitado en enero de 2007. Disponible en: www.plastico.com

PLASTIVIDA@ Entidad técnica profesional especializada en plásticos y medio ambiente. Visitada en noviembre de 2006. <http://www.plastivida.com.ar/>.

DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN FLAMEADOR A GAS TIPO CORONA



JOSÉ ROBERTO VENGOECHEA ARANGO

jvengoec@eafit.edu.co

Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS

DISEÑO DE SISTEMAS TÉCNICOS

ASESOR PRINCIPAL

FABIO ANTONIO PINEDA BOTERO

EMPRESA

IMDECOR S.A.

RESUMEN

El presente artículo expone la síntesis del proceso de diseño de un flameador a gas propano tipo corona, el cual se usa en el área de las artes gráficas sobre envases plásticos para el tratamiento superficial de los mismos.

ABSTRACT

The present paper exposes the synthesis of the design process of a flame machine that works with propane gas. This machine is used at the graphic art areas, for surface treatment of plastics containers.

INTRODUCCIÓN

La economía global ha obligado a las empresas a ser más eficientes ya que los mercados son cada vez más exigentes y los recursos son cada día más limitados. Dentro de este marco, la industria del plástico no es la excepción, sobre todo en la situación actual donde las empresas buscan diferenciarse unas de otras, ofreciendo al mercado un producto diferente y con un valor agregado para sus consumidores.

Dado los altos niveles de competencias en los mercados y las altas exigencias de calidad en los productos, las empresas se ven obligadas a recurrir en nuevas tecnologías para hacer más eficientes sus procesos garantizando siempre la calidad del producto final.

IMDECOR S.A. es una empresa dedicada a la impresión de artes gráficas; particularmente sobre superficies plásticas tales como envases.

La tampografía y la serigrafía son los principales procesos que se realizan en la empresa. También se utiliza el termoencogido y la estampación en caliente.

Los procesos serigráficos y tampográficos en la mayoría de los casos necesitan que la superficie a imprimir esté previamente preparada para recibir la tinta. Esto garantiza una mejor definición de la impresión y una mejor adherencia de la tinta con la superficie.

ESTADO DEL ARTE

Para obtener una mejor adherencia de la tinta, algunos plásticos requieren de un tratamiento previo a la impresión; en especial los de la familia de las polyolefinas como son el polietileno de alta densidad, polietileno de baja densidad y el polipropileno.

Las cadenas moleculares son lineales y carecen de cargas positivas y negativas en su final, las tintas poseen partículas polares que necesitan adherirse a cargas contrarias. Ya que el material plástico no es polar las moléculas de la tinta no se adhieren a este.

En la actualidad existen tres métodos para realizar el proceso de polarización de la superficie: líquidos imprimadores, tratamiento por flama, y tratamiento corona.

FUNCIONES Y SUBFUNCIONES

FIGURA 1
Función principal

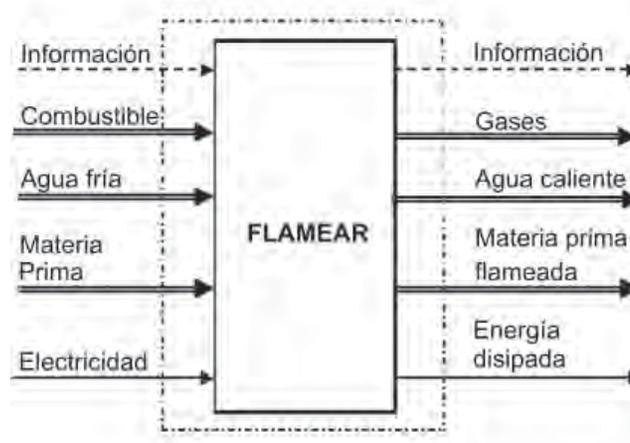
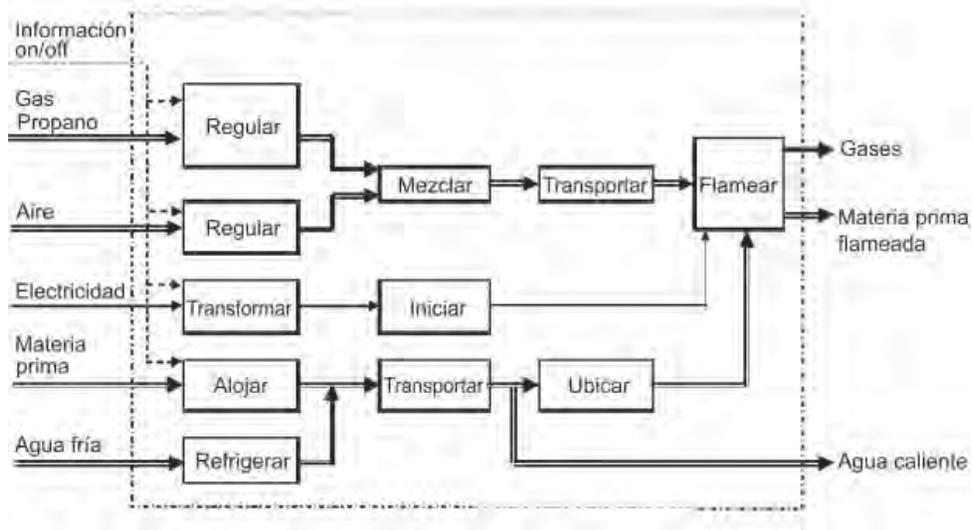


FIGURA 2
Subfunciones

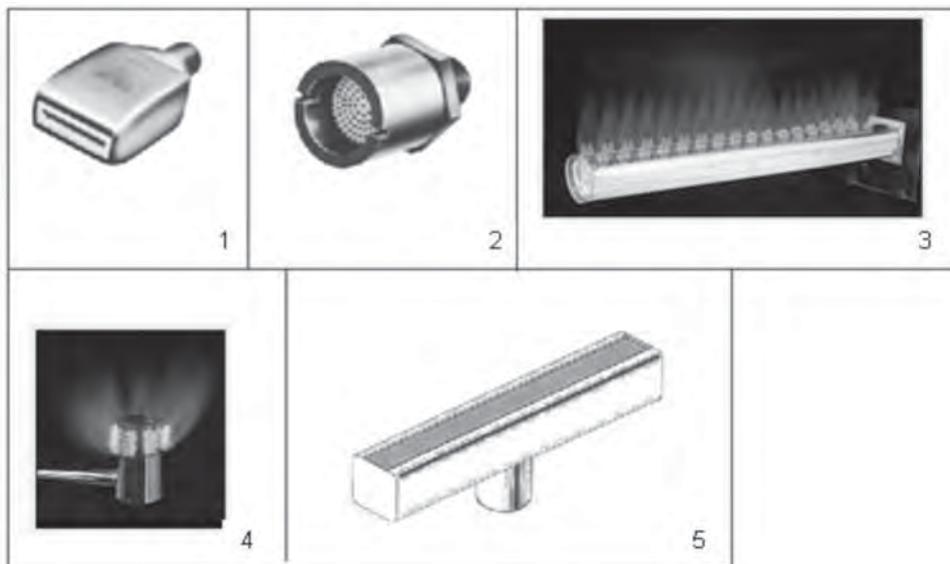


ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS

ANÁLISIS DE LA CÁMARA DE COMBUSTIÓN

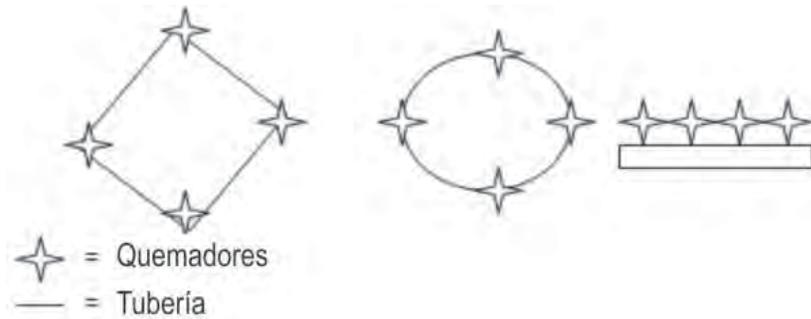
En el mercado existe una gran variedad de quemadores de gas (Figura 3.), se hace un análisis de las diferentes configuraciones y se toma la que mejor se ajuste a las necesidades de la máquina.

FIGURA 3
Quemadores que se encuentran en el mercado



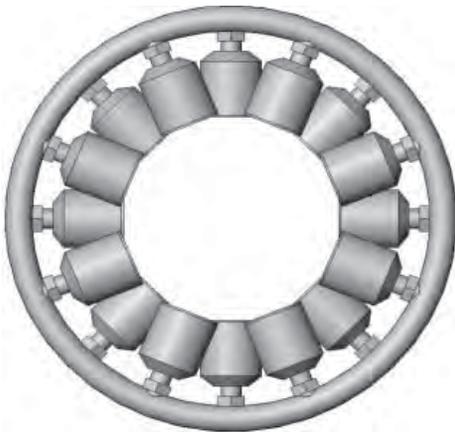
La Figura 4. Muestra los diferentes arreglos que se pueden efectuar con los quemadores que se encuentran en el mercado nacional.

FIGURA 4
Diferentes arreglos



Teniendo en cuenta los quemadores que se consiguen en el mercado, se propone hacer el siguiente arreglo.

FIGURA 5
Arreglo hecho con quemadores que se encuentran en el mercado



DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UNA CÁMARA DE COMBUSTIÓN MEJORADA

La Figura 6. Muestra la cámara de combustión que se fabricará; la cual garantiza una flama uniforme, que dirige el flujo hacia el centro lo que garantiza un buen flameado.

FIGURA 6
Cámara de combustión que se fabricará



ANÁLISIS DEL TOBOGÁN ABASTECEDOR

El tobogán debe ser refrigerado por agua, ya que está cerca de la cámara de combustión y si se calienta puede llegar a dañar los envases. Es importante que el tobogán pueda ser abastecido fácilmente de esta manera se asegura que la producción sea rápida y se pueda cumplir el objetivo de agilizar los procesos en IMDECOR S.A

Para la construcción de dichas formas en tubos de aluminio es más económico el número 4, ya que se puede construir fácilmente y necesita menos material que los otros. La Figura 8. muestra como es el tobogán abastecedor.

FIGURA 7
Formas geométricas para el tobogán abastecedor

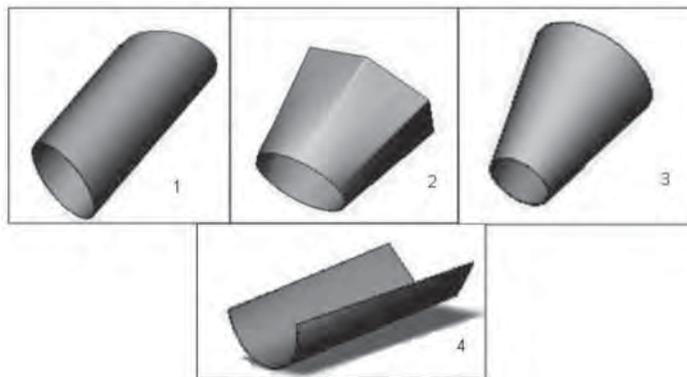


FIGURA 8
Tobogán abastecedor

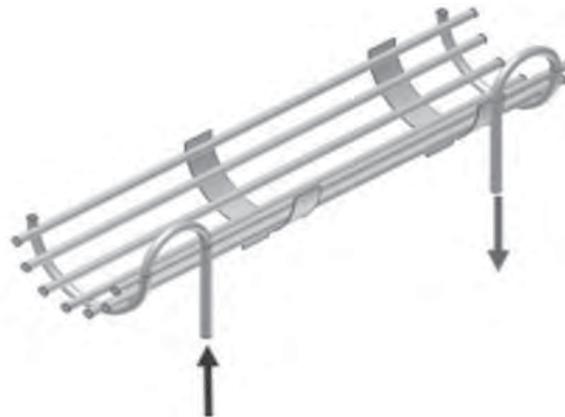


TABLA MORFOLÓGICA

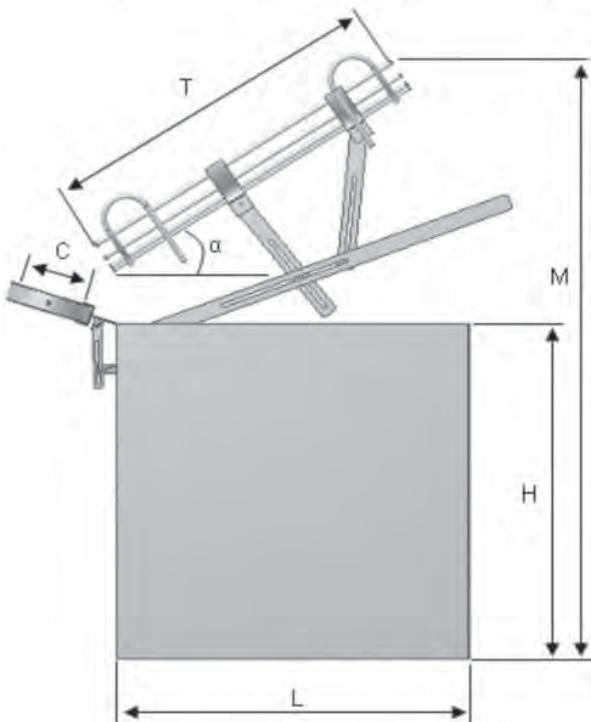
FIGURA 9
Estudio morfológico

		PRINCIPIOS DE SOLUCION					
		1	2	3	4	5	6
SUBFUNCIONES PRINCIPALES	SOSTENER A CHASIS						
	TRANSPORTAR B TOBOGAN ABASTECEDOR						
	FLAMEAR C COMPONENTES CÁMARA DE COMBUSTION						

SÍNTESIS DIMENSIONAL

Para determinar las dimensiones de las partes que componen el flameador se consideran las siguientes variables;

FIGURA 10
Síntesis dimensional



CONCLUSIONES

A diferencia de lo que se pensaba, el flameo no es solo un proceso para limpiar el envase de grasa e impurezas, es un proceso que ataca las cadenas moleculares ionizándolas para que sean receptivas al sustrato de impresión.

Los diferentes tipos de mezcladores de gas pueden marcar una gran diferencia en la combustión del mismo, por eso se concluye que el mezclador seleccionado es el más apropiado puesto que permite una configuración apropiada de aire y gas, además que permiten aumentar o disminuir la flama en la cámara de combustión.

En pruebas realizadas se dio un notable incremento en la producción, puesto que flamear una caja de 400 unidades de un pote con el flameador de banda se demora aproximadamente 20 minutos y con el nuevo flameador se realiza la misma operación en tan solo 13 minutos, con resultados aprobados por calidad, una adherencia buena por parte de la tinta y muy buena definición en la impresión.

Esto concluye que para este pote hay un aumento en la producción del 35%. Esto se debe a la facilidad de abastecer la máquina ya que se puede arrojar el envase de cualquier forma y este se alinea con la cámara de combustión por si solo; mientras que en el flameador de banda se tiene que poner cuidadosamente el envase y la velocidad de la banda no puede ser muy alta porque se pueden caer los envases.

BIBLIOGRAFÍA

RODRÍGUEZ, Alberto. Artefactos: Diseño Conceptual. Primera Edición. Fondo Editorial Universidad EAFIT. Medellín, Colombia. 2003. ISBN: 970-17-0163-1.

LIENHARD, John H. A Hit Transfer Text Book. Editorial Phlogiton Press. Massachusetts, USA. 2004.

FOX, Robert W. Introducción a la mecánica de los fluidos. Cuarte Edición, Editorial Mc. Graw Hill. Mexico.1983. ISBN:970-10-0669-0.

INCROPERA, Frank P, DEWITT, David P. Fundamentos De Transferencia De Calor, Cuarta Edición, Pearson Educación S.A. Mexico. 1999 ISBN 790-17-0170-4.

ALVARENGA Beatriz, MAXIMO Antonio, Física general I, Tercera Edición, Editorial Harper & Row do Brazil LTDA. Mexico. 1981. ISBN 968-6034 35-8

RIELLO burner, installation, use and maintenance intructions.

ANSI, Instrumentation Symbols and identification, Editorial The international society for measurement and control. 1992.

ADECUACIÓN DE LÍNEA DE ENVASE DE PRODUCTOS AFINES Y DERIVADOS DEL CAFÉ



JUAN CAMILO BETANCUR MAYA

jbetan15@eafit.edu.co

Departamento de ingeniería mecánica

DANIEL PALACIO OCHOA

dpalaci2@eafit.edu.co

Departamento de ingeniería mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS

MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

ASESOR PRINCIPAL

JUAN SANTIAGO VILLEGAS LÓPEZ

EMPRESA
COLCAFÉ S.A.

RESUMEN

En este artículo se presentan las diferentes etapas que se llevaron a cabo para realizar el montaje de una nueva línea de envase de productos afines y derivados de café en la empresa Colcafé S.A., esta necesidad surgió a partir del requerimiento que tenía la empresa de separar el envase de producto que contengan sustancias alergénicas, de los que no las contengan.

A este requerimiento se le suma un estudio de pérdidas de tiempos ocasionados por paros de producción en la línea de envase y transporte de materia prima y producto terminado dentro de la empresa.

Logrando con esto, separar definitivamente el posible contacto de productos alérgenos como la soya con el café soluble, obteniendo como resultado final un proceso de envase mucho más eficiente dentro de la empresa.

ABSTRACT

In this article appear the different stages that were carried out to make the assembly of new package line of related and derivatives of coffee products in Colcafé S.A. company, this necessity arose from the requirement of the company to separate the product package which they contain allergen substances, of that they do not contain them.

To this requirement, it is added a study of times losses caused by unemployments of production in the line of package and transport of raw material and finished product inside the company.

Obtaining with this, definitively to separate the possible contact of allergen product like soy with the solvable coffee, obtaining as final result a process of much more efficient package within the company.

PALABRAS CLAVES

Línea de envase, productos afines y derivados de café, sustancias alergénicas, montaje, reutilización de equipos.

KEY WORDS

Package line, related and derivatives of coffee products, allergen substances, assembly, equipment reusability.

OBJETIVO GENERAL

Implementar una nueva línea de envase de productos afines y derivados de café, fundamentado en estudios de disminución de tiempos de producción y en la necesidad que tiene la empresa de retirar los productos que contienen sustancias alergénicas del proceso de envase de café soluble.

DESARROLLO

Colcafé S.A. es una empresa que fuera de comercializar sus productos al interior de Colombia, los exporta a diferentes partes del mundo, por esta razón, debe someterse a regulaciones internacionales, en este caso se somete a la norma internacional FDA (Food and Drug Administration) que exige incluir en la etiqueta del producto las sustancias que pueden generar alergias, por lo que se reconoció la importancia de separar los productos alergenicos de los no alergenicos para evitar la contaminación de dichos productos y incurrir en la obligación de etiquetarlos como alergenicos. (FDA@2007).

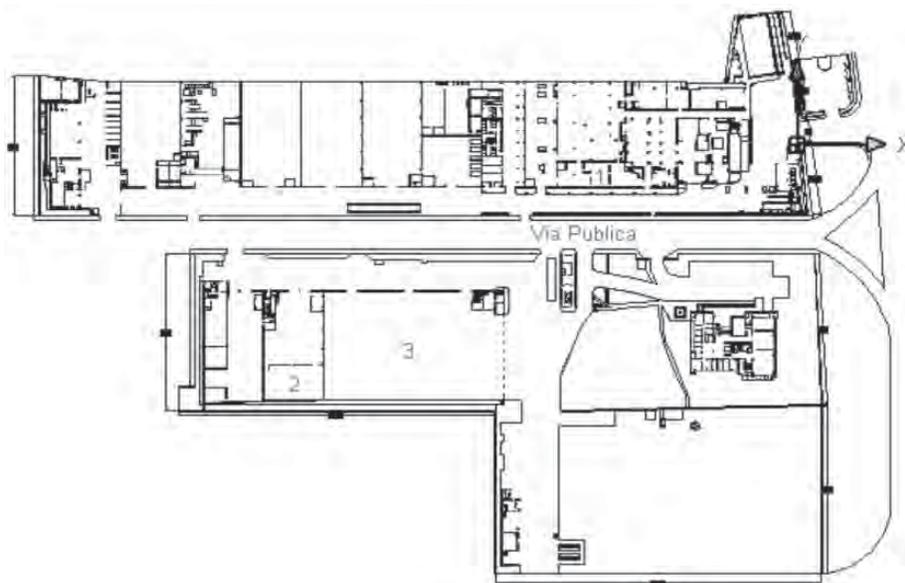
Para la empresa es importante separar el envase de productos que contengan sustancias alergénicas de las que no las contengan, para así evitar etiquetar todos los

productos como posibles contenedores de sustancias alergénicas, esto con el fin de que su consumo en el mercado no se vea afectado por el hecho de que exista la posibilidad de que este producto contenga sustancias alergénicas, solo por el hecho de ser envasado en la misma línea.

Entre los beneficios directos que obtiene Colcafé S.A. al tener líneas de envase diferentes para productos que contengan sustancias alergenicas y los que no las contengan, se encuentra mayor disponibilidad de la línea de envase soluble, disminución de costos de transporte de materia prima y producto terminado dentro de la empresa.

La empresa es dividida en dos por una vía pública, separando así el salón de mezclas (2) (lugar donde se realizan las mezclas de productos afines y derivados), de la línea de salón envase soluble (1) (lugar en donde actualmente se envasan los diferentes productos, tanto el café soluble en sus diferentes referencias y los productos derivados y afines del café), por lo que se pierde mucho tiempo al trasladar la materia prima al salón de mezclas para ser mezclada y luego de esto llevarla al salón de envase soluble en donde será envasada y posteriormente depositada en el almacén general (3) que se encuentra situada contiguo al salón de mezclas.

FIGURA 1
Plano planta Colcafé S.A.



Sumándose a esto, se corre el riesgo de que los montacargas al momento de cruzar la vía pública, puedan tener un accidente, que afecte la salud de las personas involucradas y se pierda el producto, generando así más costos para la empresa.

En la línea de envase del salón soluble se envasan diferentes productos, entre ellos, productos que contienen sustancias alergénicas, en el cambio de producto a envasar en la línea se debe realizar un extenso aseo, en el cual se dan diferentes situaciones que ocasionan gastos para la empresa.

El primero de estos gastos es el tiempo muerto de la línea causado por la exhaustiva labor de aseo que se realiza entre los cambios de producto, este aseo consiste básicamente en: se deben limpiar cada una de las máquinas que entran en contacto con los productos a envasar, esto se realiza con la ayuda de desinfectantes que se encargan de eliminar los residuos que puedan quedar luego de ser envasado un producto determinado, ya sea que contenga sustancias alergénicas o no. El lavado es realizado por los operarios

que se encuentran de turno en la línea, quienes deben procurar que esta quede totalmente libre de impurezas, por lo que el lavado puede llegar a tardar entre una hora y media y dos horas entre cada cambio de producto.

Luego de dejar completamente la línea limpia, deben ajustar las diferentes máquinas y los transportadores para envasar el nuevo producto, ya que el formato en el que se envasa cada uno de estos es diferente. Esta labor tarda aproximadamente unos 30 minutos.

En el proceso de lavado en cada cambio de referencia se podrían perder aproximadamente entre 2 y 3 kilogramos de producto, que podría haber quedado en las tolvas, en las paredes de las tuberías que transportan el producto hasta las máquinas, o en los diferentes dispositivos que se encargan de dosificar el producto hasta llevarlo hasta el interior del frasco o tarro. Puede que esta pérdida de producto no sea muy significativa a la hora hablar de grandes producciones y de grandes gastos, pero por la frecuencia con que esto se realiza, este gasto a largo plazo puede llegar a ser muy alto.

TABLA 1
Ingresos que se dejan de percibir mensualmente por utilizar la línea de envase salón soluble, en productos diferentes al café soluble

Ingresos que se dejan de percibir mensualmente por utilizar la línea de envase salón soluble, en productos diferentes al café soluble.			\$ 806.832.000
Operación	Valor	# Veces al mes	Total
Bache	\$ 67.200.000	6	\$ 403.200.000
Limpieza	\$ 26.880.000	12	\$ 322.560.000
Cambio de referencia	\$ 6.720.000	12	\$ 80.640.000
Perdida de materia prima	\$ 36.000	12	\$ 432.000

Todos estos gastos son eliminados con la implementación de la nueva línea de envase de productos afines y derivados de café en el salón de mezclas, obteniendo ahorros significativos para Colcafé S.A.

Para la implementación de la nueva línea de envase del salón de mezclas se realizó un dimensionamiento de la misma, donde se describen cada una de las máquinas que la componen; para la adquisición de los diferentes equipos que conformarían la línea se hizo un costeo de estas máquinas nuevas, obteniendo los siguientes resultados.

TABLA 2
Costos total nueva línea de envase salón mezclas maquinaria nueva

Costos total nueva línea de envase salón mezclas maquinaria nueva.				\$ 149.038.358
Item	Nombre	Costo unitario	IVA	Costo total
1	Limpiadora de frascos y tarros	\$ 7.000.000	\$ 1.120.000	\$ 8.120.000
2	Transportador de correa	\$ 10.000.000	\$ 1.600.000	\$ 11.600.000
3	Llenadora Alfill	\$ 60.000.000	\$ 9.600.000	\$ 69.600.000
4	Balanza digital	\$ 3.500.000	\$ 560.000	\$ 4.060.000
5	Transportador de cadena plástica	\$ 4.408.000	\$ 705.280	\$ 5.113.280
6	Gomero	\$ 5.100.000	\$ 816.000	\$ 5.916.000
7	Troqueladora	-	-	-
8	Transportador de correa	\$ 10.000.000	\$ 1.600.000	\$ 11.600.000
9	Video jet	\$ 20.163.343	\$ 3.226.135	\$ 23.389.478
10	Mesa de empaque	\$ 960.000	\$ 153.600	\$ 1.113.600
11	Tapadora neumática	\$ 7.350.000	\$ 1.176.000	\$ 8.526.000
12	Túnel de termo encogido	\$ 17.000.000	\$ 2.720.000	\$ 19.720.000

Luego de esto, se observó que dentro de la empresa existían algunos equipos que al ser reparados podrían cumplir con los diferentes procesos que necesitaría la línea, por lo que se optó por utilizar algunas máquinas que se encontraban en una bodega dispuestas a ser vendidas como chatarra, cabe aclarar que se adquirieron algunos equipos nuevos ya que no se contaba con estos, otros se encontraban en funcionamiento en la empresa y la troqueladora de tarros metálicos sería suministrada por parte del proveedor de los tarros metálicos.

TABLA 3
Costos totales de implementación de la nueva línea de envase del salón de mezclas

Costos totales de implementación de la nueva línea de envase del salón de mezclas	\$ 21.685.526,62
Concepto	Costo
Costos totales nuevas máquinas	\$ 14.442.000,00
Costos totales adecuación maquinas viejas	\$ 3.307.217,42
Montaje eléctrico general	\$ 2.795.049,00
Montaje neumático general	\$ 181.485,48
Montaje mecánico general	\$ 959.774,72

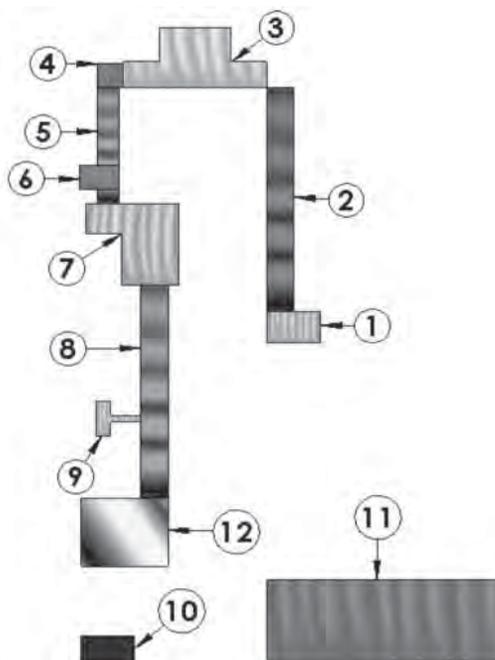
Como se puede observar, solo por el hecho de adecuar máquinas existentes dentro de la empresa que no estaban siendo utilizadas y además de esto estaban dispuestas a ser vendidas como chatarra se pudo obtener un ahorro de 127 millones de pesos.

Luego de tener las máquinas que conformarían la línea de envase se definieron las posibles configuraciones finales de la línea y después de hacer diferentes pruebas de funcionamiento y cambios para solucionar problemas encontrados en las pruebas, se llegó a una configuración que sería la adecuada tanto para los operarios como para el departamento de producción.

TABLA 4
Componentes de la nueva línea de envase
del salón de mezclas

Item	Nombre
1	Limpiadora de frascos
2	Transportador de correa
3	Llenadora AllFill
4	Balanza digital
5	Transportador de cadena plástica
6	Gomero
7	Troqueladora
8	Transportador de correa
9	Video Jet
10	Tapadora Neumática
11	Túnel de termo encogido
12	Mesa de empaque
13	Transportador de correa

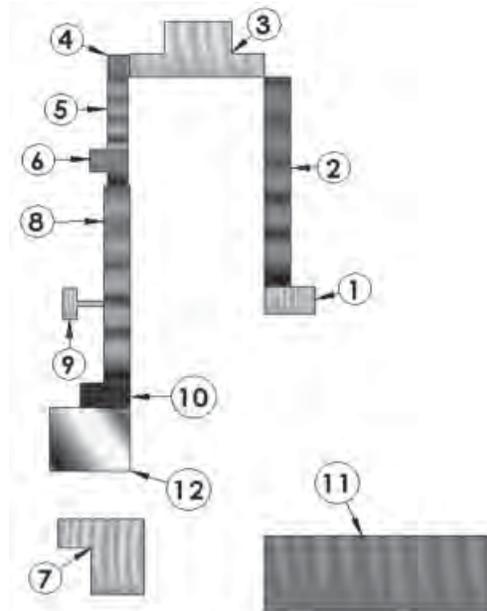
Figura 2
Configuración 3A



La configuración final se subdivide en 2 configuraciones, ésto con el fin de agilizar el proceso. La configuración 3A, que se muestra en la Figura 2, se utiliza para envasar solo tarros metálicos.

La configuración 3B, que se muestra en la Figura 3, se utiliza para el envase de tarros plásticos y frascos de vidrio.

FIGURA 3
Configuración 3B



Como se puede ver cada una de las configuraciones tiene un uso específico, pero se conserva la esencia de la línea, con tan solo retirar algunas máquinas e introducir otras se puede pasar fácilmente de una a otra configuración, según el departamento de producción lo necesite.

CONCLUSIONES

A partir de la revisión bibliográfica realizada se conocieron los diferentes factores que generan una reacción alérgica en el cuerpo y la gravedad con que cada una de ellas puede presentarse. Se reconocen diferentes tipos de agentes que generan las alergias como el polen, los insectos, ácaros del polvo, hongos, animales, fármacos y alimentos, estos últimos con influencia directa sobre este caso en particular.

Se conocieron los ocho principales alimentos que pueden generar una reacción alérgica en el cuerpo humano, así mismo se conoció como reacciona los anticuerpos que

contiene el sistema inmune del cuerpo humano ante las diferentes proteínas que están presentes en los alimentos. Además se pudo observar que las reacciones que presenta el cuerpo ante la presencia de dichas sustancias son diversas, presentándose desde una simple erupción en la piel, hasta el caso de causar la muerte.

Para el caso específico de la soya, se logró identificar que la reacción alérgica que esta puede causar se debe a que la gran mayoría de las proteínas y alimentos en base de soya tienen grandes cantidades de sustancias vegetales secundarias que pueden actuar como estrógenos en el cuerpo y a su vez ser nociva en algunos organismos.

Se logró identificar el ingrediente que contiene la sustancia proveniente de la soya, encargada de causar la contaminación de otros productos con sustancias alergénicas. Además se logró identificar que los productos afines y derivados del café, como Todo en 1, Todo en 1 light y Coffee Crem producidos por la empresa Colcafé S.A. contienen este ingrediente en su fórmula de preparación.

Debido a que Colcafé S.A. es una empresa que fuera de comercializar sus productos al interior de Colombia, los exporta a diferentes partes del mundo, debe someterse a regulaciones internacionales, en este caso se somete a la norma internacional FDA (Food and Drug Administration) que exige incluir en la etiqueta del producto las sustancias que pueden generar alergias, por lo que se reconoció la importancia de separar los productos alérgenos de los no alérgenos para evitar la contaminación de dichos productos e incurrir en la obligación de etiquetarlos como alérgenos.

Se logró observar que al realizar el proceso de envase de productos afines y derivados de café en la línea de envase del salón soluble ocasionaba costos innecesarios para la empresa, ya que, se debía transportar la materia prima a envasar hasta el salón de envase soluble y luego el producto terminado hasta las bodegas. Por otro lado se observó que los montacargas corrían un gran peligro de ocasionar accidentes al cruzar la vía pública que divide la empresa.

Se pudo ver que al envasar productos diferentes a café soluble en la línea de envase del salón soluble, se

estaban generando tiempos muertos y además se perdía disponibilidad de la línea para envasar café soluble, el cual es el producto líder de la empresa. Las labores de aseo y de cambio de referencia que se realizan debido al envase de productos afines y derivados del café en la línea de envase del salón soluble son los principales factores generadores de tiempos muertos en la línea.

Se estudiaron los costos extras generados por el transporte de mercancía dentro de la empresa debido a la ubicación del proceso de envase de productos afines y derivados del café y se pudo ver que estos costos mensualmente pueden llegar en promedio a 700.000 pesos.

Luego de analizar los tiempos muertos y el tiempo de de envase de productos afines y derivados del café en la línea de envase soluble, se observó que estos representan el 8.22% de la disposición de la línea, tiempo que se puede aprovechar en la producción de café soluble si se cuenta con una línea de envase en el salón de mezclas. Este porcentaje equivale a alrededor de 800 millones de pesos mensuales que se están dejando de producir en café soluble.

Se estudio la perdida de materia prima que se encuentra en el sistema de transporte y las máquinas que se encargan de envasar el café a la hora de realizar las labores de aseo y se pudo ver que estas representan perdidas para la empresa de aproximadamente 36 kilos mensuales, que representan alrededor de 400.000 pesos mensuales.

Después de realizar un completo estudio de los costos extras que se generan al envasar productos afines y derivados de café en la línea de envase del salón soluble y de los ingresos que se dejan de percibir por concepto de envase de café soluble por estar la línea siendo empleada para envasar estos productos, se concluyo que es muy factible realizar el montaje de un nueva línea de envase como alternativa para generar mayor disponibilidad de la línea de envase soluble.

Los lugares donde se realiza el envase de productos afines y derivados de café actualmente en la empresa, son dos principalmente, la línea de envase del salón soluble y la antigua línea de envase de mezclas. Allí se observó que el

envase de estos productos no es el ideal ya que la pequeña línea del salón de mezclas no está en capacidad de envasar las diferentes referencias de estos productos y en la línea de envase del salón soluble se incurre en costos muy altos para realizar el proceso.

Luego de examinar las diferentes formas de adquirir los equipos para conformar la nueva línea de envase salón de mezclas, se pudo concluir que a la hora de realizar un proyecto que incurra en la adquisición de equipos, es importante verificar antes de adquirirlos, con que elementos cuenta la empresa que puedan cumplir la función requerida en el desarrollo del proyecto y así generar un ahorro significativo en los costos del mismo. En este caso específico se utilizaron elementos existentes dentro de la empresa Colcafé S.A. que significaron un ahorro para el proyecto de 127.352.831 pesos. La inversión que se realizó utilizando elementos existentes dentro de la empresa, equivale al 15% del costo de los mismos equipos nuevos.

Se observó que en la empresa se contaba con diferentes máquinas que no se encontraban en funcionamiento que luego de ser reparadas podrían cumplir a cabalidad con la mayor parte de los procesos necesarios para conformar una línea de envase en capacidad de envasar todos los productos afines y derivados de café que produce la empresa.

Se pudo ver a medida que se realizaban las diferentes configuraciones, que cada una de estas se comportaba como base a una nueva mejora, es decir, de allí se parte para solucionar los problemas encontrados y generar una nueva configuración, hasta llegar a una configuración final que llenara las expectativas de todos los interesados, tanto de los operarios como al departamento de producción.

A partir de las pruebas realizadas se pudo constatar que la configuración elegida para la disposición de las máquinas fue la correcta, ya que los resultados arrojados fueron satisfactorios respecto a velocidades y capacidades de envase. Además después de realizar las pruebas se pudo ver que la línea a pesar de no tener una gran velocidad, mejora las capacidades de envasado de la empresa.

Se observó que los costos que se presentaron luego de realizar el montaje de la nueva línea del salón de mezclas

eran muy bajos a comparación de los beneficios que se obtienen por sacar de la línea de envase salón soluble los productos afines y derivados de café. El costo total de montaje corresponde a una inversión del 2.69% de los ingresos que se dejan de obtener por envasar los productos afines y derivados de café en la línea de envase soluble en un mes, ya que el costo de montaje de la nueva línea de envase salón mezclas fue de 21.685.526 de pesos, y los ingresos que se dejan de obtener mensualmente por envasar estos productos en la línea de envase salón soluble son de 806.832.000 de pesos.

Gracias al montaje de la nueva línea de envase salón mezclas, se pudo liberar la línea de envase salón soluble de la carga que representaba envasar productos afines y derivados de café, con lo que se mejoró la disponibilidad para envasar café soluble que es el producto líder de la empresa.

Debido a que se montó la nueva línea de envase de salón mezclas, se aumento la capacidad de envasar productos afines y derivados de café en la empresa, pasando de 33.600 kilos a 58.320 kilos mensuales, aumentando en un 73.57% la capacidad de envase de productos afines y derivados de café.

Luego de identificar los motivos por los que se debía separar el envase de productos alérgenos de no alérgenos, de analizar los beneficios que generaría esta modificación en las líneas de envase y de realizar el montaje de la nueva línea de envase salón mezclas, se observó que la decisión de utilizar elementos existentes no usados dentro de la empresa para realizar el montaje de la nueva línea fue acertada ya que genera excelentes resultados tanto a nivel de calidad de producto terminado, mejora de índices de producción y generación de mayores utilidades para la empresa Colcafé S.A.

A pesar de que la línea de envase salón mezclas presentó un desempeño adecuado y grandes beneficios para la empresa, se recomienda entrar en un proceso de mejoramiento continuo de la línea, logrando un nivel mas alto de automatización que represente mejor rendimiento de la línea, reflejándose ésto en mayores utilidades para la empresa Colcafé S.A.

BIBLIOGRAFÍA

GIBNEY, Michael J. Nutrición, dieta y salud. Zaragoza, España. Editorial Acirbia S.A. 1990. Páginas 95-106. ISBN 84-200-0685-8.

FUNDACION OPEL NUEVA EMPRESA. Ergonomía, 20 preguntas básicas para aplicar la ergonomía en la empresa. Madrid, España. Editorial Mapfre. 2001. Páginas 188-192. ISBN 84-7100-786-X.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS. Normas colombianas para la presentación de trabajos de investigación. Quinta actualización. Bogotá, Colombia: ICONTEC, 2002. 34 p. NTC 1486.

UNIVERSIDAD EAFIT. Manual de reglamentos a partir del 2004. Medellín. Colombia. Universidad Eafit. 2004. p 84-85.

Alerg@,2006 Definición de sustancia alergénica y algunos ejemplos. [Online]. Biblioteca nacional de medicina de Estados Unidos. [Citado el 19 de septiembre de 2006]. Disponible en Internet. <<http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/ency/article/002229.htm>>

Colca@2006 Introducción de la Industria Colombiana de Café S.A. [Online]. Industria Colombiana de café S.A. [Citado el 21 de septiembre de 2006]. Disponible en Internet. <<http://www.colcafe.com.co>>

Soya@2006 Nociones básicas acerca de las sustancias alergénicas en la soya. [Online]. Taylor, Bush. [Citado el 21 de septiembre de 2006]. Disponible en Internet. <<http://www.alergoaragon.org/2000/segunda1.html>>

Alergia@2007 Información general sobre alergias. [Online]. University of Maryland Medical Center. [Citado el 14 de Febrero de 2007]. Disponible en Internet. <http://www.umm.edu/esp_ency/article/000812.htm>

Alertipo@2007 Tipos de alergias. [Online]. Ondasalud. [Citado el 15 de febrero de 2007]. Disponible en Internet. <<http://www.ondasalud.com/edicion/noticia/0,2458,139042,00.html>>

Alialer@2007 Alimentos alérgicos y sus principales alérgenos. [Online]. Food allergy info. [Citado el 19 de febrero de 2007]. Disponible en Internet. <<http://www.foodallergy.org/Spanish/alergenos.html>>

Alersoy@2007 Nociones básicas sobre la alergia a la soya. [Online]. E-medicine. [Citado el 21 de febrero de 2007]. Disponible en Internet. <<http://www.emedicine.com/ped/topic2128.htm>>

FDA@2007 Alergias alimentarias, las etiquetas de los envases de alimentos indican los ocho alergenos principales. [Online]. OTDA New York State. [Citado el 4 de marzo de 2007]. Disponible en Internet. <<http://www.otda.state.ny.us/spanish/FSNEP/2007-01-Idea-SP.pdf>>

Ergo@2007. Definición de ergonomía. [Online]. Organización internacional del trabajo. [Citado el 20 de marzo de 2007]. Disponible en Internet. <http://training.itcilo.it/actrav_cdrom2/es/osh/ergo/ergoa.htm>

ESTUDIO DE OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICA EN LAS LÍNEAS DE TRANSPORTE DE ENVASES EN O-I PELDAR ENVIGADO



RAFAEL ALBERTO MARÍN GÓMEZ

rmaringo@eafit.edu.co

Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS

MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

ASESOR PRINCIPAL

ALVARO DIEGO JARAMILLO

SECTOR BENEFICIADO

O-I PELDAR

RESUMEN

Con el presente proyecto, lo que se desea es formalizar una alternativa económicamente viable para la empresa y de esta manera brindar una solución que permita mejorar el estado de los equipos y los consumos energéticos actuales de los mismos.

ABSTRACT

With the present project, which is desired is to formalize an economically viable alternative for the company and this way to offer a solution that allows to improve the present state of the equipment and power consumptions of such.

INTRODUCCIÓN

Actualmente la utilización de motores de alta eficiencia representa un gran potencial de ahorro en consumos de energía eléctrica de las diferentes unidades industriales, es por esto esencial la apropiada elaboración de proyectos que nos permitan la puesta en marcha de acciones concretas para alcanzar las metas deseadas en el funcionamiento de los equipos y la correcta utilización de los recursos; el estudio de ahorro de energía ocupa un papel importante en la adecuación e instalación de los conjuntos de accionamientos eléctricos formados por un convertidor de frecuencia o también llamado variador de velocidad que alimenta al motor eléctrico y este a su vez está acoplado a un reductor mecánico de velocidad.

Una visión integral del proyecto, permitirá evaluar las mejoras obtenidas tanto en áreas de mantenimiento y producción, tales como bajas intervenciones en reparación de equipos, de esta manera aprovechar y realizar un plan de gerencia de los conjuntos técnicos, llevando hojas de vida de cada uno, esto con el ánimo de implementar un programa de mantenimiento integral en la zona, conseguir un aumento de tiempos de acumulación[1] y mejor manejo de los envases en la línea gracias al montaje de la cadena mat-top 15" con la nueva disposición y diseño del layout¹ de transportadores de botella para hacerlo de esta manera más eficiente y funcional.

Para la realización del proyecto se llevarán a cabo estudios sobre 3 máquinas fundamentalmente, estas son motores de corriente alterna, más específicamente de los del tipo jaula de ardilla, reductores mecánicos de velocidad y cadenas transportadoras

REDUCTORES DE VELOCIDAD

La eficiencia de los reductores es especialmente determinada por el engranamiento de los dientes y la fricción de los rodamientos. En los reductores de engranajes helicoidales, los rangos de eficiencia, dependen del número de etapas de la reducción, así alcanzando eficiencias que pueden estar entre el 94% (3 etapas) y el 98% (2 etapas),

¹ Trazado de la línea de transporte de envases.

para los reductores del tipo sinfin corona estas eficiencias dependen tanto de factores tales como el tamaño de la reducción, como de la velocidad de entrada del reductor, por lo que las eficiencias pueden estar entre el 70% y el 80% para las relaciones de reducción empleadas. (@ SEW).

FIGURA 1
Moto-reductores de la serie F ²



@ SEW

MOTORES ELÉCTRICOS DE ALTA EFICIENCIA

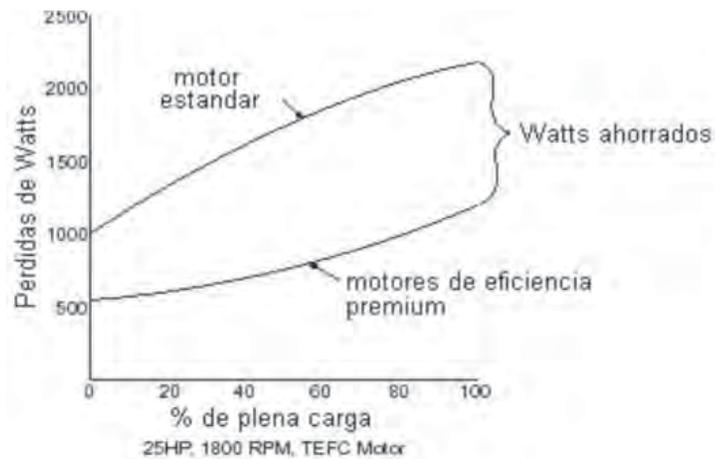
La eficiencia del motor es una medida de la salida de potencia mecánica comparada con la entrada de potencia eléctrica; las ineficiencias que se presentan durante el proceso de conversión de la energía eléctrica en mecánica, se ve traducida en calor, y esta pérdida fácilmente puede ser traducida en watts.

Para aumentar la eficiencia es necesario minimizar estas pérdidas. Los rotores de los motores eficientes en energía están contruidos con aluminio adicional para reducir las pérdidas que resultan de la corriente que fluye por las barras del rotor, se usa cobre adicional en los estatores para reducir las pérdidas en el motor.

Los motores eficientes en energía llevan un sobrepeso que se basa en las tarifas corrientes de electricidad que frecuentemente se paga en pocos meses.

² Cuando nos referimos a la serie F, es a los moto-reductores de engranajes helicoidales de ejes paralelos de la marca SEW eurodrive.

FIGURA 2
Curva watts perdidos vs. % de carga



@ BALDOR

CADENAS DE TRANSPORTE DE ENVASES

Las cadenas de transporte de envases, de la clase mat-top, son hechas de materiales de alta calidad tal es como: acetal, mezcla de acetal con teflón, y polipropileno, dando propiedades a la cadena, tales como alta resistencia, bajos índices de fricción, y altos ciclos de vida; una de las aplicaciones más empleada para esta cadena es el transporte de todo tipo de contenedores, tales como cajas de cartón, cajas plásticas, y envases, tanto de vidrio como de latas gaseosas, llenos o vacíos.

La gran aplicabilidad de las cadenas mat-top en la industria es debida a su gran flexibilidad, pues permite transportar todo tipo de envases, sin importar su tamaño o geometría,

es confiable, económica y eficiente, baja fricción y alta resistencia a la abrasión ocasionada por el vidrio, luz y calor. (@ REXNORD).

Las cadenas mat-top³ son una evolución de las cadenas table-top⁴, son cadenas robustas y fuertes, capaces con aplicaciones pesadas, su superficie plana y lisa permite lograr buenas acumulaciones en la línea, y además una parte importante es que permiten una fácil transferencia entre una cadena y otra, la opción del sistema de transferencia dinámica, es una gran avance para estas cadenas, pues de esta manera se evitan las ineficientes curvas que antes se empleaban con las cadenas table-top.

3 Referencia de cadena plástica para el transporte de envases.

4 Referencia de cadena plástica para el transporte de envases.

FIGURA 3
Sistema de transferencia dinámica a 90°



@ REXNORD

FUENTE Y DESCRIPCIÓN DE LOS DATOS

Los datos empleados para realizar el estudio, se obtuvieron de 2 de las líneas de transporte de envases, tanto para los equipos en los layout previos al estudio, como para los equipos en los nuevos layout de las líneas, en total se analizaron 28 moto reductores, con potencias nominales comprendidas entre los 1Hp hasta los 3Hp, la mayoría de ellos de transmisión indirecta de cadena y sprocket, los reductores del tipo sinfín corona y los motores de baja eficiencia, algunos de ellos ya rebobinados, igualmente acoplados a las cadenas flex top, ya deterioradas.

Básicamente existen 3 escenarios para la compra de un equipo nuevo, estos son:

- El equipo no ha fallado pero su operación es ineficiente.
- El equipo existente falla.
- Instalación de un nuevo proceso o equipo.

Representando estos 3 escenarios las diferentes situaciones que se encuentran comúnmente en la planta, y fueron estas mismas situaciones las que llevaron a pensar en la elaboración del proyecto.

RESULTADOS

Tras la realización del análisis de los resultados de las mediciones efectuadas para los diferentes equipos del área de zona fría en Peldar, se ha llegado a la selección de los siguientes equipos:

- Motor eléctrico de alta eficiencia de 1.5 Hp, acoplado a un reductor de engranajes helicoidales de ejes paralelos.
- Banda transportadora del tipo mat-top 15" de la serie 7705.

De igual manera el estudio se adelanto para obtener cifras económicas que representaran el ahorro de energía traducido en dinero tras la implementación del proyecto.

De esta manera logrando obtener para las 2 líneas de transporte de envases, ahorros de alrededor de los 19 millones de pesos anuales, solo en consumo de energía, y alrededor de 25 millones de pesos al año en cambios de repuestos y reparaciones de equipos.

CONCLUSIONES

El correcto dimensionamiento y selección de los equipos adecuados para la aplicación de transporte de envases, fue una de las principales metas a alcanzar tras la realización del proyecto, de esta manera el mismo servirá como guía para la futura realización de proyectos similares tanto en la planta de Peldar Envigado, como en las demás plantas tanto a nivel local como a nivel corporativo. De esta manera promoviendo al mismo tiempo el uso de estas nuevas opciones tecnológicas que se encuentran ahora al alcance de la industria nacional.

La continuación del proyecto en el corto plazo para la compañía es una de las tareas de mas alta prioridad, pues aunque el proyecto solo se realizó para 2 tramos significativos de 2 diferentes líneas de transporte de las 6 existentes en la planta de Peldar Envigado, la mayor oportunidad de ahorro esta aun latente, pues los niveles de eficiencia de la mayoría de los equipos actualmente instalados es aun bajo, es por esto que el proyecto debe de tener continuidad, en miras de las políticas corporativas de disminución de costos.

La realización del proyecto es económicamente viable, pues por el hecho de tener una mayor eficiencia en los equipos, existe una disminución en los costos de operación de los mismos, lo que permite recuperar la inversión realizada tras un tiempo razonable, es importante tener en cuenta que el costo de la operación eléctrica de los equipos es varias veces superior a su costo inicial de compra.

El empleo de la cadena mat-top es la mejor alternativa para lograr los mejores resultados de acumulación esperados, es por esto que el cambio de las cadenas de transporte mejora la operación en la línea, de esta manera brindando una mayor flexibilidad en la marcha de la producción, disminuyendo la congestión formada por los envases en la línea mejorando en la producción en cuanto al manejo de los envases, de igual forma permitiendo una corrida mas autónoma, sin la necesidad de un constante monitoreo de las máquinas por parte de los operarios.

La sencillez de mecanismos, operación silenciosa, más fría, y con mayores niveles de eficiencia, es lo que hace al sistema de transmisión de potencia integrado, motor reductor y banda, el conjunto motriz con las mejores características técnicas para las diferentes alternativas de transporte, según restricciones de velocidad y espacio, de igual manera el diseño del mecanismo modular de transmisión de potencia, hace del montaje de los equipos una tarea sencilla de realizar, debido a la propia disposición de las partes y al mismo numero de estas requeridas para el completo armado de las partes representando esto, ahorros de tiempo de instalación y facilidad de montaje y desmontaje para cualquier situación de reemplazo de la unidad, al mismo tiempo la amplia configuración espacial del transportador esta directamente relacionada con este tema en si , pues el constante ajuste de las guías para cada referencia de los envases era un problema recurrente en las líneas, el cual consumía bastante tiempo de ajuste para 2 de los mecánicos de la zona, que empeñaban tiempo en la tarea de abrir y cerrar guías de los transportadores.

En el aspecto de mantenimiento, tras el incremento de la efectividad global del equipo, se obtienen grandes beneficios después de la finalización de esta primera etapa del proyecto, pues tanto la disponibilidad como la confiabilidad de los componentes instalados se han aumentado enormemente, las frecuencias de intervenciones se han disminuido, y todo esto dando pie al posible comienzo de la instauración de nuevas disciplinas de mantenimiento que no se han implementado aun en la planta.

BIBLIOGRAFÍA

- PERAGALLO TORREIRA, Raúl. Manual básico de motores eléctricos. Primera edición. Editorial Paraninfo. Madrid, 1980
- ROSALER, Robert c. Manual de mantenimiento industrial. Primera Edición. Editorial Mc Graw Hill. Ciudad de México, México, 1989. ISBN: 968-451-617-7.

ZAPATA BUENO, Harold. Criterios prácticos para la selección de un motor. Primera edición. Editorial universidad pontificia Bolivariana. Medellín, 1990.

BALDOR@ Empresa fabricante de motores eléctricos. Visitado en septiembre de 2006. Disponible en Internet: <http://www.baldor.com>

COWERN@ Documento con información técnica de motores eléctricos. Visitado en octubre de 2006. Disponible en Internet: <http://www.baldor.com/pdf/literature/CowernPapers.pdf>

MG1@ Guía de información para motores de pequeña y mediana potencia de uso general. Visitado en diciembre de 2006. Disponible en Internet. <http://www.nema.org/stds/complimentary-docs/upload/MG1.pdf>

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE MANO ANIMATRÓNICA



DAVID CORREA C.

dcorreac@eafit.edu.co

Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS

DISEÑO DE SISTEMAS TÉCNICOS

ASESOR PRINCIPAL

MAURICIO MAESTRE C.

SECTOR BENEFICIADO

EMPRESAS DEDICADAS AL DESARROLLO DE
ELEMENTOS ANIMATRÓNICOS

RESUMEN

El propósito de este proyecto es diseñar y construir un prototipo funcional a escala 2:1 de una mano animatrónica con características de forma similares a la mano humana, con un sistema de mecanismos que genera movimientos en las articulaciones de una manera fluida y visualmente aceptable y un sistema de elementos electromecánicos controlados mediante un software para articular cada uno de los movimientos programados en secuencia.

ABSTRACT

The intention of this project is to design and to construct a functional prototype to scale 2:1 of a animatronic hand with characteristics of form similar to the human hand, with a system of mechanisms that generates movements in the joints of a fluid and visually acceptable way and a system of electromechanical elements controlled by means of a software to articulate each of the movements programmed in sequence.

PALABRAS CLAVES

Animatrónica, mecanismos, electrónica, control.

KEY WORDS

Animatronic, mechanisms, electronics, control.

INTRODUCCIÓN

Con este proyecto de grado se busca adquirir conocimientos, a partir de la combinación y manejo de los elementos electro-mecánicos, mecanismos y articulaciones en pequeña escala; para lograrlo, se propone el análisis, diseño y construcción de una mano animatrónica que cumpla con características específicas según sus principales propiedades anatómicas, dinámicas y mecánicas

Lo anterior se conecta con la necesidad de generar sentimientos en un público específico y llamar la atención para crear fascinación y asombro, asunto que ha generado a nivel mundial una serie de objetos animatrónicos, réplicas de seres vivos, reales o fantásticos, que recrean sus movimientos y características físicas a través de la integración de diversas tecnologías que combinan el desarrollo de mecanismos, sistemas de movimiento, electrónica, sistemas de control, acabados y formas artísticas, logrando comunicar ideas de una manera muy efectiva.

Actualmente, el mercado mundial cuenta con una amplia gama de los productos animatrónicos, los cuales, aunque cumplen con varias características, poseen precios muy elevados para la economía Colombiana, por lo que se abre un abanico de posibilidades para el desarrollo de este tipo de objetos en nuestro país.

Para este tipo de desarrollos las posibilidades y aplicaciones son bastante amplias, ya que adicional al tamaño, forma, materiales, movimientos y un sinnúmero de cualidades, existe una multiplicidad de temas desarrollados desde explicaciones en museos, puntos de venta, decoraciones en vitrinas, personajes ficticios en obras de teatro, el cine o atracciones mecánicas, hasta estudios en robótica avanzada, diseño y construcción de prótesis, entre otras.

Por las razones expresadas, el diseño y construcción de una mano animatrónica se propone como el estudio inicial para el desarrollo de un elemento que puede ser parte de un objeto animatrónico mayor, de una experiencia interactiva o aplicaciones de exhibición. Se pretende que la mano genere movimientos que guarden correspondencia

con la dinámica de la mano humana. Así, se desarrollaría un prototipo funcional de una mano animatrónica al doble de la escala de una mano humana, donde el movimiento de sus dedos o articulaciones sea controlado con posibilidad de generar secuencias repetitivas.

LA MANO EN LA HISTORIA DEL HOMBRE

La mano es el filo de la mente"; Éste es un planteamiento del escultor Henry Moore, el cual habla de cómo, la marcha del hombre es el refinamiento de la mano en acción. El filósofo, matemático, poeta, inventor y humanista Jacob Bronowski en su libro el ascenso del hombre, habla de la mano como la encargada de conducir la evolución subsiguiente del cerebro y plantea qué es ésta la herramienta de descubrimiento para el hombre.

La evolución de la mano se ha dado por más de 4 millones de años, hasta ser la herramienta mas perfecta que puede hallarse en la naturaleza, siendo símbolo de poder e inteligencia. Aristóteles la define como "la herramienta de herramientas" y afirma que el hombre fue agraciado con las manos porque fue el más inteligente. Igualmente, Anaxágoras hace 2500 años afirma que "El Hombre es el más razonable de los animales por que tiene manos".

Lo citado se explica por la posibilidad que tiene el dedo gordo para alcanzar en forma de pinza los demás dedos, haciendo que el Homo Habilis tenga la facultad de utilizar la mano como su principal herramienta. Con ella puede agarrar objetos para modificarlos o modificar su entorno, hacer sus primeras herramientas en piedra, empezar a construir su camino en busca de la propia evolución y lograr cosas tan inimaginables como rascacielos, naves que salgan del planeta o incluso su propia clonación. Las manos, entonces, han modelado la humanidad.

La mano humana cuenta con más de 260 elementos entre huesos, ligamentos, músculos y nervios, todos trabajando en la gran obra de ingeniería producida por la naturaleza; no es gratuito que una cuarta parte de la corteza motora del cerebro humano esté destinada a guiar los dedos.

Los movimientos de los dedos de la mano humana son complejos, y pretender igualarlos ha resultado un gran reto para el hombre; un reto que se ha tratado de afrontar en busca solucionar necesidades de personas con algún tipo de discapacidad, en desarrollos tecnológicos, investigaciones de mecanismos e inteligencia artificial, entre otros. Todos tratan de igualar la perfecta relación que existe entre capacidad, fuerza, peso, volumen, habilidad, destreza, estética y control en un mismo mecanismo.

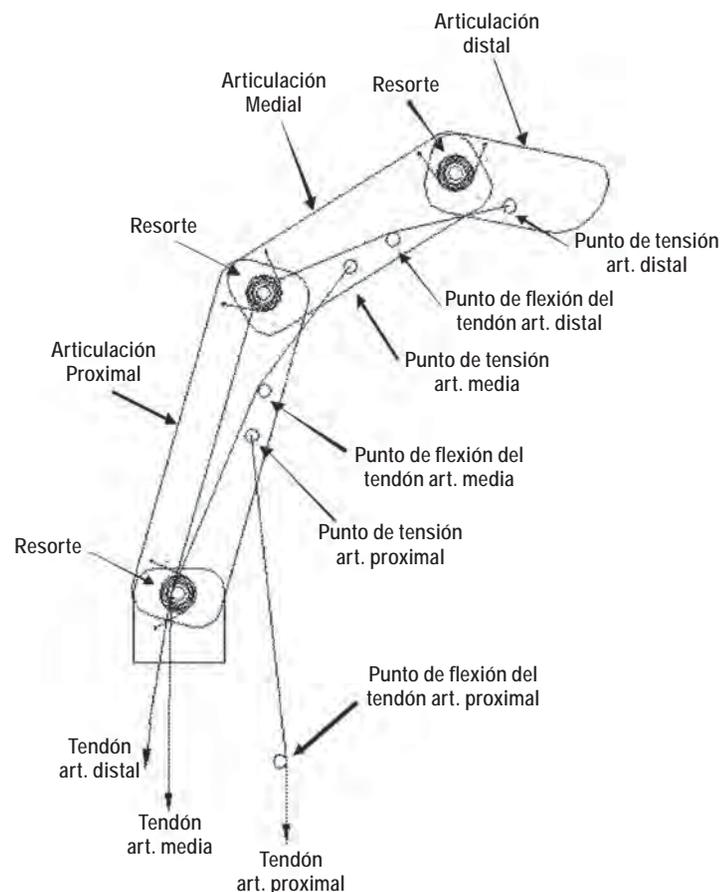
Los mecanismos desarrollados en el mundo logran un buen número de éstas cualidades en un solo objeto pero en porcentajes menores; de modo que pretender encontrar en un mismo diseño todas éstas cualidades reunidas seguirá siendo un reto para el hombre.

DISEÑO DEL MECANISMO DE LAS ARTICULACIONES

En los dedos de la mano humana, se encuentra que sus tres falanges, (proximal, media y distal), tienen movimientos independientes, tanto en la flexión como en la extensión. Ésto requiere de un par de tendones opuestos por cada falange, dando al dedo un numero importante de posibles posiciones dentro de su recorrido entre la posición de extensión hasta la de flexión.

La solución para el mecanismo es un sistema de 3 eslabones ternarios planos, que hacen la función de las falanges, unidas en sus extremos por ejes con un grado de libertad y articulados por medio del sistema Tendón (flexión) – Resorte (extensión).

FIGURA 1
Esquema general de la articulación

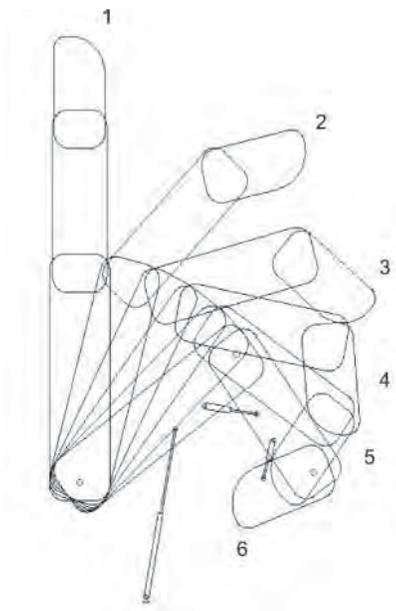


Para el desarrollo de este proyecto, cada articulación, será movida simultáneamente por un actuador, con un giro relativo y diferente según los datos ergonómicos, generando una combinación de movimientos posible por cada dedo. Ésto se debe a que pretender mover independientemente cada falange, requiere de un número igual de actuadores, incrementando significativamente el presupuesto económico del proyecto. Sin embargo, según el diseño y la construcción del mecanismo, en futuros avances en este tema la mano puede ser controlada por medio de un número mayor de actuadores.

Para cada dedo se simuló el comportamiento del mecanismo y se realizó un análisis dinámico de la velocidad de cada articulación hasta encontrar la mejor relación de movimiento.

FIGURA 2

Esquema dinámico del movimiento del dedo índice



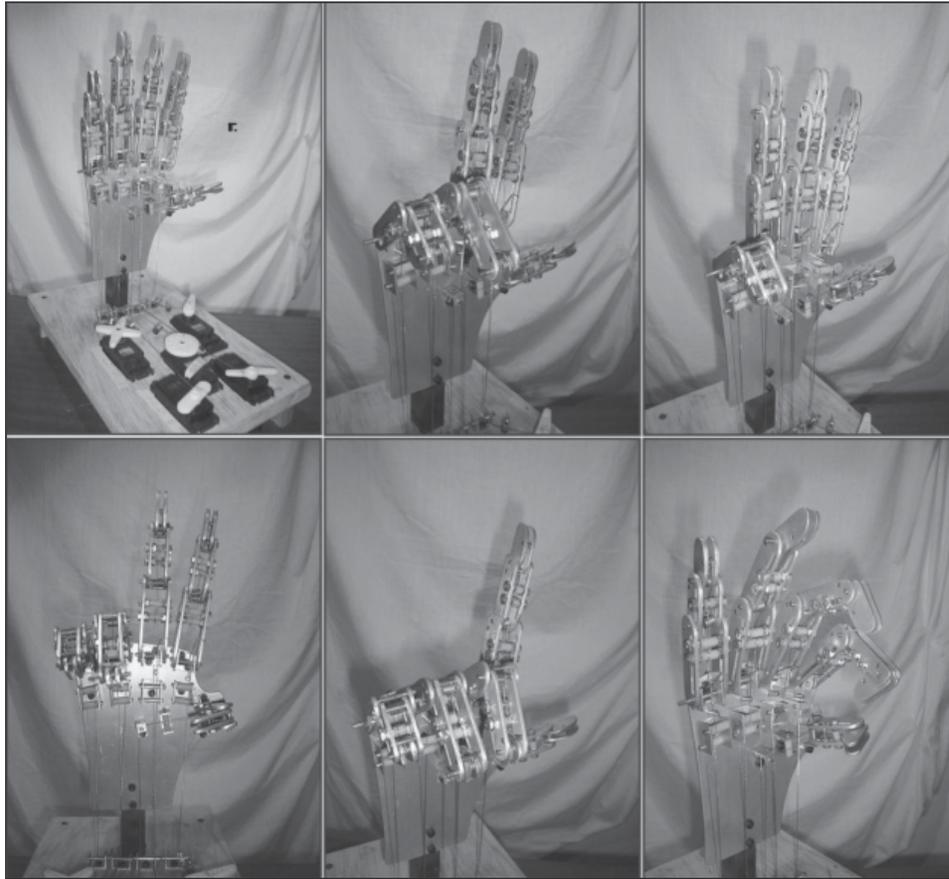
SISTEMA DE CONTROL

- **Actuadores:** Los actuadores deben permitir un control preciso de cada una de sus posiciones y deben presentar una estabilidad suficiente para evitar vibraciones o movimientos no deseados en las articulaciones. Deben estar en capacidad de generar una fuerza de tracción, que transmitida por medio de los tendones, generen los movimientos de flexión en las articulaciones, venciendo la inercia misma del mecanismo y la fuerza ejercida por los resortes.

Para ésta tarea, se seleccionaron servomotores de alto torque, capaces de generar un torque constante de 19.8 Kg*cm. Éstos elementos electromecánicos generan en el eje de salida un giro de 180°, permitiendo el control de la Posición y velocidad en todo momento mediante una señal PWM (ancho de pulso modulado) con un periodo de 20 ms y tiempo de encendido entre 0.5 y 2.5 ms para variar la Posición.

- **Electrónica:** Para generar la señal PWM se programo el microcontrolador PIC16f873, le cual genera el ancho de pulso modulado en 5 puertos de salida, correspondientes a cada servomotor. Ésta señal es modificada y controlada según la información recibida en forma serial del programa elaborado en el Software Lab-view.
- **Software:** Para el control de la mano fue necesario crear un programa que permitiera modificar de una manera fácil los límites para la señal PWM de cada servomotor. Éstos límites son controlados de manera numérica en un panel de control y enviados serialmente en condigo ASCII al microcontrolador. Una vez establecida ésta comunicación y determinado los números equivalentes a cada una de las posiciones deseadas, el software permite adquirir de una tabla de datos las posiciones programadas en un periodo de tiempo para cada dedo y reproducir de manera secuencial los movimientos deseados.

FIGURA 3. Mano animatrónica



CONCLUSIONES

La mano animatrónica logra llamar la atención y despertar interés de quien la observa funcionando, pues se logró una mezcla interesante del desarrollo de la forma, del mecanismo interno, el funcionamiento óptimo de los actuadores y un adecuado control sobre estos.

Todo esto combinado en una misma acción en tiempo real, de forma cíclica, logra un objeto animatrónico capaz de entablar comunicación con el espectador abriendo una puerta importante en el desarrollo de objetos animatrónicos.

Desde el punto de vista técnico se logró un diseño que cumple con las necesidades planteadas, sin embargo hay consideraciones que se deben tener en cuenta:

Una vez lograda la solución de los mecanismos y encontrado las proporciones que generan un movimiento fluido y visualmente aceptable y llamativo, se puede pensar en futuros desarrollos que busquen disminuir el tamaño de las piezas y lograr un prototipo a escala 1:1 con la ubicación de los puntos de tensión y flexión de los tendones fijos.

Se considera que el diseño de las piezas logró el objetivo esperado en cuanto a forma y funcionamiento, sin embargo, se cree que deben ser simplificadas buscando un producto más comercial que permita una producción más fácil a menor costo.

Se puede pensar en futuros desarrollos donde exista un control mayor sobre las falanges de cada articulación logrando independencia en el movimiento generado y un número mayor de grados de libertad y combinaciones posibles de los desplazamientos, permitiendo explorar

un nuevo campo como por ejemplo la manipulación de objetos.

Es importante destacar el papel que tiene el dedo pulgar en la mano humana y aún cuando el movimiento logrado en este proyecto es interesante y logra simular muy bien el movimiento con un grado de libertad, se considera que se debe prestar especial atención en esta articulación para futuros proyectos, y pensar en mecanismos con una movilidad mayor y mas ángulos de giro que le permita alcanzar las demás articulaciones en forma de pinza, pues este sería la clave principal si se quiere manipular algún objeto.

El sistema de control logró un desempeño muy óptimo, ya que generó una señal para los servomotores muy estable y un movimiento controlado muy fluido, el cual es una de las mayores dificultades de trabajar con estos actuadores. Además el sistema de control es versátil y permite modificar fácilmente la programación de los movimientos.

Las propiedades mecánicas y dinámicas de los servomotores seleccionados permiten que el desempeño sea ideal para este proyecto. Sin embargo, para futuros proyectos se puede pensar en actuadores con un comportamiento mecánico similar o mejor, pero con características de volumen y peso diferentes, deseando que éstas sean reducidas al máximo posible, facilitando la adaptación con otro elemento animatrónico y abriendo caminos diferentes como por ejemplo las prótesis de miembro superior.

Los materiales utilizados se desempeñaron satisfactoriamente y permitieron construir un objeto compacto, fuerte y liviano con una movilidad interesante en las articulaciones. Aun así, se considera que se puede pensar en materiales mas livianos, con muy buena resistencia mecánica como por ejemplo los materiales compuestos, como la resina de poliéster reforzada con fibra de vidrio, ampliando de manera importante las posibilidades de lograr nuevas formas en las piezas.

BIBLIOGRAFÍA

BARRIENTOS. Antonio, PEÑIN. Luis Felipe, BALAGUER. Carlos, ARACIL. Rafael Fundamentos de Robótica. Ed. McGraw Hill. España. Año 1997. 327 p. ISBN: 8448108159.

BRONOWSKI, Jacob. El Ascenso del hombre. Fondo educativo interamericano, S.A. Colombia. Printer Colombiana S.A, 1983. 448 p. ISBN: 9688580228.

COPERIAS, Enrique M. La mano mueve el mundo. Revista muy interesante, año 1999. núm. 196. p 20-27. ISSN 0122-3577

DONATH, Max. Robotics and manufacturing automation. The winter annual meeting of the American society of mechanical engineers, November 1985. USA. vol. 15. 296 p. ISBN: <0791800164.

JAIN, LAKHMI C., TEODORESCU, HORIA-NICOLAI L.. Intelligent systems and technologies in rehabilitation engineering. CRC Press. USA. 2001. 231 p. ISBN 0-8493-0140-8.

OSORIO FLOREZ. Manuel José. Procesamiento digital de imágenes para la generación mediante redes neuronales, de la posición de los actuadores involucrados en el desplazamiento de puntos faciales de una cabeza animatrónica. Tesis de maestría. Universidad EAFIT. Colombia. Año 2002, 143 p.

MCMINN, R.M.H., R.T. HUTCHINGS. Atlas a color de anatomía humana. Pfizer. Vol. 5. 1996 .p. 130-147

MENZE. PETER, FAITH D'ALUISIO. Robo sapiens: Evolution of a New Species. The MIT Press; 1st edition September 1, 2000. USA. 240 p. ISBN: 0262133822

RODRÍGUEZ. Alberto. Artefactos, diseño conceptual. Ed. Fondo editorial Universidad EAFIT. Colombia. Año 2003. 198 p. ISBN: 958-8173-31-0

ERDMAN. Arthur, SANDOR, George. Diseño de mecanismos, análisis y síntesis. Tercera edición. Ed.

Pearson Educación. México. Año 1997. 646 p. ISBN: 0-13-267782-2.

MONTOYA, Díaz. Luís Guillermo. Aplicaciones con microcontrolador PIC. Ed. Edilatinas. Colombia. Año 2004. 130 p. ISBN: 958-33-6561-0.

BEER. Ferdinand, JOHNSTON, Russell Mecánica vectorial para ingenieros, Dinámica. Quinta edición. Ed. McGraw Hill. México. Año 1997. 1063 p. ISBN: 0-07-079926-6.

BEER. Ferdinand, JOHNSTON, Russell Mecánica de materiales. Segunda edición. Ed. McGraw Hill. México. Año 1993. 740 p. ISBN: 968-451-414-X

SOLANO, Bonnet. Carlos Alberto, ROSA Vélez. Margarita. Diseño de un dispositivo de movimiento para la mano. Tesis de grado universidad EAFIT. Año 1991. Colombia.

ANDERSON@2000 ANDERSON. PAUL F. Audio – Animatronics. Abstracción del artículo "A Great Big Beautiful Tomorrow: Walt Disney and World's Fairs". Artículo que habla de la interacción de los animatrónicos con las personas. USA [en línea] Visitada 22 de Marzo 2006. Disponible en <http://members.tripod.com/labyrinth/animatronics/history/animatronics101-102/aa.html>

ANDROIDWORLD@1999 Empresa dedicada al diseño y construcción de objetos animatrónicos. USA [en línea] Visitada 20 de Marzo 2006. Disponible en <http://www.androidworld.com>

CORDOVA@1998 CORDOVA. Francisco García-, Álvarez. José J. Martínez Roque J. Saltaren Pazmino, Antonio Guerrero Gonzalez, y Juan Jopez Coronado. Diseño mecatrónico de un dedo Antropomórfico. Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática. Universidad Politécnica de Cartagena. España. [En línea] Visitada 5 de Marzo 2006. Disponible en: www.cea-ifac.es/actividades/jornadas/XXII/documentos/H_06_R.pdf

MAKING@2004 Making things. Empresa dedicada al diseño y construcción de equipos de ingeniería. Mecanismos para desarrollos de manos animatrónicas. USA [en línea] Visitada 20 de Marzo 2006. Disponible en <http://www.makingthings.com/about.htm>

HANSON@2006 Hanson. William. Componentes protésicos para la extremidad superior: función vs. Apariencia. [En línea] Visitada 15 de junio 2007. Disponible en: http://www.amputee-coalition.org/spanish/nov_dec_03/solutions.html#top

MANO@2006 Empresa dedicada al diseño de sistemas robóticos y mecánicos. Institute of Robotics and Mechatronics. Alemania. [En línea] Visitada 10 de julio 2007. Disponible en <http://www.dlr.de>

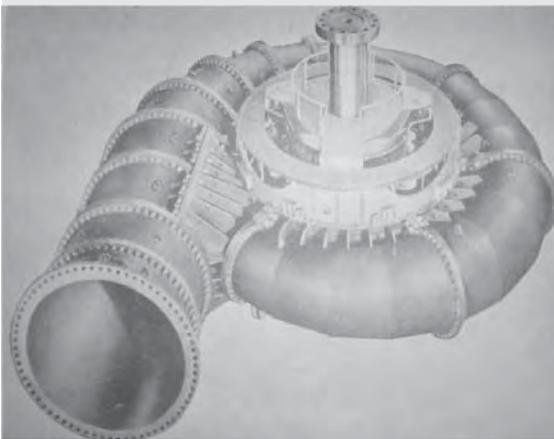
MASROBOTS@2001 Pagina dedicada a la promoción de artículos y diseños animatrónicos para elaboración de robots. [En línea] Visitada 10 de Marzo 2007. Disponible en: <http://www.masrobots.com/Frames.html>

ORTOWEB@2006 Lugar destinado al estudio de artículos y prótesis para personas con discapacidades físicas. . [En línea] Visitada 1 de agosto 2007. Disponible en: <http://www.ortoweb.com>

STARMEDIA@2005 Reseña histórica del desarrollo y evolución de los robots. [En línea] Visitada 20 de julio 2007. Disponible en: <http://orbita.starmedia.com/cienciayficcio/robots.html#bibliografia>

WALTER@2005 WALTER. RICH. Shadow Robot Company Ltd. Shadow Dextrous hand technical specification. Febrero 15 de 2005. [En línea] Visitada 10 de junio 2007. Disponible en: http://forevergeek.com/gadgets/shadow_dextrous_hand.php

PRUEBAS DE COMPORTAMIENTO DE LAS TURBINAS FRANCIS



MARIA PAULINA MARTÍNEZ ESCOBAR
mmartin8@eafit.edu.co
Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS
MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

ASESOR PRINCIPAL
FABIO ANTONIO PINEDA BOTERO

SECTOR BENEFICIADO
UNIVERSIDAD EAFIT

RESUMEN

Las turbinas Francis son las más utilizadas para el aprovechamiento hidroeléctrico a nivel mundial.

En el presente artículo se muestran las principales pruebas de comportamientos hechas tanto en las instalaciones hidráulicas como en modelos. Para comenzar se habla de las características generales de este tipo de turbinas. Más adelante se habla de la normativa que rige las dichas pruebas de comportamiento para este tipo de turbinas y se describen las mediciones más relevantes para la descripción del funcionamiento de estas turbinas.

Con este proyecto se busco facilitar la información necesaria en cuanto a pruebas y ensayos para la futura construcción de banco de pruebas para turbinas tipo Francis dentro de la universidad, con el que se piensa estudiar de manera mas detenida los aspectos que pueden afectar el funcionamiento de dicho tipo de turbinas.

ABSTRACT

Francis turbines are the most used for hydroelectrical plants world wide.

In this article are shown the most important performance tests made on hydraulic installations as well as in models. To begin, the article exposes the general characteristics of these types of turbines. Later on is shown the normative that surrounds this performance tests and then are described the most relevant measurements to describe the functioning of this turbines.

With this project was made to facilitate the information needed about the tests for a future construction of a test rig for Francis turbines within the university, the test rig is needed to study with detention the aspects that might affect the functioning of these type of turbines.

PALABRAS CLAVES

Turbina Francis, pruebas de comportamiento, Energía hidráulica específica, Comisión Electrotécnica Internacional.

KEY WORDS

Francis turbine, performance tests, specific hydraulic energy, International Electrotechnical Commission.

INTRODUCCIÓN

La potencia hidroeléctrica es quizás la forma más rentable de fuente de energía alternativa disponible. El 60.8% del agua en Colombia es utilizada para la generación de energía a partir de centrales hidroeléctricas.

Una central hidroeléctrica se utiliza para la generación de energía eléctrica mediante el aprovechamiento de la energía potencial del agua embalsada en una presa situada a más alto nivel que la central.

El agua es conducida mediante una tubería de descarga a la sala de máquinas de la central, donde mediante enormes turbinas hidráulicas se produce la generación de energía eléctrica en alternadores.

En una turbina hidráulica, el agua intercambia energía con un dispositivo mecánico de revolución que gira alrededor de su eje de simetría; éste mecanismo lleva una o varias ruedas, (rodetes o rotores), provistas de álabes, de forma que entre ellos existen unos espacios libres o canales, por los que circula el agua. (Turbinas hidraulicas@2002).

Una turbina hidráulica esta compuesta de tres elementos diferentes que el agua va atravesando sucesivamente, el distribuidor, el rodetete y el tubo de aspiración.

CLASIFICACIÓN DE LAS TURBINAS

Dependiendo de la dirección de entrada del agua a la turbina estas pueden ser clasificadas en:

- **Turbinas axiales:** el agua de forma paralela al eje. Entre este tipo de turbomáquinas se encuentran la turbinas tipo Kaplan, de hélice y de bulbo.
- **Turbinas radiales:** el agua entra perpendicular al eje, son centrífugas si el agua va de adentro hacia fuera o centrípetas si el agua va de afuera hacia adentro. Entre las turbinas radiales se encuentran las turbinas tipo Francis.
- **Turbinas tangenciales:** el agua entra lateral o tangencialmente contra álabes de la rueda. Las turbinas Pelton son un ejemplo de este tipo de turbinas.

Este artículo se centra en las turbinas hidráulicas utilizadas en la generación de energía hidroeléctrica, específicamente en las turbinas tipo Francis, con este artículo se busca mostrar las distintas pruebas que evalúan el comportamiento de dicho tipo de turbinas y la normatividad que rige dichas pruebas.

PRINCIPIO DE OPERACIÓN DE LAS TURBINAS TIPO FRANCIS

La turbina Francis es una de las turbinas hidráulicas más comunes. Esta turbina es radial, de flujo mixto, y se ocupa con diferencia de cota entre 5 m y 500 m. La eficiencia es similar a la de las turbinas de hélice.

Una turbina Francis esta compuesta principalmente de una cámara de descarga, una voluta o cámara espiral, un rodetete, y un tubo de aspiración.

En las turbinas Francis el agua que viene del ducto entra perpendicularmente al eje de la turbina y sale paralela a este. El agua entra a la turbina por la cámara de descarga, de allí va al rodetete el cual es impulsado por el agua y comienza a girar, para controlar el caudal de agua en el rodetete se usan unas paletas directrices dispuestas de manera circular, este conjunto es denominado distribuidor, las paletas directrices se mueven sobre un pivote individual de tal forma que llegan a tocarse en la posición de cerrado, en cuyo caso no entra agua en el rodetete, y tienen sus caras casi paralelas en la posición de abierto, en cuyo caso el caudal de agua recibido por el rodetete es máximo, regulando de esta manera el caudal. Las paletas directrices del distribuidor son accionadas mediante un anillo móvil que conecta todas las paletas, el anillo móvil es a su vez accionado mediante el regulador de velocidad de la turbina. Luego de pasar por el rodetete, el agua sale de la turbina por el tubo de aspiración.

NORMATIVIDAD PARA PRUEBAS DE COMPORTAMIENTO

La normatividad que rige la validez y aceptación de las diferentes pruebas y ensayos realizados para hallar valores lógicos a las variables comprometidas y de esta manera

encontrar el punto de operación óptima de la turbomáquina, están dadas por la Comisión Electrotécnica Internacional.

La IEC es una organización encargada de la generación de distintas normas y estándares relacionados a los campos de la electricidad, electrónica y todos los campos relacionados.

IEC 60041 "Campo de aceptación para determinar el comportamiento hidráulico de Turbinas hidráulicas, bombas de acumulación y turbinas-bomba": Esta norma establece los tipos de ensayos realizados en centrales hidráulicas para determinar en que medida han sido respetadas las garantías contractuales principales¹. Establece las reglas que gobiernan el proceso de ensayos y prescribe las medidas a adoptar en caso de inconformidad en una fase cualquiera de los ensayos. Además, establece los métodos de cálculo de los resultados, así como la extensión, el contenido y el modo de presentación del informe final.

IEC 60193 "Turbinas hidráulicas, bombas de acumulación y turbinas-bomba. Pruebas de aceptación en modelos": En esta norma se establecen las pruebas y ensayos de aceptación realizados en modelos de las máquinas hidráulicas citadas en el título de la norma. Al igual que la norma IEC 60041, esta norma busca determinar el cumplimiento de las garantías contractuales para las prestaciones hidráulicas principales.

En la norma también se fija el reglamento a seguir para la realización de los ensayos y las medidas a seguir en caso de inconformidad en cualquiera de las fases de la prueba.

IEC 60609-1 "Turbinas hidráulicas, bombas de acumulación y turbinas-bomba. Evaluación de la erosión por cavitación. Parte 1: Evaluación en turbinas de reacción. Bombas de acumulación y turbinas-bomba": Esta norma consta de dos partes, en la primera (la que aplica para nuestros propósitos) se evalúa la cavitación en turbinas de reacción, bombas de acumulación y turbinas bomba; en la segunda parte de la norma se evalúan las turbinas Pelton.

¹ Como garantías contractuales se pueden entender el cumplimiento de la máquina hidráulica de los parámetros de funcionamiento (Potencia, caudal, rendimiento, etc.) establecidos por el constructor en el contrato.

En la norma IEC 60609 se establecen las medidas y evaluación de la cantidad de erosión por cavitación presente en ciertas partes específicas de la máquina hidráulica para las condiciones dadas de potencia, energía hidráulica específica, velocidad, operación, etc.

La norma no cubre otros efectos que puedan ser causados por la cavitación tales como cambios en la potencia, vibración, ruido y defectos revelados durante la operación.

Para la aplicación de esta norma se asume que la máquina no está expuesta a aguas químicamente agresivas, esta agresividad del agua depende de sus diferentes componentes químicos y la reacción con los componentes de la máquina, por lo tanto es recomendable analizar el agua previamente. Esta norma no establece límites particulares para definir si el agua es químicamente agresiva o no. (IEC 60609 -1, 2004, 1)

IEC 60994 "Guía para la medida en campo de vibraciones y pulsaciones en máquinas hidráulicas (turbinas, bombas de acumulación y turbinas-bomba)"

Esta norma establece las reglas que aplican a la hora de realizar pruebas de vibraciones y/o pulsaciones.

Esta norma no se interesa en las pruebas realizadas para propósitos investigativos, sin embargo, los métodos descritos en la norma pueden ser utilizados como guía.

Las pruebas de vibración y pulsación realizadas en modelos de laboratorio y/o en elementos separados de la máquina no son contempladas dentro de esta norma, sin embargo, de ser posible hacer pruebas de pulsación en modelos, esta norma debería ser tomada en consideración.

PRUEBAS DE COMPORTAMIENTO

No es posible mediante análisis teóricos o métodos computacionales, obtener resultados exactos acerca del estado real del flujo y el comportamiento de las turbomáquinas. La exactitud de estas será pobre o poco confiable especialmente en condiciones lejanas a los límites del diseño. (EPT@2001)

Teniendo en cuenta lo anterior, se hace necesario recurrir a la investigación experimental por medio de modelos de la turbina y las mediciones reales en campo. Los resultados hallados en los modelos pueden ser validados mediante el uso de relaciones de semejanza y formulas de escalamiento para la eficiencia.

Según Manuel Polo: "La experimentación es una vía de conocimiento de la máquina concebida como un todo, que confirma los aciertos o desaciertos de un calculo analítico"².

MEDICIÓN DE LA PRESIÓN

Las mediciones de la presión fundamentales para la determinación de importantes variables de funcionamiento de las turbinas tales como el caudal o la energía hidráulica específica.

Los aparatos y métodos de medición de presión pueden ser divididos en dos grupos, en métodos o instrumentos primarios y métodos o instrumentos de presión secundarios.

El aparato a elegir debe ser elegido dependiendo de los requisitos pedidos por el sistema automático de adquisición de datos. Es normal la utilización de métodos primarios y secundarios combinados.

Los métodos o instrumentos primarios miden únicamente magnitudes fundamentales (longitud, masa, etc.) por lo tanto no necesitan calibración. Entre los instrumentos primarios para la medición de presión se encuentran los manómetros de columna líquida, manómetros de pesas y balanzas de presión.

Los métodos o instrumentos secundarios necesitan ser calibrados respecto a un método primario para obtener una medida patrón. Entre los métodos secundarios se encuentran los transductores de presión y los manómetros de resorte.

² POLO ENCINAS, Manuel. Turbomáquinas hidráulicas: Principios fundamentales. México: Limusa, 1980. p. 156.

MEDICIÓN DEL NIVEL DE AGUA

Las mediciones del nivel de agua son necesarias para la determinación de características fundamentales de las turbinas tales como, la energía hidráulica específica y el caudal.

Normalmente el nivel libre de agua se mide desde un punto de referencia (z_M) del instrumento, determinado por medio de un instrumento de alta precisión con respecto a otros niveles de referencia.

La mayoría de las veces, el nivel libre de agua no se mide directamente en la sección sino, en un pozo tranquilizador conectado a la sección a medir.

Entre los instrumentos utilizados para la medición del nivel libre de agua se encuentran:

- Limnómetro de punta recta o gancho
- Limnómetro de flotador
- Limnómetro de placa
- Transductores de presión sumergibles
- Manómetros de columna líquida
- Medidas mediante aire comprimido (Técnica de burbuja a burbuja)

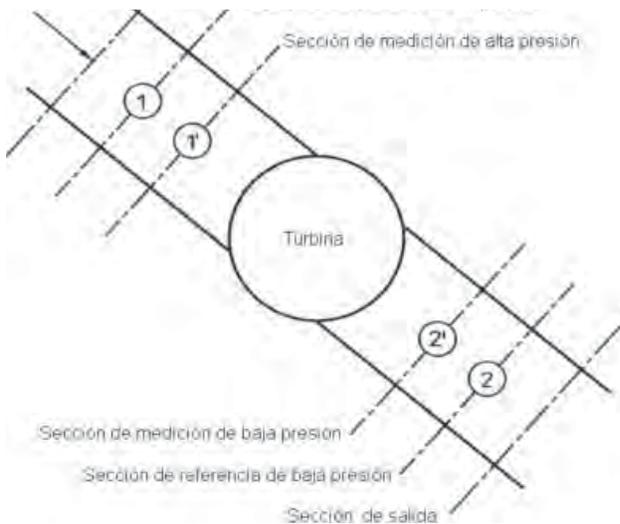
MEDICIÓN DE LA ENERGÍA HIDRÁULICA ESPECÍFICA

La energía hidráulica específica es una de las principales variables a tener en cuenta en las turbinas, es por esto que debe ser calculada durante cualquier ensayo realizado a la turbina ya sea un modelo o una turbina en una instalación hidráulica.

La energía específica hidráulica se define como la energía específica del agua disponible entre las secciones de referencia de alta y baja presión de la máquina. (IEC 60041, 1991,12)

Las secciones de referencia de alta y baja presión se especifican en la Figura 1.

FIGURA 1
Secciones de referencia de alta y baja presión



(IEC 60041, 5)

La energía hidráulica específica, E , se establece mediante la Ecuación 1:

$$E = \frac{p_{abs1} - p_{abs2}}{\bar{\rho}} + \frac{v_1^2 - v_2^2}{2} + \bar{g}(z_1 - z_2)$$

Donde:

p_{abs1} es la presión absoluta. Es la sección de referencia de alta presión

p_{abs2} es la presión absoluta. Es la sección de referencia de baja presión

$\bar{\rho}$, se puede tomar con la densidad del agua a presión atmosférica

v_1 , es la velocidad media en la sección de referencia de alta presión

v_2 , es la velocidad media en la sección de referencia de baja presión

\bar{g} , se puede tomar como la aceleración de la gravedad en el nivel de referencia de la turbina

z_1 , es el nivel de la sección de referencia de alta presión

z_2 , es el nivel de la sección de referencia de baja presión

La Ecuación 1 es una aproximación aceptable al valor exacto de la energía hidráulica específica. El error relativo a esta aproximación es menor que 0.02%.

Para poder determinar la energía hidráulica específica de la turbina es necesario antes determinar la energía específica en las secciones de referencia de alta y de baja presión, sin embargo, no siempre es posible medir la presión en las secciones de referencia, por lo que se hace necesario determinar la presión absoluta, la velocidad media y el nivel de agua en nuevas secciones de medida (que pueden van a ser llamadas secciones de referencia desplazadas) que estén lo suficientemente cerca de las secciones de referencia.

Cuando se utilizan secciones de referencia desplazadas la pérdida de energía específica entre ambas secciones, teniendo en cuenta la dirección y distribución del flujo y la posición relativa de ambas secciones. También se debe tener en cuenta la incertidumbre introducida en el calculo por la pérdida.

Todas las medidas de niveles deberán ser hechas respecto al nivel de referencia, este puede ser el nivel de referencia de las instalaciones del laboratorio o de la máquina. En las instalaciones hidráulicas se debe elegir un nivel de referencia fijo, al que normalmente se le da el nombre de punto geodésico principal, en caso de no contar con un punto geodésico fijo se puede recurrir al nivel de referencia de la turbina como punto principal de nivelación.

A su vez cada instrumento de medición de presión o de nivel libre tiene un nivel de referencia fijo llamado nivel de referencia del instrumento (z_m).

Es importante establecer con precisión la diferencia de cotas de nivel precisas. La diferencia de cotas de elevación más importante para los ensayos en modelos es la diferencia entre el nivel de referencia de la máquina (z_r) y nivel de referencia del instrumento (z_m) y se denomina por el símbolo Z_m , en caso tal que todos los instrumentos tengan igual nivel de referencia y si además este nivel será tomado como nivel de referencia entonces $Z_m = Z_r$.

MEDICIÓN DEL CAUDAL

La medida de caudal tanto en instalaciones hidroeléctricas como en laboratorios, se puede llevar a cabo de manera mas precisa si se hace teniendo en cuenta las especificaciones del método de medición elegido.

El método de medición a utilizar en las instalaciones hidroeléctricas se debe elegir teniendo en cuenta las limitaciones que pueda presentar la instalación, el costo que pueda tener el ensayo y teniendo en cuenta si la explotación de la turbina se presta a la posibilidad de hacer paros, vaciado de las instalaciones, etc. Que puedan ser necesarios para la instalación del ensayo.

Entre los métodos a utilizar están:

- Método de los molinetes
- Tubos de Pitot
- Método presión-tiempo (método de Gibson)
- Métodos por trazador
- Vertederos
- Aparatos normalizados de presión diferencial
- Método volumétrico
- Método gravimétrico
- Método de la pantalla móvil
- Caudalímetros

MEDICIÓN DE LA VELOCIDAD DE ROTACIÓN

La medición de la velocidad de rotación es importante dentro de las pruebas de comportamiento en turbinas ya que las características del funcionamiento de turbina dependen en gran medida de esta variable.

La velocidad de rotación puede ser medida mediante:

- Cómputo de los impulsos generados por el eje del modelo, utilizando un contador electrónico y una base de tiempos. El generador de impulsos puede ser eléctrico u óptico.
- Frecuencímetro eléctrico conectado con un generador accionado directamente por el eje del modelo.

- Tacómetro eléctrico de alta presión, que incluya un imán permanente estable, accionado directamente por el eje. (IEC 60193,1999, 176)

MEDICIÓN DE LA POTENCIA

La potencia es una característica de gran importancia en la determinación de la eficiencia global de la turbina.

La medición de la potencia puede ser hecha mediante métodos indirectos de medida de la potencia, como la medición de la potencia eléctrica. También puede ser hecha por métodos directo de medida como lo son la medida por medio de un freno, mediante un dinamómetro de torsión.

Para la medición de la potencia es recomendable la utilización de instrumentos integrados, especialmente aquellos que simultáneamente integran las mediciones de potencia con las de caudal, debido a que estos pueden suprimir las variaciones de caudal y de potencia que se producen durante el periodo de integración.

MÉTODO TERMODINÁMICO PARA LA MEDIDA DEL RENDIMIENTO

El método termodinámico resulta de la aplicación de la aplicación del principio de conservación de la energía (primera ley de la termodinámica) a la transferencia de energía entre el agua y el rodete/impulsor a través del cual esta fluyendo. (IEC 60041, 1991, 190)

MEDICIÓN DE LA CAVITACIÓN

Los ensayos de cavitación en turbinas consisten en investigar la influencia del desarrollo de la cavitación en las características hidráulicas de la turbina, el tipo de cavitación susceptible a desarrollarse durante la operación de un modelo de la turbina. (EPFL@2004)

Además de esto otra razón importante para el desarrollo de mediciones de cavitación es la determinación del límite de cavitación admisible, ya que, como se sabe la cavitación puede destruir partes vitales de la turbina rápidamente.

Los métodos experimentales de estudio del comportamiento de una turbina con respecto a la cavitación difieren principalmente en el fenómeno físico seleccionado para determinar y evidenciar el comienzo de la cavitación. De acuerdo a esto pueden diferenciarse tres métodos de detección del fenómeno:

- Por el cambio en el rendimiento hidráulico de la máquina, puesto de manifiesto en la variación de la altura, potencia, caudal, etc.
- Por observación visual o fotográfica de las bolsas de vapor o burbujas en los álabes del rotor.
- Por observación y medición de los ruidos y vibraciones que acompañan el funcionamiento de la máquina.

De los tres métodos mencionados, el más exacto o el que mejores resultados de valor práctico produce es el primero.

Pero el cambio en el rendimiento hidráulico no es suficientemente confiable por sí solo como indicación de la cavitación, ya que en ocasiones ruidos apreciables y tras indicaciones del fenómeno pueden aparecer sin acompañamiento de cambios en dicho rendimiento. Consecuentemente, parte de los ensayos se compensan por los otros métodos mencionados. (UNCOMA@2003)

CONCLUSIONES

Las turbinas Francis son las más utilizadas en las instalaciones hidráulicas debido a que pueden ser utilizadas en instalaciones de diferentes características constructivas.

En muchas ocasiones no es posible medir las características de funcionamiento de una turbina dentro de las mismas instalaciones donde esta se encuentra, es por esto que se hace necesario recurrir a modelos de estas para hacer estudios más detallados de su comportamiento.

Los modelos que se utilicen para dichos estudios deben ceñirse a relaciones de semejanza geométrica, dinámica y cinemática, con la turbina real para poder asegurar que

el mismo comportamiento presentado en el modelo será presentado por la turbina real en su funcionamiento diario.

La medición de condiciones básicas como la presión y el nivel libre de agua son vitales para la determinación de los parámetros fundamentales de funcionamiento de la turbina.

Una de las mediciones más importantes que se deben realizar a una turbina hidráulica es la velocidad de giro, esto se debe a que a partir de este parámetro se determinan otros parámetros de gran importancia como la energía hidráulica específica, la potencia y el caudal.

La medición de la energía hidráulica específica es una de las más importantes características a ser medida en una turbina, es por esto que las normas recomiendan hacer una medición de energía hidráulica específica siempre que se realicen ensayos en una turbina.

Antes de realizar las pruebas de funcionamiento se recomienda hacer una decisión a conciencia de los tipos de ensayos escogidos para la determinación del comportamiento de la turbina, no todos los métodos se ajustan a las condiciones que puedan presentar las turbinas. El método o métodos elegidos deben ser aquellos que puedan dar la mayor precisión posible a la medición para poder obtener el mejor perfil de comportamiento posible.

BIBLIOGRAFÍA

POLO ENCINAS, Manuel. Turbomáquinas hidráulicas: Principios fundamentales. 2 ed. México: Editorial Limusa, 1980. 291 p. ISBN 968-18-1235-2

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. Guide for field measurement of vibrations and pulsations in Hydraulic machines (Turbines, storage pumps and pump-turbines). Ginebra: IEC, 1991, 133 p. (IEC 60994)

_____. Field acceptance test to determine the hydraulic performance of hydraulic turbines, storage pumps and pump turbines. 2 ed. Ginebra: IEC, 1991, 210 p. (IEC 60041:1991)

_____. Hydraulic turbines, storage pumps and pump turbines. Model acceptance test. 3 ed. Ginebra: IEC, 2004, 299 p. (IEC 60193)

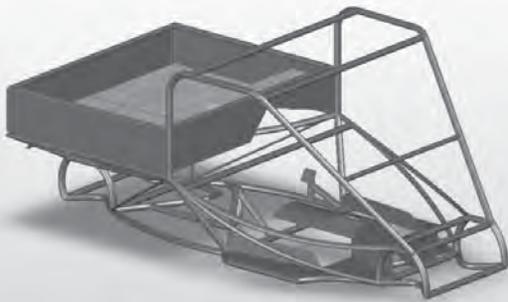
_____. Hydraulic turbines, storage pumps and pump turbines. Cavitation pitting evaluation. Part 1: Evaluation in reaction turbines, storage pumps and pump-turbines. Ginebra: IEC, 2004, 41 p. (IEC 60609-1)

EPFL@2004 AVELLAN, François. Introduction to cavitation in hydraulic machinery. [En línea]. EPFL Swiss Federal Institute of Technology Lausanne, Suiza [citado el 4 de octubre de 2007]. Disponible desde internet en: <<http://lmhwww.epfl.ch/Publications/Public.pdf/CAVIPUAV.pdf>>

Turbinas hidráulicas@2002 FENANDEZ DIEZ, Pedro. Turbinas hidráulicas. [En línea]. Departamento de Ingeniería Eléctrica y energética, Universidad de Cantabria, España, 2002 [citado el 5 de septiembre de 2007]. Disponible desde internet: <<http://www.termica.webhop.info/>>

UNCOMA@2003 MARCHEGANI, Ariel R. Pequeñas centrales hidráulicas. [En línea]. Universidad Nacional del Comahue, Argentina [Citado el 21 de septiembre de 2007]. Disponible desde Internet en: <<http://fain.uncoma.edu.ar/centraleshidraulicas/archivos/>>

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN VEHÍCULO UTILITARIO TODOTERRENO BIPLAZA



JUAN PABLO RICO MORA

jricomo1@eafit.edu.co

Departamento de Ingeniería Mecánica

JHON ALEXANDER BLANDON RINCON

jblando2@eafit.edu.co

Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS
DISEÑO DE SISTEMAS TÉCNICOS

ASESOR PRINCIPAL
JAIME LEONARDO BARBOSA PÉREZ

BENEFICIADOS
SECTOR AUTOMOTOR
UNIVERSIDAD EAFIT

RESUMEN

Este documento presenta el diseño y la construcción de un vehículo utilitario todo terreno biplaza; el cual se diseñó para soportar fuerzas de carga y arrastre, adicionales a las generadas por su conductor, copiloto, estructura, accesorios y por su puesto el motor con su par de torsión.

Se comienza con lo más elemental, las necesidades del usuario, hasta lograr entregar un modelo funcional que satisfaga lo más fielmente las necesidades planteadas.

FIGURA 1
Vehículo terminado



ABSTRACT

This document introduces the design and construction of an all terrain twin seat utility vehicle; that was designed to resist strengths of weight and tow, in addition of those given by its driver, co-pilot, structure, components and obviously the engine and its torque.

It begins with the user's requirements; thru complete a full process which provides a useful prototype model, that must satisfies the closer faithfully possible the given needs.

PALABRAS CLAVE

Vehículo utilitario todo terreno, necesidades de usuario, biplaza, vehículo remolcador

KEYWORDS

All terrain utility vehicle, user's requirements, twin seat, tow car.

INTRODUCCIÓN

Partiendo de unos condicionamientos básicos se propone, y se estructura, el concepto de diseñar y construir un "vehículo multipropósito"; este proceso lleva una concepción desde el diseño conceptual, pasando por la visualización gráfica del artefacto que se construye y la aplicación de ciertos cálculos estáticos y dinámicos, de resistencia de materiales y cualquier otro que sea necesario para la buena estructuración y desarrollo de este. También, se tiene en cuenta las necesidades de los usuarios y el ciclo de vida que a este se le asigne; y desde luego, teniendo en cuenta su viabilidad económica. En la etapa de diseño, se tienen presentes estas necesidades y se adaptan en la etapa de construcción lo más verosimilmente al vehículo para la comodidad de todos los usuarios.

METODOLOGÍA DE DISEÑO

Se divide en cuatro fases que son: prediseño, consecución de patrocinio, diseño y construcción.

- **Prediseño:** La fase de prediseño define las bases del producto a materializar; incluye la búsqueda de información y soluciones existentes acerca del proyecto (estado del arte). En esta, se definen los requisitos y deseos que se quieren obtener en el producto final. Entre los requisitos y deseos, se tienen en cuenta los siguientes aspectos:
 - Función principal.
 - Estructura funcional y variaciones concebidas.
 - Portadores de función.
 - Conceptos considerados y elegidos.
 - Conformación y detalle de los elementos a utilizar en el artefacto.
 - Materiales o piezas a conseguir en el mercado.
- **Patrocinio:** Después de tener definida una arquitectura del producto (prediseño), y teniendo unos posibles patrocinadores; se realizan visitas empresariales y en estas, se les explica en que consiste el proyecto, como se ve compensada su colaboración y que beneficios

trae para sus empresas la relación Universidad-Empresa. Esta fase se implementa en el transcurso de todo el proyecto.

- **Diseño:** Es de optimización y detalle del producto final; en esta se realizan mejoras, ajustes o correcciones al proyecto. Esta fase no finaliza hasta que el prototipo este terminado, se debe tener desarrollado en detalle la parte conceptual, documentados los cálculos y los análisis realizados, los planos de detalle y de ensamble del vehículo.
- **Construcción:** Es la etapa definitiva del proyecto; ya que en esta, se lleva a cabo la materialización de todo lo antes realizado. Se debe construir, probar y evaluar el modelo funcional definido con anterioridad; teniendo en cuenta todos los detalles técnicos y de calidad requeridos para este tipo de proyectos.

A su vez, se terminaran las memorias de diseño; estas deberán ser un documento que de forma sencilla y coherente expliquen todo lo relacionado con el prediseño, análisis, diseño y otros aspectos referentes al proyecto.

RELACIÓN ARTEFACTO - HOMBRE - AMBIENTE

El cumplimiento de la función principal; transportar, se da debido a la unión de dos fuerzas básicas que son:

Fuerza direccional: Representa la relación Hombre - Artefacto, ya que el conductor mediante el uso de sus manos puede darle dirección al vehículo y dirigirlo hacia el sitio que desee.

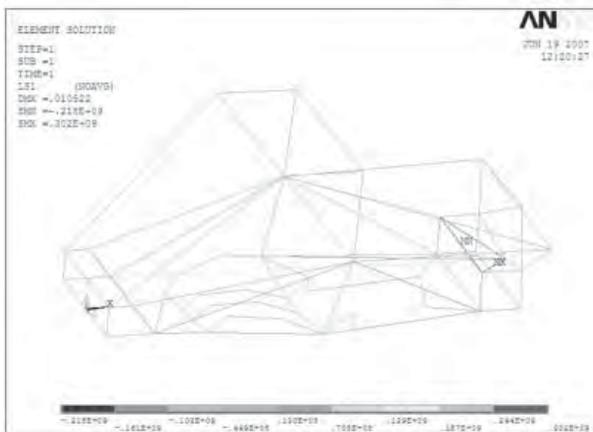
Fuerza traslacional: Representa la relación Ambiente - Artefacto, ya que el motor realiza una fuerza que es transmitida a los cardanes y estos a su vez, transmiten esta fuerza a las diferenciales o transmisiones; mediante el sistema de transmisión de potencia se genera un torque en los ejes necesario para el movimiento del carro, que a su vez se trasmite a las ruedas traseras y gracias a la fuerza de fricción con la cual se puede obtener movimiento traslacional.

CÁLCULOS

Como consecuencia a lo laborioso y complicado de realizar el cálculo estructural a mano, se decide optar por un paquete comercial de elementos finitos. Para la estructura se realizaron análisis estáticos y dinámicos para diferentes condiciones. Para el presente caso se seleccionó ANSYS, debido a las características que este software tiene, además de ser mucho más fácil de usar frente a otros paquetes de elementos finitos similares.

Adicional al análisis de la estructura, se realizaron cálculos para la capacidad máxima de arrastre y resistencia del tiro de arrastre entre otros.

FIGURA 2
Análisis de la estructura



FABRICACIÓN

Durante la fabricación del vehículo se puede apreciar que se llevan a cabo diferentes procesos que van desde el doblado y rolado de la tubería, soldadura de piezas en materiales metalúrgicamente no compatibles, maquinado de piezas, adaptación de partes comerciales, hasta la aplicación técnica de pinturas en polvo (electrostática) y la elaboración del sistema eléctrico por parte de terceros entre otros,

CONCLUSIONES

El diseño como parte fundamental de la ingeniería mecánica permite, en su estado más puro, lograr llevar de la imaginación al papel y consecuentemente a la vida real un objeto deseado como en este caso, un vehículo multipropósito.

Luego, el diseño es capaz de realizar casi cualquier tipo de actividad, sea para desarrollar una solución a la industria o por el contrario, simplemente solucionar una necesidad, para este proyecto, un hobby.

El diseño, también, es capaz de prever los fallos de las piezas según determinadas condiciones de uso, lo que permite controlar la geometría de los objetos para que obtengan el resultado que el diseñador esta esperando. Esto le da al diseño el poder de controlar la mayoría de las situaciones, dejando solo al azar los accidentes.

Finalmente, con el presente proyecto, se logro cumplir el objetivo principal propuesto y se constató que los objetos funcionaran adecuadamente siempre y cuando el proceso de diseño y de construcción sea realizado a conciencia e investigando el porque de las cosas, tal cual como se realizó.

BIBLIOGRAFÍA

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

RODRÍGUEZ, Alberto. Artefactos: Diseño Conceptual. Primera Edición. Fondo Editorial Universidad EAFIT. Medellín, Colombia. 2003. ISBN: 970-17-0163-1.

RICO, Juan Pablo y otros. Diseño de un vehículo mono-plaza: "El rudo". Materia Diseño de Máquinas I, EAFIT. Medellín, Colombia. 2005

SHIGLEY, Joseph Y MISCHKE Charles R. Diseño en Ingeniería Mecánica. McGraw Hill. Sexta Edición. México, D.F. 2002. ISBN: 970-10-3646-8.

@ Dalhousie University, 2005 Chasis. [En línea][Citado el 22 de Marzo de 2005] Disponible en: http://www.me.dal.ca/~dp_03_14/design2.html

@Eafit, 2006 Diseño mecánico. [En línea][Citado el 15 de septiembre de 2006] Disponible en: <http://www.eafit.edu.co/EafitCn/Ingenieria/Posgrados/DisenoMecanico/index.htm>

@ferrasa, 2007 Tabla tubería circular. [En línea][Citado el 15 de enero de 2007] Disponible: <http://www.ferrasa.com/content.aspx?cid=150>

@ San José University, 2005 Diseño de un mini-baja. [En línea][Citado el 22 de Marzo de 2005] Disponible en: http://www.engr.sjsu.edu/sae/Mini_Baja/Mini_Baja_2003/specs.htm

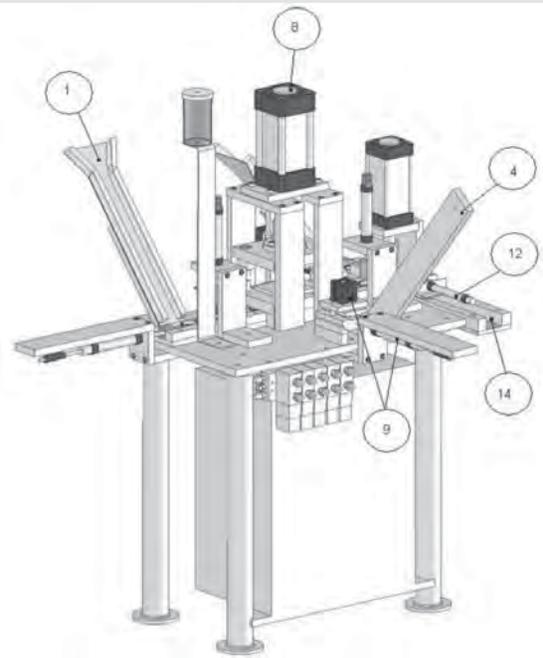
@Virtual U, 2006 Suspensión. [En línea][Citado el 15 de septiembre de 2006] Disponible en: <http://www.vu.union.edu/~jennet/Baja2.jpg>

@wikipedia2, 2007 Vehículos 4x4. [En línea][Citado el 17 de junio de 2007] Disponible en: http://es.wikipedia.org/wiki/Autom%C3%B3vil_todoterreno

@wikipedia, 2007 Vehículos 4x4. [En línea][Citado el 25 de mayo de 2007] Disponible en: http://es.wikipedia.org/wiki/Veh%C3%ADculo_de_tracci%C3%B3n_a_las_cuatro_ruedas

@4x4abc, 2007 Sistemas 4x4. [En línea][Citado el 25 de mayo de 2007] Disponible en: http://www.4x4abc.com/4WD101/def_turn.html

DESARROLLO DE MÁQUINA PARA ENSAMBLAR TAPAS “PUSH DOWN”



ALEJANDRO VÉLEZ GÓMEZ
avelezgo@eafit.edu.co
Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS
DISEÑO DE SISTEMAS TÉCNICOS

ASESOR PRINCIPAL
CÉSAR AUGUSTO VÉLEZ

SECTOR BENEFICIADO
UNIVERSIDAD EAFIT

RESUMEN

El siguiente artículo expone el proceso que se llevo a cabo para el diseño y la construcción de una máquina Ensambladora de tapas “PUSH DOWN” para ser utilizada en la empresa C.I.Farmaplast. Ltda

ABSTRACT

The following article exposes the process that take place for the design and the construction of a machine to the assembly of caps “PUSH DOWN” to be used in the company C.I.Farmaplast.ltda.

PALABRAS CLAVES

Liner, tapa interna, tapa externa, actuadores, PLC, automatización.

KEY WORDS

Lyner, internal cap, external cap, actuators, PLC, automation.

INTRODUCCIÓN

La economía global ha obligado a las empresas a ser más eficientes ya que los mercados son cada vez más exigentes y los recursos son cada día más limitados. Dentro de este marco, la industria del plástico no es la excepción, sobre todo en la situación actual donde las empresas buscan diferenciarse unas de otras, ofreciendo al mercado un producto diferente y con un valor agregado para sus consumidores.

Cada día las industrias quieren disminuir sus costos de producción para poder ser más competitivos en el mercado, con el ánimo de lograr este objetivo buscan disminuir los costos que involucran la mano de obra.

Durante toda la historia, el hombre siempre ha hecho grandes esfuerzos para facilitar un trabajo determinado. El desarrollo del martillo, la invención de la rueda y la máquina de vapor son ejemplos claros de los logros obtenidos.

En el mercado se encuentran una variedad de herramientas que facilitan una gran cantidad de tareas. Dentro de los más comunes se pueden encontrar: cilindros hidráulicos y neumáticos, todo tipo de válvulas, motores, serbos, controladores, sensores, etc. Al realizar una buena disposición de todos estos elementos se obtienen soluciones prácticas al problema.

La continua competencia entre las empresas hace que la calidad de los productos sea un valor agregado el cual puede definir una posición frente al mercado, por otra parte la disminución de piezas defectuosas crea una disminución en los costos haciendo la empresa más competitiva, para lograr esto se debe invertir en desarrollos tecnológicos.

PROCESO DE DISEÑO

El proceso de diseño solucionará un problema mediante la metodología VDI 2221 el cual plantea las posibles soluciones y determina la opción más viable mediante un análisis técnico. Como primer paso se realizan diferentes bocetos donde estén plasmadas las ideas concebidas anteriormente al proceso, con el fin de crear un punto

de partida que sirvan como base de ideas para formar estructuralmente el producto final.

Este proceso hace referencia a la parte conceptual y metódica de la máquina, es decir partir de las funciones que desarrolla la máquina, las entradas de información, materia y energía además conocer cual es su respectiva transformación.

BRIEF

Antecedentes: Colombia en su proceso de modernización debe avanzar tecnológicamente con el fin de disminuir la distancia que existe con otros países más desarrollados, uno de los sectores que en la actualidad esta guiando la economía de los países es la industria del plástico; por lo tanto se está trabajando en la optimización de los procesos que intervienen en este sector y que pueden ayudar a un país a mejorar económicamente. Después de la optimización de los procesos productivos como lo son la inyección, extrusión, el soplado entre otros, existe otro proceso que no necesariamente está ligado a la industria del plástico pero si es de gran utilidad para ésta y es el de una ensambladora de partes producidas por algunos de los procesos anteriormente mencionados.

La gran mayoría de las pequeñas y medianas empresas se conforman con contratar personas para que realicen estos procesos sin darse cuenta de los costos que esto conlleva debido a la mano de obra y al tiempo que demora el proceso.

Justificación: Es necesario el desarrollo de este proyecto para la industria en general, pues es preciso mostrar lo conveniente que es diseñar y construir una máquina para ensamblar partes y así optimizar este proceso, satisfaciendo las necesidades tanto de clientes, usuarios y consumidores.

La idea de este proyecto es que cumpla con los requerimientos básicos exigidos por la industria, contribuyendo al mejoramiento y la optimización del proceso de ensamble.

Definición del usuario: El usuario directo es la empresa de plásticos C.I.FarmaPlast la cual desea llevar a cabo el diseño y construcción de una máquina para ensamblar tapas utilizadas en Canadá por la industria farmacéutica.

Con el desarrollo de este proyecto se pretende mejorar la productividad de la empresa y la calidad de este producto (tapa a ensamblar), ya que este proceso se realiza manualmente, su calidad y cantidad depende de la persona encargada de esta tarea, haciendo que el control de la producción sea más difícil ya que se depende de la habilidad de cada empleado y todos tiene capacidades y habilidades diferentes.

ANÁLISIS DE LA FUNCIÓN

Este análisis se basa en la búsqueda de la función principal del diseño donde se pueda definir su funcionamiento con el fin de garantizar fácil asimilación del concepto final de la máquina, es decir garantizar que con esta función se puede definir de una forma concreta el funcionamiento de la misma.

El diseño conceptual de la máquina ENSAMBLADORA DE TAPAS está basado en la necesidad que existe en la industria de tener un sistema de ensamble de partes que sea más compacto en tamaño y que tenga mejores beneficios en cuanto a la relación costos producción, además que es una tecnología que representa mejoras técnicas en el proceso y que genera mejor producción en cuanto a calidad.

Se tiene en cuenta que el principal cambio en el proceso de ensamble en relación con el proceso existente es la automatización debido a que se dejará de realizar manualmente este proceso.

La propuesta que se desea desarrollar es crear una ensambladora de tapas para implementarla en la empresa C.I.FarmaPlast.

ESTRUCTURA FUNCIONAL

La estructura funcional es la representación simbólica de los elementos, para saber de donde se parte y para donde se quiere llegar.

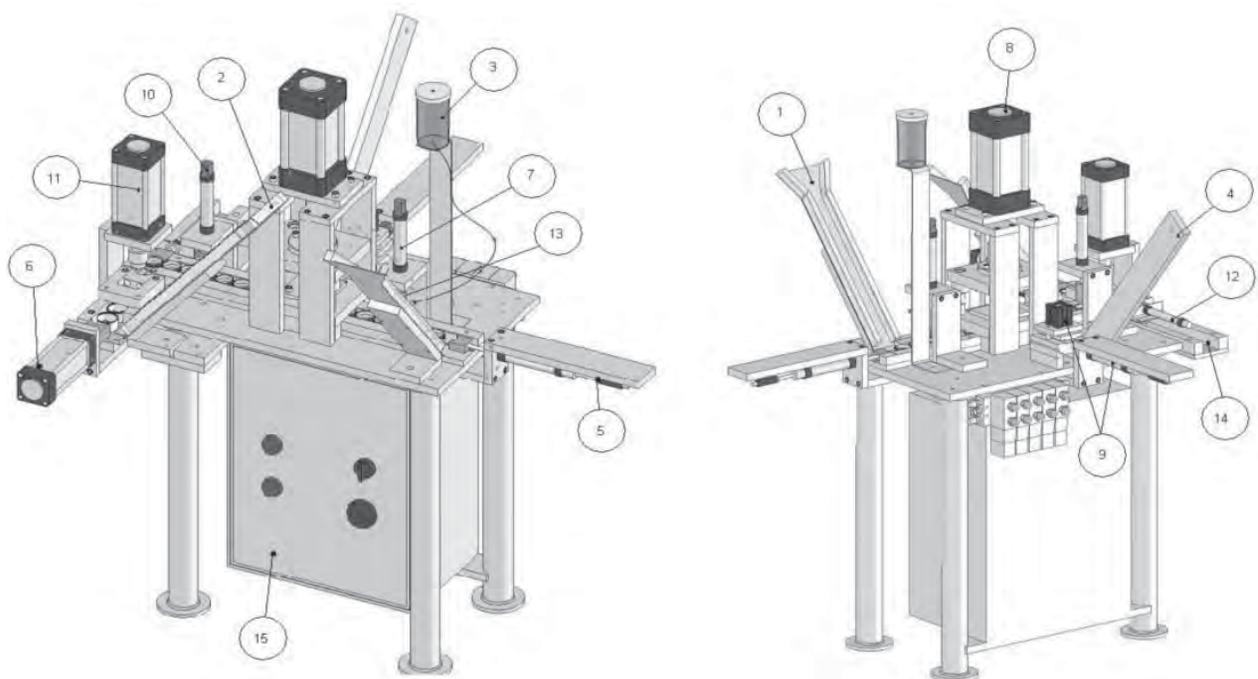
FIGURA 1
Función General



FIGURA 2
Propuesta de diseño

	Alimentar	Convertir	Ubicar	Sostener	Depositar	Dosificar	Introducir	Cortar	Posicionar	Ensamblar
1										
2										
3										
4										

FIGURA 3
Propuesta final



Componentes:

1. Tobogán por donde ingresan las tapas internas.
2. Tobogán por donde ingresan las tapas externas.
3. Recipiente donde se deposita la pega para fijar el liner.
4. Soporte donde se pone el rollo de liner.
5. Pistón que ubica, sostiene y desplaza la tapa interna hacia el dosificador de la pega, el sistema de corte y posicionado del liner.
6. Pistón que ubica, sostiene y desplaza la tapa externa hacia la zona de ensamble.
7. Pistón que sostiene el dosificador por contacto (pega).
8. Pistón sujeto al troquel encargado de cortar el liner.
9. Pistones encargados de sujetar y desplazar el liner hacia la zona de corte.
10. Pistón encargado de posicionar el liner en su ubicación final (tapa interior).
11. Pistón encargado de ensamblar la tapa interna con la externa.
12. Pistón encargado de ubicar, sostener y desplazar las tapas internas hacia la zona de ensamble.
13. Dosificador por contacto.
14. Zona por la cual salen las tapas ensambladas.
15. Caja en la que se encuentra el PLC que está encargado de controlar el movimiento de los pistones.

BIBLIOGRAFÍA

Curso Oleohidráulica y Neumática. Sergio Aristizabal y Jorge Franco. Universidad Eafit. Medellín, Colombia, 2004.

DEPPERT y Stoll. - Elementos Neumáticos, Aplicaciones de la neumática - Editorial Marcombo – 1ª Edición – MEXICO – 2003 – ISBN 970-15-0279-5.

AUTOMATIZACION INDUSTRIAL @. Monografía realizada por Miguel Jiménez y Miguel García. Publicada en Internet en la página < URL: <http://www.monografias.com> >

ELPRISMA@ Información acerca de transmisión de movimiento por correas <URL: http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria_mecanica/transmisioncorrea/>.

FESTO @ Empresa dedicada la fabricación de componentes Neumáticos y con ellos mismos realiza sus automatizaciones: <URL: <http://www.festo.com> >

GRUPO-MASER @ Grupo dedicado a la automatización de procesos industriales. Visitado el 23 de Septiembre de 2006: < URL: <http://www.grupo-maser.com/index.htm> >

MICRO@ Catálogo de sistemas neumáticos <URL: <http://www.micro.com.ar>>

MICRO@ Información acerca de sistemas de control (PLC) <URL: <http://www.micro.com.ar>>

MONOGRAFIAS@ Información acerca de actuadores neumáticos <URL: <http://www.monografias.com/trabajos13/actoneu/actoneu.shtml>>

MONOGRAFIAS@ Información acerca de cilindros hidráulicos <URL: <http://www.monografias.com/trabajos15/actuadores/actuadores.shtml#neumat>>

RINCONDELVAGO@ Información acerca de transmisión de movimiento a través de elementos flexibles <URL: <http://html.rincondelvago.com/elementos-flexibles-para-generar-movimiento.html>>

SIEMENS @. Empresa productora de elementos de control: < URL : [http:// www.siemens.com](http://www.siemens.com) >

WIKIPEDIA@ Información acerca de sistemas de control <URL: http://es.wikipedia.org/wiki/Sistemas_de_control>

WIKIPEDIA@ Información acerca de engranajes < URL: <http://es.wikipedia.org/wiki/Engranajes> >

WIKIPEDIA@ Información acerca de sensores <URL: <http://es.wikipedia.org/wiki/Sensor>>

MODELACIÓN Y ANÁLISIS DE UN MOLDE PARA FUNDICIÓN DE ALUMINIO POR COQUILLA



PABLO CARRIZOSA ISAZA
pcarrizo@eafit.edu.co
Departamento de ingeniería mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS
PLÁSTICOS

ASESOR PRINCIPAL
GABRIEL JAIME PÁRAMO BERMÚDEZ

EMPRESA
UNIVERSIDAD EAFIT

RESUMEN

Para mostrar la forma en que se desarrolla un molde de fundición de aluminio por coquilla, primero se comienza describiendo como se realiza el proceso de producción. Posteriormente, se citan las consideraciones a tener en cuenta para desarrollar correctamente un molde, para luego entrar a la etapa de modelación. Por último se realiza un análisis de dos alternativas de diseño en los canales de alimentación de la pieza, con ayuda de un software especializado en procesos de fundición.

ABSTRACT

In order to show the way in which a gravity aluminum mold casting is developed, the beginning would be to describe how the production process is made. Later, the considerations for developing a mold in the best way are mentioned to follow into the modeling stage. Finally, with the help of specialized software in casting processes, an analysis of two alternatives of the pouring channels design for the piece is made.

PALABRAS CLAVE

Fundición, molde, aluminio, análisis.

KEY WORDS

Casting, mold, aluminum, analysis.

INTRODUCCIÓN

Los procesos de fundición permiten dar forma a un sinnúmero de objetos que se han convertido en parte fundamental de las necesidades del ser humano, al dar forma a los metales para hacer que estos faciliten el diario vivir de las personas.

Mostrar cómo se hace el desarrollo de un molde permite ilustrar el trabajo que se requiere para llevar una necesidad a una idea de producto, y esa idea a un proceso de manufactura, para finalmente obtener un artículo que encierra todo el avance del desarrollo en la técnica y el diseño.

PROCESO DE FUNDICIÓN DE ALUMINIO POR COQUILLA

En el horno de fundición se lleva el aluminio a una temperatura en la cual se encuentra completamente líquido, ya que su punto de fusión es de aproximadamente 760 °C.

El aluminio líquido es conducido a los moldes por el moldeador. Se deposita el aluminio en la coquilla, se acciona un interruptor que hace que la máquina basculante sobre la que se encuentra instalado el molde rote 90° para hacer que éste, que se encuentra en una posición horizontal para recibir el aluminio, pase a una posición vertical en la que se llena la cavidad del molde.

Luego de haberse llenado la cavidad, y transcurrido un tiempo programado de solidificación, el molde se abre automáticamente, para que la pieza pueda ser finalmente retirada por el moldeador y llevada al post proceso requerido para obtener el producto terminado.

CONSIDERACIONES PARA EL DESARROLLO DEL MOLDE

Piezas estándar: Identificar las piezas estándar que la compañía utiliza en sus moldes.

Normas estándar: Existen normas estandarizadas en cuanto a dimensiones de las placas del molde. Se debe

considerar la profundidad del artículo a fabricar, dado que la máquina tiene un máximo de apertura.

Material del macho y la hembra: Se deben utilizar materiales con buena resistencia a las altas temperaturas, que resista la presión de cierre del molde y la del llenado con aluminio. Se utiliza un acero de herramientas que posee gran resistencia al choque térmico, de muy buena maquinabilidad y permite ser endurecido fácilmente.

Material para las placas: Para las placas que soportan el macho y la hembra normalmente se utiliza fundición gris, igualmente para las placas de soporte, la placa expulsora y la coquilla. Su costo es significativamente menor que el del acero. Resiste altas temperaturas, tiene muy buena maquinabilidad y permite ser tratado térmicamente.

Canales de alimentación: Entre menor sea el peso del aluminio en los canales de alimentación en proporción al peso total de la pieza resultante (producto + canales), se podrán producir más artículos. Por cada pieza que se produce, aproximadamente el 7% del Al se oxida y se evapora.

La velocidad adecuada para que el aluminio fluya laminarmente dentro del molde está entre 0.25m/s y 0.5m/s ya que si la velocidad de éste se acerca a 1m/s es muy probable que las piezas salgan defectuosas.

Cuando se introduce el aluminio por los canales de alimentación, éste baja hasta el fondo de la cavidad y el frente de flujo choca con el molde, por lo que se produce turbulencia y salpicaduras. Para atenuar este efecto se debe ubicar una depresión o "pozo".

Se debe diseñar amplios ángulos de desmolde y evitar las aristas vivas, agregando redondeos para que el aluminio no quede amarrado.

Los canales deben ser removidos, por lo que se deben diseñar de tal forma que puedan ser retirados ágilmente con las herramientas que para tal fin se cuenta. El contacto del canal con la pieza debe ser solamente el necesario para garantizar un adecuado llenado de la misma.

FIGURA 1
Frentes de flujo interactuando con el molde

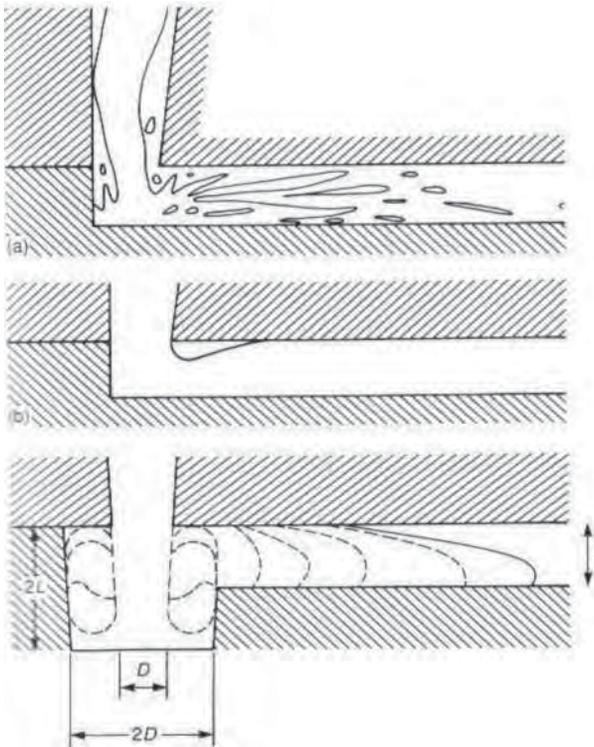
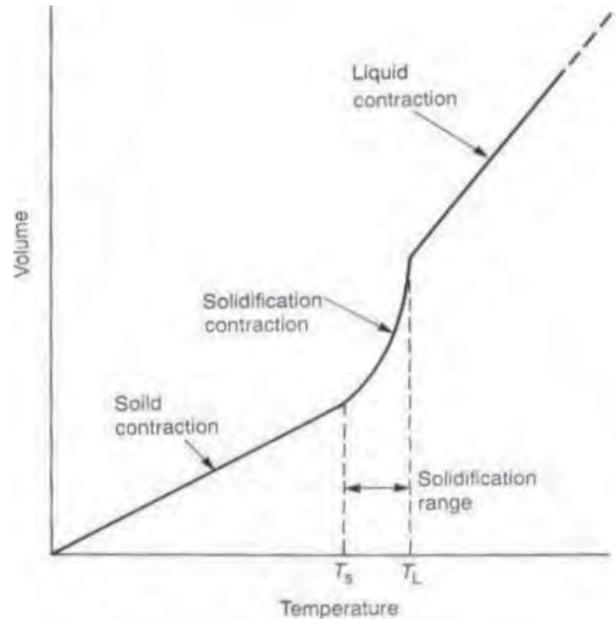
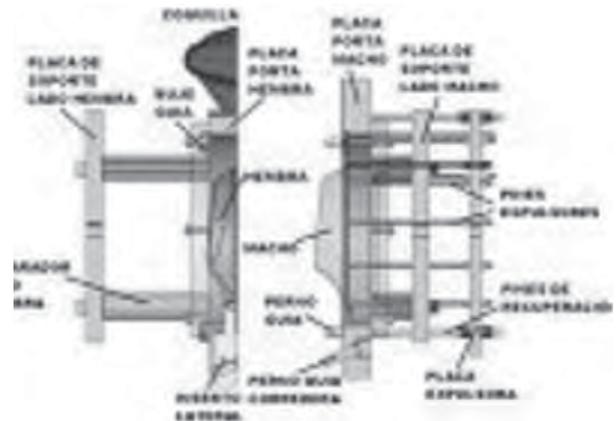


FIGURA 2
Esquema de contracción en tres regímenes



CAMPBELL, 1991

FIGURA 3
Corte en sección del molde con el nombre de las piezas



CARRIZOSA, 2007

Evacuación de gases: Las entradas de los canales no son suficientes para la evacuación del aire y los gases, por lo que se requiere de respiraderos principalmente en la parte superior de la cavidad del molde que tengan un espesor tal que no le permita al aluminio salirse por estos.

Contracciones: Al tamaño original se le debe multiplicar por un factor de contracción debido a que al solidificarse el aluminio, la pieza se encoje.

DESARROLLO DEL MOLDE PARA FUNDICIÓN DE ALUMINIO POR COQUILLA

Para entender más fácilmente y ubicarse mejor dentro de las explicaciones, en la siguiente Figura se muestra un corte de perfil del molde completo nombrando las principales piezas que lo constituyen.

CAVIDADES DEL MOLDE

Lo primero que se hace es un escalado de la pieza para contrarrestar los efectos de la contracción del aluminio y del acero de las cavidades al solidificarse.

Para el análisis de ángulo de salida de la pieza que se hace en *SolidWorks*, el color verde indica que no hay contrasalidas en la dirección del macho, el color rojo lo respectivo para la hembra y el amarillo, que no hay ángulo de salida.

FIGURA 4
Análisis del ángulo de salida en la pieza



CARRIZOSA, 2007

MACHO

El macho va en el lado del molde que contiene los canales de alimentación, el sistema de expulsión de gases y de expulsión de la pieza al igual que las puertas (gates) de entrada del aluminio entre los canales y la pieza.

El diseño del macho está desarrollado de tal forma que pueda sujetarse a la placa porta-macho por medio de pernos.

FIGURA 5
Corte en sección del macho del molde



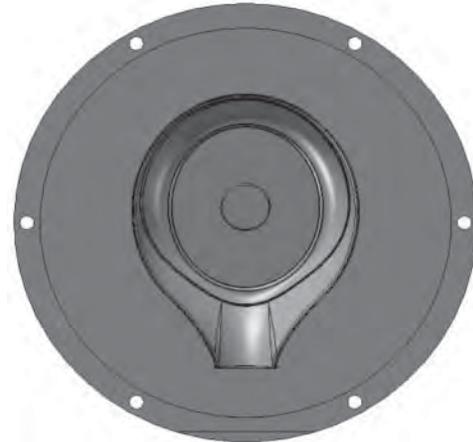
CARRIZOSA, 2007

Equidistantemente se encuentran distribuidos los orificios donde se ubican los expulsores sobre la puerta de entrada del material y en algunos puntos del canal de alimentación. Esta ubicación busca distribuir uniformemente la fuerza que se realiza para expulsar el sartén evitando que se deforme o se rompa.

HEMBRA

La hembra tiene un agujero lateral que da a la cavidad, en este agujero se ubica el inserto que conforma las perforaciones donde se ensambla el mango en el sartén.

FIGURA 6
Vista superior de la hembra del molde



CARRIZOSA, 2007

SISTEMA DE ALIMENTACIÓN

Parte de los canales se encuentran en la placa porta-macho y parte en el macho, se requiere que se aproximen lo más posible a la pieza para evitar el consumo excesivo de material y disminuir el tiempo que requiere el ciclo de conformación de la pieza.

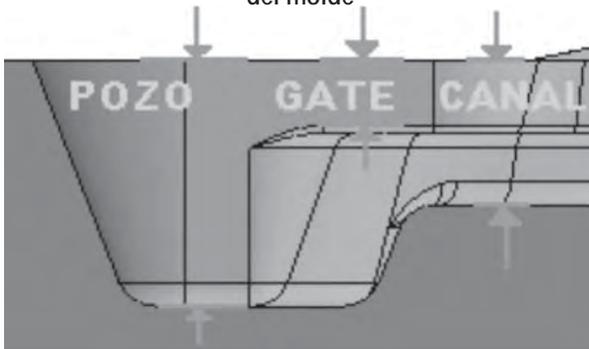
El frente de flujo del aluminio al llegar al fondo del canal, debe ser amortiguado por un pozo o depresión que impida que se generen grandes turbulencias que puedan afectar la calidad superficial de la pieza.

SISTEMA DE EVACUACIÓN DE GASES

En la parte alta del canal, es donde se acumulan la mayoría de los gases que van siendo desplazados al llenarse el molde. En este punto es donde se debe ubicar el respiradero principal, este debe ser prácticamente igual al ancho de la zona de acumulación, pero su profundidad debe ser inferior a un milímetro, para evitar que el aluminio se filtre y salga.

FIGURA 7

Diferentes alturas en el canal de alimentación del molde



CARRIZOSA, 2007

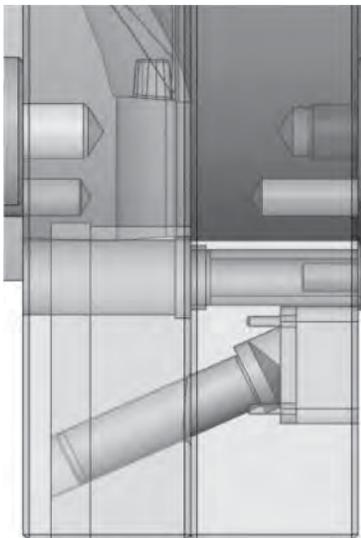
MECANISMO DE CORREDERA

Este sistema consta de unas guías entre la placa portahembra y el inserto que permiten que se desplace linealmente entre su posición normal y la de desmolde.

El desplazamiento está restringido por el movimiento de un perno guía inclinado, anclado a la placa portamacho, que al estar cerrado el molde, mantiene fijo el inserto en la posición normal y al abrirse empuja el inserto obligándolo a desplazarse hasta una posición en la que no interfiera en el desmolde de la pieza.

FIGURA 8

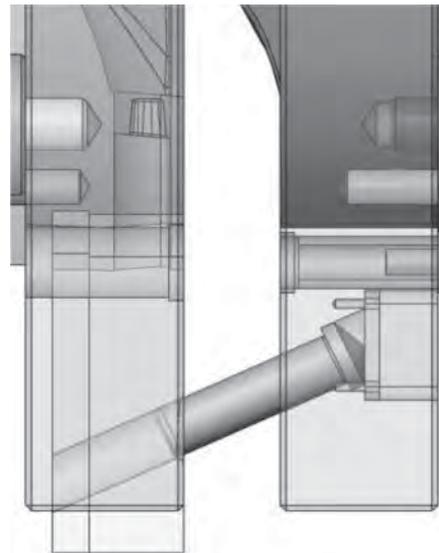
Sistema de corredera con molde cerrado



CARRIZOSA, 2007

FIGURA 9

Sistema de corredera con molde abierto



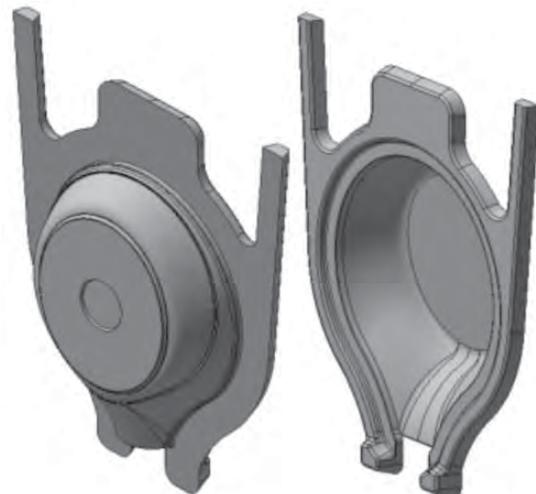
CARRIZOSA, 2007

ANÁLISIS DE LLENADO DEL MOLDE

Las piezas a las que se les aplica el análisis, la primera con el diseño de canales desarrollado originalmente en el molde del sartén y la segunda como una posible alternativa al diseño propuesto.

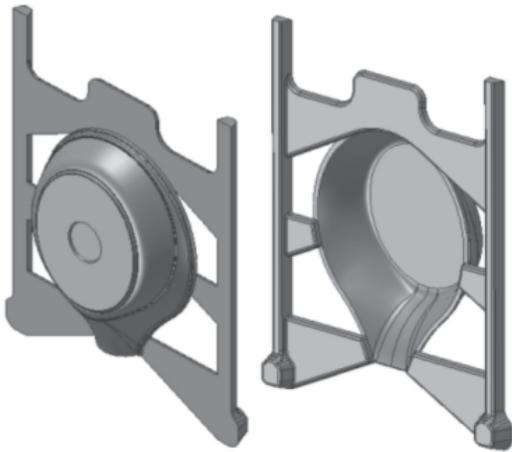
FIGURA 10

Pieza para análisis original



CARRIZOSA, 2007

FIGURA 11
Pieza para análisis alternativa

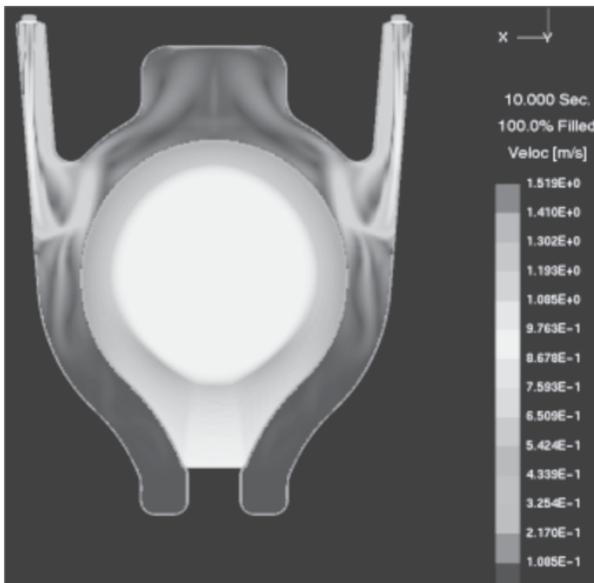


CARRIZOSA, 2007

RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN

Se evidencia que las mayores velocidades siempre están dentro del canal de alimentación, ya que por estos es por donde el flujo corre inicialmente, el rojo representa la mayor velocidad.

FIGURA 12
Corte en sección del canal mostrando velocidades

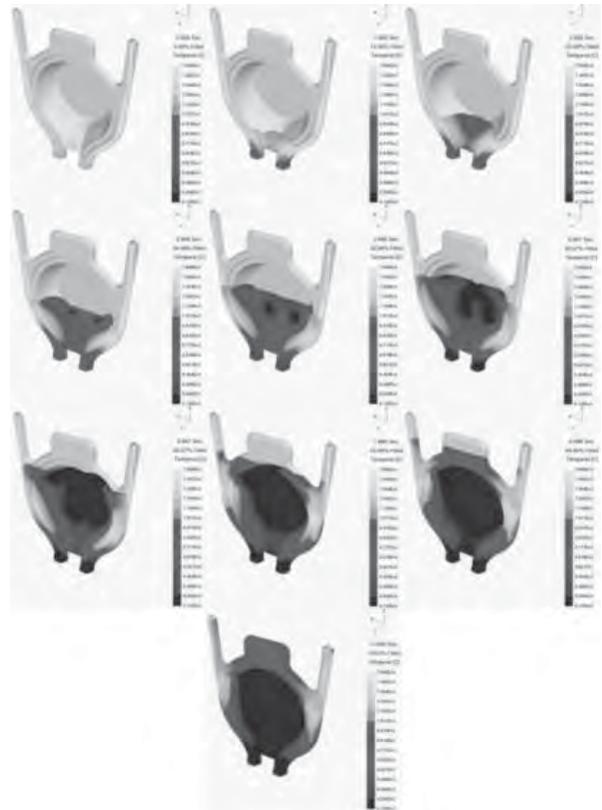


CARRIZOSA, 2007

Durante el llenado, la temperatura más alta, representada con color amarillo en la Figura, siempre está presente en los canales de alimentación más no en la pieza.

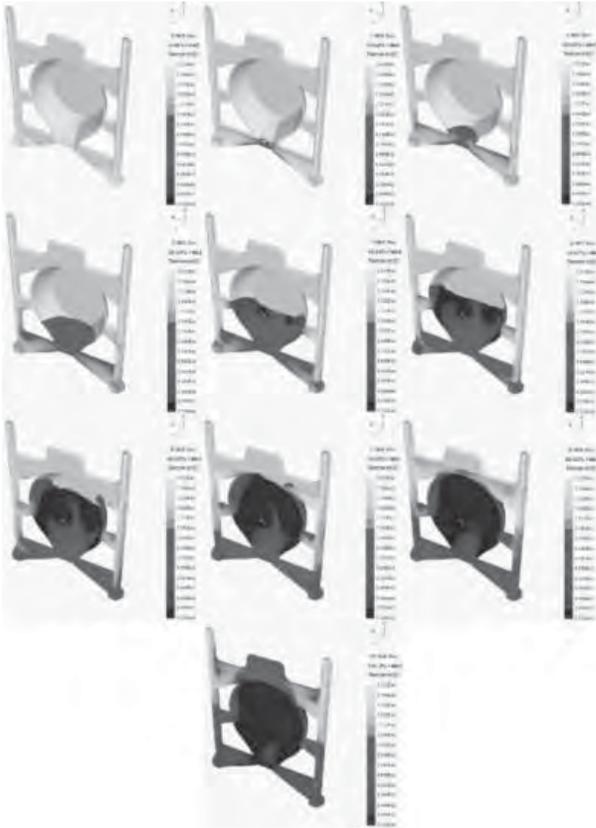
En el segundo diseño la alta temperatura fluye por las dos puertas inferiores, lo que no es bueno porque puede llegar a producir acumulaciones excesivas de temperatura en la parte inferior de la pieza.

FIGURA 13
Secuencia de llenado con comportamiento de la temperatura



CARRIZOSA, 2007

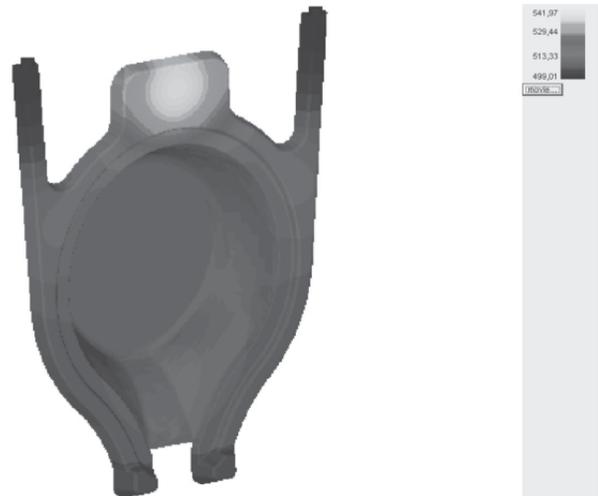
FIGURA 14
Secuencia de llenado con comportamiento de las temperaturas



CARRIZOSA, 2007

Temperaturas en la pieza justo al terminar la solidificación: Para este caso, el último punto en solidificarse es la parte del canal que se encuentra sobre la pieza y generalmente es la que mayor cantidad de macro porosidades presenta.

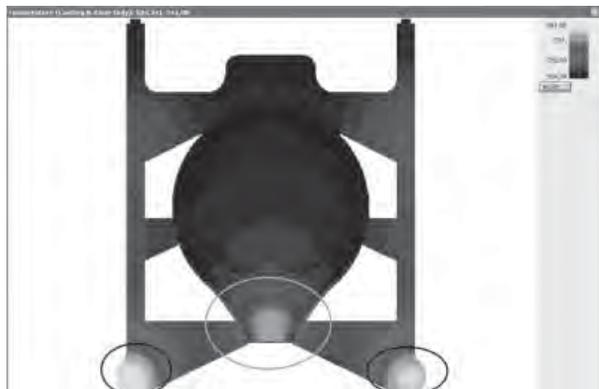
FIGURA 15
Temperaturas en la pieza justo al terminar la solidificación



CARRIZOSA, 2007

Para el segundo diseño, la alta temperatura en los pozos no es un inconveniente, pero la temperatura en la parte inferior de la pieza, muestra que existe posibilidad de que se produzcan problemas de macro porosidades.

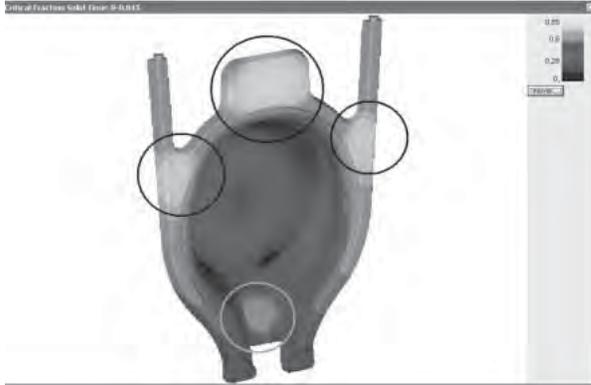
FIGURA 16
Temperaturas al finalizar la solidificación



CARRIZOSA, 2007

Solidificación progresiva del material: Para el primer diseño, la solidificación se da desde el centro de la pieza hacia los canales. Se puede ver un sitio donde podría quedar un punto caliente hacia la parte inferior central

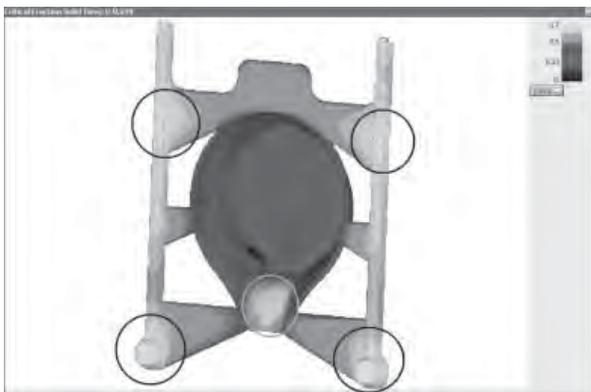
FIGURA 17
Imagen que indica la solidificación
progresiva del aluminio



CARRIZOSA, 2007

Para el segundo diseño de canal, tanto en los pozos como en la parte central inferior de la pieza, existe una marcada tendencia a generarse puntos calientes y por tanto a que se produzcan macro porosidades.

FIGURA 18
Representación de la solidificación
progresiva del aluminio



CARRIZOSA, 2007

El tiempo de solidificación para la primera propuesta es de 1,65 minutos o 1 minuto 39 segundos para que la pieza se encuentre completamente sólida. Mientras que para la segunda es de 1 minuto 21 segundos, 18 segundos menos que el diseño original del canal.

CONCLUSIONES

Al diseñar una pieza para fundición se deben conocer primero los distintos procesos que se pueden utilizar, ya que dependiendo de factores como el costo, las propiedades mecánicas, el acabado superficial o la cantidad de unidades a producir, determinan el proceso de fundición más favorable para la producción.

Se ha identificado la información necesaria que se debe tener en cuenta para el desarrollo de un molde de fundición de aluminio por coquilla, enfatizando en el diseño de los canales de alimentación y explicando los demás elementos para lograr piezas de buena calidad.

Se desarrolla la modelación del molde de fundición, describiendo cada uno de los elementos que lo conforman y su función dentro del sistema. Adicionalmente se hace los respectivos planos que dimensionan tanto el sartén como el molde del mismo.

Se realiza el análisis del molde con los programas especializados para fundición, evaluando dos alternativas de canales de alimentación. Se evidencia que la primera alternativa presenta mejores condiciones para conformar artículos de buena calidad, mientras que la segunda aunque logre una reducción del peso de los canales de alimentación tiende a presentar macro porosidades en la pieza.

Se identifica que existen diversas características del proceso que no pueden ser reproducidas en la simulación como la presencia del sistema de expulsión de gases y la reducción de material en la parte posterior del macho, pero que al no estar incluidos dejan ver cuán necesaria es su presencia dentro del diseño del molde.

Al comparar las dos alternativas de diseño de canales mediante el uso del software se pueden identificar algunas características del proceso que intuitivamente serían muy difíciles de reconocer, especialmente en el comportamiento térmico, ya que para la segunda alternativa, el diseño de los canales favorece la acumulación de temperatura y por tanto la generación de macro porosidades en los pozos y la parte baja de la pieza.

El comportamiento térmico a través del molde es distinto para las dos alternativas de diseño. En la primera la conducción del calor se da más homogéneamente, mientras que para la segunda alternativa se ve la marcada tendencia a acumularse en la parte baja de los canales y la pieza, lo que puede reducir la vida útil del molde y generar defectos en las piezas producidas.

BIBLIOGRAFÍA

- GERLING, Heinrich. "Moldeo y conformación". España, Editorial Reverté, S.A., 1979. ISBN 84-291-6051-5.
- CAMPBELL, John. "Castings". Londres, Butterworth – Heinemann, 1991. ISBN 0-7506-1696-2.
- HEINE, Richard W. "Principles of metal casting". Estados Unidos, McGraw-Hill, 1967.
- STREET, Robert L. "Elementary Fluid Mechanics". Estados Unidos, John Wiley & Sons, Inc, 1996. ISBN 0-471-01310-2.
- INCROPERA, Frank P. "Fundamentos de transferencia de calor". Mexico, Prentice Hall, 1999. ISBN 970-17-0170-4.
- ÇENGEL, Yunus A. "Termodinámica". Mexico, McGraw Hill, 2003. ISBN 970-10-3966-1.
- ESI GROUP, "Procast user manual". Francia, ESI Group, 2005.
- FINITE SOLUTIONS, "SolidCast training course workbook", Estados Unidos, Finite Solutions incorporated, 2007.
- FINITE SOLUTIONS, "FlowCast training course workbook", Estados Unidos, Finite Solutions incorporated, 2006.
- CARRIZOSA, Pablo. "Manual de diseño para moldes de fundición". Colombia, IMUSA, 2006.
- POLYANIN A. "Hydrodynamics, Mass and Heat Transfer in Chemical Engineering", London, Taylor & Francis, 2002. ISBN 0-415-27237-8.

FORCE PLATE THESIS



JUAN CAMILO VÁSQUEZ TIECK

jvasqu18@eafit.edu.co

Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS

DISEÑO DE SISTEMAS TÉCNICOS

ASESOR PRINCIPAL

ALEX ZEHNDER

SECTOR BENEFICIADO

CIENTÍFICO Y MÉDICO

ABSTRACT

Force plate or pressure plate analysis came as an innovative tool to biomechanics and sport medicine. This allows engineers, scientists and doctors to virtually reconstruct the way a person step while running or walking using a measuring system and a computer. With this information they can calculate and analyze a whole bunch of variables and factors that characterize the step. This information also allows them to make corrections and/or optimizations, designing appropriate shoes and insoles for the patient, make diagnoses and elaborate treatments. This project goes only for the hardware component of the hole system, basically the measuring system.

The idea is to study and understand all the hardware and software implications of this process and all the components involved, with focus on the hardware and the measuring components, so that at the end I can design an alternative solution. This solution should have at least similar performance to existing systems. I will try to increase the accuracy and/or the sampling frequency to obtain better results. By the end, I expect to have a working prototype of a pressure measuring system and a mathematical model to govern it. The costs of the system have to be lower than most of the systems in the market

The project is being developed mainly in the research laboratory at ilimitada S.A., the workshops of the EAFIT University are also used for manufacturing and machining. All this is taken place in Medellin, Colombia.

PROPOSED WORK

The force plates or similar systems that are available today in the market offer different solutions for the pressure measuring problem. There are different kinds of alternatives with different features, sizes and technologies, but there are also some problems with them too. The first one, and I think that is the one that affects us the most, is that the access to this kind of technologies is not very easy in our country for two reasons; one is that this technology is mostly available in Europe and USA, and it is a hassle to bring it to Colombia. Then the second one is the price. Most of this systems are wicked expensive for what they do and for what they could be used here. So in this line, we see the need of having this kind of technologies inside our country, first, just to make it available and second to impulse work on our industry.

So I have those needs in one hand, and on the other one we have some wants; personal interest and motivation, because I always liked challenging projects; by ilimitada, llimitada is working on some software tools and suites for biomechanics and orthopedics, they have done a nice prototype using one of the systems in the market, a system from medilogic. And there are other needs related this development, because we need and want a system here at the office all the time to do testing and tune up properly the software, for as long as we want, and we haven't got one yet. besides the sampling frequency and resolution of the information that we get from that device (Medilogic's) is not very appropriate and the results are not as accurate as desired, because the info needs to be processed a lot in different ways to get acceptable results.

So I think that this illustrates the idea is clearly. The technical requirements for the system are listed further down in this document. Next is a concrete description of the problem, the desired solution and the resulting benefit to the organization if the problem is solved. The main objective of the project is basically solve those needs and wants, that I already explained, creating an alternative system that may use a different technology or innovative process to do pressure measurements, and allows tho work in real time if desired. The system should have an accessible price for doctors and companies of our country.

The system is then divided in four main subsystems and distinct areas: sensor technology, data acquisition hardware, display and analysis-processing software, and materials technology. In the software area, we in ilimitada have already made some good innovations and there are important advances, so this project focuses especially in the other three. The materials depend a lot of the technology used and the design of the system, so is crucial to identify the technology to use for the pressure measuring component and the way the data is going a be acquired and transmitted to the computer.

To do so a lot of research and study is needed by me and those involved in the project.

By the end of the project, I will have a working prototype of an alternative pressure measuring system that can interact with the MediSuite software suite. The price of the system could not exceed those from the solutions in the market. I also will come up with an accurate model to govern the system and the way the information is processed.

FIGURE 1
System Structure Tree

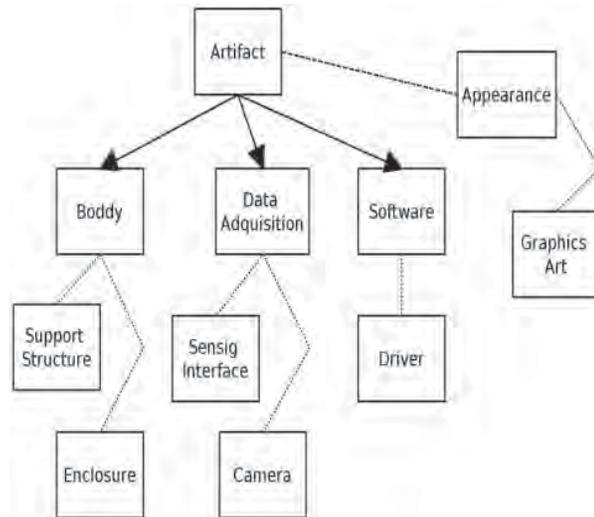
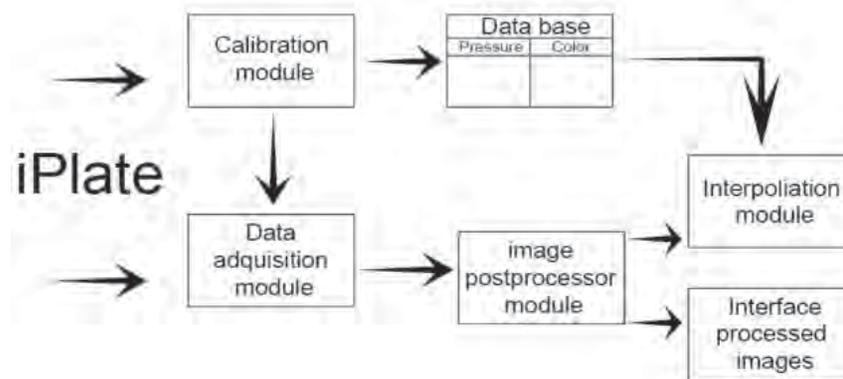


FIGURE 2
DIAGRAM OF THE SOFTWARE Structure



TECHNICAL REQUIREMENTS

After discussing and analyzing our needs and wants, we were able to define the target values of the requirements on this list. This list of technical requirements is to limit the problem and to define measurable characteristics for the artifact to design. These requirements will be analyzed and prioritized to make them a guide for the design process and development.

- Area: about 400mm x 700mm
- Sampling frequency: 20Hz or more
- There should be around 16 sensing points per cm^2
- Price: must be lower than 2000us
- The interface (driver) must be MediSuite compatible.
- USB and/or fire-wire hardware connection
- It should hold up to 300kg
- The system should be scalable
- Due date: November 2007

FIGURE 3
Force Plate Assembly

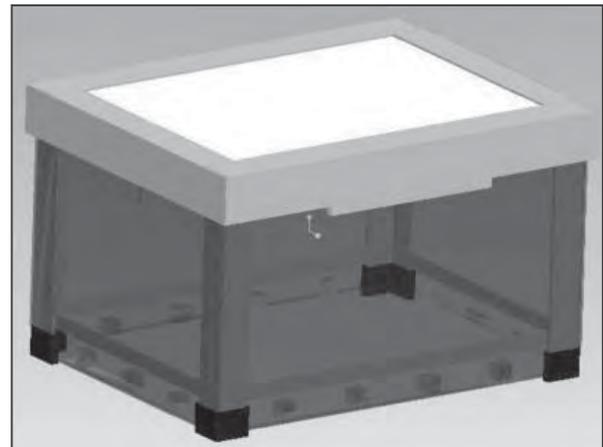


FIGURE 4
Force Plate in Action

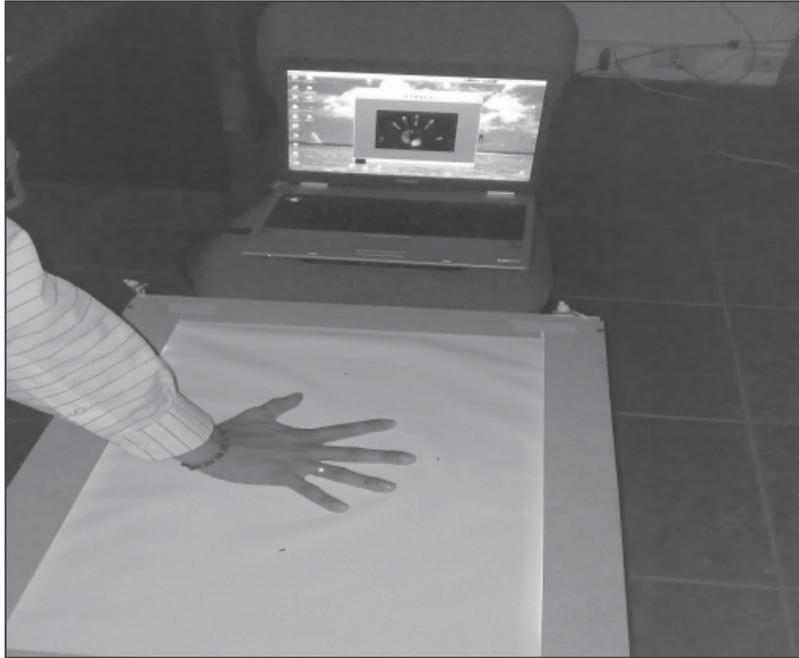
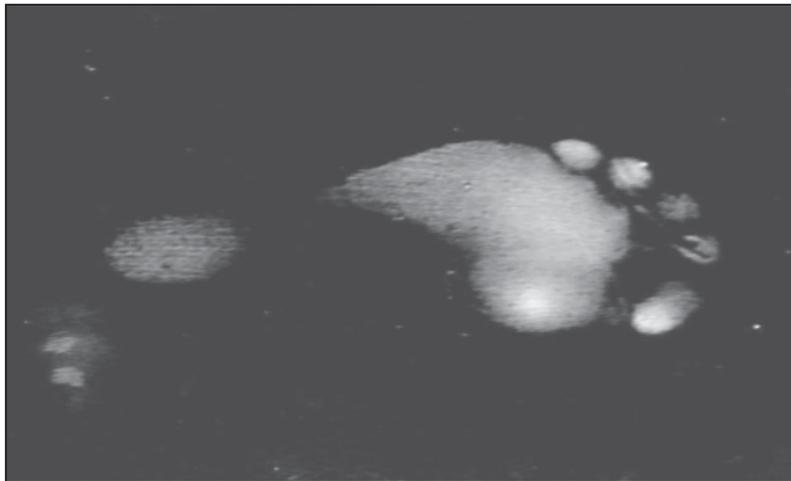


FIGURE 5
One Frame of the Step



APLICACIÓN DE LOS COSTOS DE MANTENIMIENTO EN UNA EMPRESA MANUFACTURERA



SANTIAGO ARCILA RESTREPO

sarcilar@eafit.edu.co

Departamento de Ingeniería Mecánica

SEBASTIÁN VÉLEZ MUÑOZ

svelezmu@eafit.edu.co

Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS

MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

ASESOR PRINCIPAL

JUAN SANTIAGO VALLEJO

RESUMEN

El momento crítico del costeo en las empresas de hoy es cuando se suman los costos de mantenimiento, ya que se deben sumar factores adicionales a repuestos, aceites, herramientas y mano de obra entre otros. El costo de mayor valor para la mayoría de las empresas es la pérdida de producción durante el tiempo que el equipo o la planta están parados por reparación.

El estudio de la contabilidad de costos tiene en cuenta los recursos consumidos para fabricar el bien o prestar el servicio, y suelen clasificarse en grandes agrupaciones, las cuales se detallan a continuación: Material directo, Mano de obra directa, Costos indirectos de fabricación o del servicio.

El mantenimiento tiene dos etapas básicas para la implementación, las cuales están relacionadas con el momento en que se realiza la intervención de mantenimiento del equipo, ya sea antes de ocurrir la falla o después de ocurrir la falla así: preventivo-predictivo y correctivo.

Los costos de la actividad de mantenimiento o costos directos de la misma, están conformados por los costos que implican los siguientes aspectos o factores que en función de la actividad se requieran: mano de obra, materiales, transporte, gastos generales.

Este proyecto es de gran importancia para las empresas que no tienen una buena política de mantenimiento, ya que se muestran indicadores básicos para el costeo y el control, tanto del departamento de mantenimiento como de las diferentes rutinas que allí se ejecutan

ABSTRACT

Today the critical time of costing in enterprises is when combined maintenance costs, and to be adding additional factors to spare parts, oil, tools and labor, among others. The cost of higher value for most companies is the loss of production during the time when the equipment or plant stands for repairs.

The cost accounting study takes into account the resources consumed to produce the product or deliver the service, and tend to fall in large groups, which are discussed below: Direct Material, direct Labor, manufacture or service indirect costs.

The maintenance has two basic implementation steps, which are related to the time it is the equipment maintenance intervention, whether the fault occur before or after the fault occurs: preventive, predictive and corrective.

The maintenance activity costs or direct costs are comprised of the costs involved or the following factors depending on the activity required manpower, materials, transport, overheads.

This project is of great importance for companies that do not have a good policy maintenance, because it shows basic indicators for the costing and control, for the maintenance department and the various routines that there are executed.

PALABRAS CLAVES

Mantenimiento predictivo, Mantenimiento correctivo, Mantenimiento predictivo, Costos de mantenimiento, Costos indirectos, Material directo, Mano de obra directa, Contabilidad, Sistema de costos, Costeo tradicional, Análisis de criticidad.

KEY WORDS

Predictive Maintenance, Corrective Maintenance, Predictive Maintenance, Maintenance costs, Indirect Costs, Direct Material, Manpower direct, Accounting, System Cost, Traditional cost, Criticality Analysis.

INTRODUCCIÓN

El proyecto nace como apoyo al grupo de investigación GEMI de la universidad EAFIT, con el ánimo de aportar algo a la investigación que se realiza en el área de mantenimiento.

Para costear el mantenimiento se recurre al costeo tradicional el cual se basa en las unidades producidas para calcular las tasas de asignación de los costos indirectos. En esta metodología los costos son asignados a los productos en el ámbito de unidades; esto supone que todos los costos dependen del volumen de producción. El principal problema para determinar el costo de los productos en los sistemas de costeo tradicionales es el de la asignación a los productos de los gastos indirectos de fabricación, venta y administración, debido a que los gastos de venta y administración se consideran gastos de periodo y no costos del producto.

La historia muestra una evolución del mantenimiento desde su propia aparición como necesidad en las empresas hasta la creación de un departamento dentro de las mismas, la industrialización y la producción en serie colaboran al surgimiento departamentos dedicados a las labores de mantenimiento que garantizaran el funcionamiento de las máquinas.

El mantenimiento correctivo consiste en reparar las averías a medida que se van produciendo. El personal encargado de avisar las averías es el propio usuario de las máquinas y equipos, y el encargado de realizar las reparaciones es el personal de mantenimiento.

El mantenimiento modificativo es un tipo de mantenimiento en el cual se trata no solo de corregir la falla sino también realizar mejoras al equipo, ya sea para que estas fallas no vuelvan a ocurrir o para incrementar la productividad del equipo.

El mantenimiento preventivo es la ejecución planificada de un sistema de inspecciones periódicas, cíclicas y programadas y de un servicio de trabajos de mantenimiento previsto como necesarios, para aplicar a todas las instalaciones, máquinas o equipos, con el fin de disminuir

los casos de emergencias y permitir un mayor tiempo de operación en forma continúa.

TIPOS DE COSTOS

Costos directos: son todos los que pueden identificarse en la fabricación de un producto terminado, fácilmente se asocian con éste, generalmente los materiales y la mano de obra son los de mayor peso.

Costos indirectos: son aquellos involucrados en la elaboración de un producto, pero no son materiales directos.

Estos se incluyen como parte de los costos indirectos de fabricación.

Costos variables: son aquellos en los que el costo total cambia en proporción directa a los cambios en el volumen, o producción, dentro del rango relevante, en tanto el costo unitario permanece constante.

Costos fijos: son aquellos en los que el costo fijo total permanece constante dentro de un rango relevante de producción, mientras el costo fijo por unidad varía con la producción.

TABLA 1
Costos involucrados en el mantenimiento

Personal	directos	Salarios y comisiones.
	indirectos	Recargos sociales y beneficios (transporte, alimentación, seguro médico, seguro odontológico, habitación, recreación, deportes, auxilios de capacitación, etc.)
	administrativos	Rateo de los gastos de las áreas de recursos humanos y capacitación, en función de la cantidad de empleados del órgano de mantenimiento.
Material	directos	Costos de reposición de material.
	indirectos	Capital inmovilizado, costos de energía eléctrica, almacenaje (instalaciones), agua y personal de depósito.
	administrativos	Rateo de los gastos de las áreas de compra y administración de material, en función del tiempo de ocupación del personal para la atención al área de mantenimiento.
Contratación	directos	Costos de los contratos (permanentes y eventuales.)
	indirectos	Servicios y recursos utilizados por terceros y costeados por la empresa (transporte, alimentación, instalaciones, etc.)
	administrativos	Rateo de los gastos de las áreas de administración de contratos, financiera y contable, en función de la implicación con los contratos del área de mantenimiento.
Depreciación	directos	Costos de reposición.
	indirectos	Capital inmovilizado.
	administrativos	Rateo de los gastos de las áreas de contabilidad, control de patrimonio y compra en el levantamiento, acompañamiento y adquisición de maquinaria y herramientas para el área de mantenimiento.
Pérdida de facturación	directos	Pérdida de producción.
	indirectos	Pérdida de materia prima, pérdida de calidad, devolución y re-proceso.
	administrativos	Rateo de los gastos de las áreas de control de calidad, ventas, marketing y jurídica, en función de la implicación debida a mantenimiento.

Tavares (2005)

MANTENIMIENTOS UTILIZADOS EN LA EMPRESA

Mantenimiento correctivo: es el conjunto de actividades que se deben llevar a cabo cuando un equipo, instrumento o estructura ha tenido una parada forzada o imprevista. Este es el sistema más generalizado, por ser el que menos conocimiento y organización requiere (Alpizar Villegas, 2005).

El mantenimiento correctivo es como su nombre lo dice la corrección de las averías o fallas cuando éstas se presentan. Esta forma de mantenimiento impide el diagnóstico fiable de las causas que provocan la falla, pues se ignora si falla por mal trato, por abandono, por desconocimiento del manejo, por desgaste natural, etc.

El ejemplo de este tipo de mantenimiento correctivo es la habitual reparación urgente tras una avería que obliga a detener el equipo o máquina dañada (SOLOMANTENIMIENTO, 2007).

Mantenimiento modificativo: el mantenimiento modificativo es un tipo de mantenimiento en el cual se trata no solo de corregir la falla sino también realizar mejoras al equipo, ya sea para que estas fallas no vuelvan a ocurrir o para incrementar la productividad del equipo.

El mantenimiento preventivo: es la ejecución planificada de un sistema de inspecciones periódicas, cíclicas y programadas y de un servicio de trabajos de mantenimiento previsto como necesarios, para aplicar a todas las instalaciones, máquinas o equipos, con el fin de disminuir los casos de emergencias y permitir un mayor tiempo de operación en forma continua. (Torres, 131, 2005).

INDICADORES DE MANTENIMIENTO DE LA PLANTA

Relación entre el costo total del mantenimiento y el costo total de la producción.

$$CCMN = \frac{CTMN}{CTPR} \times 100$$

Tavares (2005)

Donde:

CTMN: costo total de la política del mantenimiento.

CTPR: costo total de la producción.

El costo total de la producción incluye: los gastos directos e indirectos de ambos órganos (operación y mantenimiento), incluso la respectiva facturación cesante.

Relación entre los gastos con personal propio y el costo total del área de mantenimiento en el periodo considerado.

$$CRPP = \frac{\sum CMOP}{CTMN} \times 100$$

Tavares (2005)

Donde:

CMOP: costo de mano de obra propia.

CTMN: costo total de la política del mantenimiento.

Relación entre los gastos con material y el costo total del área de mantenimiento en el periodo considerado

$$CRMT = \frac{\sum CMAT}{CTMN} \times 100$$

Tavares (2005)

Donde:

CMAT: costo de materiales.

CTMN: costo total de la política del mantenimiento.

Relación entre el costo total de mantenimiento y la producción total en el periodo considerado. Esta relación es dimensional, ya que el denominador es expresado en unidades de producción (m³, ton., Kw., km. recorridos etc).

$$CMRP = \frac{CTMN}{PRTP} \times 100$$

Tavares (2005)

Donde:

CTMN: costo total de la política del mantenimiento.

PRTP: piezas producidas totales.

Relación entre el capital inmovilizado en repuestos y el capital invertido en equipos. Debe tenerse especial atención en el cálculo de este índice, para considerar los repuestos específicos y parte de los no específicos, utilizados en los equipos bajo la responsabilidad del área de mantenimiento, siendo un índice que generalmente se torna difícil de calcular, debido al establecimiento de esta proporcionalidad.

$$IMRP = \frac{\sum CIRP}{\sum CIEQ} \times 100$$

Tavares (2005)

Donde:

CIRP: capital inmovilizado en repuestos.

CIEQ: capital invertido en equipos.

CÁLCULO DE COSTOS EN EL MANTENIMIENTO CORRECTIVO

El costo directo asociado con cada tarea de mantenimiento correctivo, está relacionado con el costo de los recursos de mantenimiento necesarios para la conclusión con éxito de la tarea. La expresión general del costo de cada tarea de mantenimiento correctivo tendrá la forma siguiente:

$$CTMC = CDMC + CLC$$

Tavares (2005)

Donde:

CTMC: costo total de la política de mantenimiento correctivo

CDMC: costo directo de mantenimiento correctivo.

CLC: costo por lucro cesante

A su vez se tiene:

$$CDMC = MODM + CR + CM + CH$$

Tavares (2005)

Donde:

MODM: es el costo de mano de obra de mantenimiento y surge de multiplicar el total de horas –hombre de mantenimiento correctivo por el costo unitario de la hora- hombre.

CR: es el costo de repuestos utilizado en el momento de las reparaciones.

CM: representa el costo de los materiales e insumos utilizados en mantenimiento.

CH: indica el costo de herramental para mantenimiento.

Por otro lado se tiene que los costos por el lucro cesante obtienen de la siguiente manera:

$$CLC = CO + CI + CDRP$$

Tavares (2005)

Donde:

CLC: costo por lucro cesante.

CO: costo de oportunidad por hora, el cual se interpreta como la utilidad que se deja de percibir por no producir piezas. Este costo se estima por hora.

CI: este costo es denominado costo por incumplimiento y representa el valor de la multa que el cliente cobra a la empresa por no suministrar las piezas, las cuales se deben reponer fuera de la línea de producción. El costo se calcula como la mano de obra necesaria para reponer las piezas fuera de la línea normalmente este costo asciende a un promedio por hora de parada crítica (superior a una hora).

CDRP: este término es denominado costo por deterioro de la producción, representa todas las erogaciones debido a materiales inmovilizados, personal en espera, tiempos necesarios para retomar la marcha de la producción, piezas deterioradas, etc.

CÁLCULO DE COSTOS DE LA POLÍTICA DE MANTENIMIENTO SISTEMÁTICO

Estos costos están compuestos por los costos directos de mantenimiento preventivo y por los costos de mantenimiento correctivo asociados a la confiabilidad que va a existir:

$$CTPM = CDMP + CMC$$

Tavares (2005)

Donde:

CTMP: costo total de la política de mantenimiento preventivo.

CDMP: costo directo de mantenimiento preventivo.

CMC: costo por mantenimiento correctivo.

A su vez se tiene que:

$$CDMP = MOMP + CR + CM + CH + Cstock + CO$$

Tavares (2005)

Donde:

MOMP: es el costo de mano de obra de mantenimiento y surge de multiplicar el total de horas –hombre–.

CR: es el costo de los repuestos cambiados.

CM: representa el costo de los materiales e insumos utilizados en mantenimiento preventivo.

CH: indica el costo de herramienta para mantenimiento preventivo.

CO: costo de oportunidad por parada para mantenimiento preventivo.

Cstock: es el costo de mantener el inventario de repuestos.

Por otro lado se tiene que los costos por lucro cesante se obtienen como un porcentaje del mantenimiento correctivo (Torres, 136,2005).

CÁLCULO DE COSTOS DE LA POLÍTICA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO

Estos costos están compuestos por los costos directos de mantenimiento preventivo y por los costos de mantenimiento correctivo asociados a la confiabilidad que va a existir:

$$CTPM = CDMP + CMC$$

Donde:

CTMP: costo total de la política de mantenimiento predictivo.

CDMP: costo directo de mantenimiento predictivo.

CMC: costo por mantenimiento correctivo.

A su vez se tiene que:

$$CDMP = MOMP + CM + CH$$

Tavares (2005)

Donde:

MOMP: es el costo de mano de obra de mantenimiento y surge de multiplicar el total de horas hombre utilizadas en la operación de instrumentos.

CM: representa el costo de los materiales e insumos utilizados en mantenimiento predictivo.

CH: indica el costo de herramienta para mantenimiento predictivo.

CÁLCULO DE COSTOS DE LA POLÍTICA DE MANTENIMIENTO MODIFICATIVO

El mantenimiento modificativo es difícil de calcular ya que depende directamente de la mejora a realizarse; normalmente estas mejoras están presupuestadas cuando son muy grandes y merecen el aval de parte de producción, calidad y por supuesto mantenimiento.

CONCLUSIONES

La finalidad básica de una gestión de costos es estimular la optimización del uso de mano de obra, materiales, tiempo de paro; estableciendo metas con diferentes puntos de comparación, que dan puntos de equilibrio entre un beneficio potencial y el costo de mantenimiento.

En este ejemplo los costos del mantenimiento correctivo son inferiores a los costos del preventivo, esto no debe sorprender ya que un correctivo es un gasto que se debe disminuir al máximo ya que con la implementación de un buen plan de preventivos, se debe eliminar las paradas no programadas de la máquina.

Los costos más altos que tiene el mantenimiento, no es tanto las labores aplicadas a la máquina, los mayores costos están en el paro de la máquina, y la falta de producción, estos valores muchas veces no son tenidos en cuenta en los indicadores del mantenimiento.

La coordinación en la planificación de la producción, la estrategia de mantenimiento, la adquisición de repuestos, la programación de servicios y el flujo de información entre estos subsistemas, eliminan los conflictos en la obtención de metas. Altas disponibilidades e índices de utilización; el aumento de la confiabilidad, el bajo costo de producción como resultado del mantenimiento optimizado, la gestión de repuestos y la alta calidad de los productos son metas que pueden ser alcanzadas solamente cuando operación y mantenimiento trabajan juntos.

BIBLIOGRAFÍA

ALPÍZAR VILLEGAS, Emilio. Tratamiento de agua para consumo humano Plantas de filtración rápida Manual IV: Operación, mantenimiento y control de calidad. Costa Rica: CEPIS, 2005.

DURAN, José; PERDOMO, José y SOJO, Luís. Aplicación de la Técnica "Optimización Costo-Riesgo". Venezuela: The Woodhouse Partnership LTD 2004.

MENDOZA CASTAÑÓN, Marina *et al.* Diferencia entre costeo convencional y costeo marginal y su aplicación en situaciones de producción. México: 2005.

PÉREZ BARRAL, Osmany; BAUJÍN PÉREZ, Pilarín y JOSHUA CHILALA, Chipo. Estudios relacionados con el sistema de costos basado en actividades. Cuba: Universidad de Matanzas, 2003.

PÉREZ JARAMILLO, Carlos Mario. Los costos en la función de mantenimiento. Colombia: Soporte & Cia Ltda, 2006.

TAVARES, Lourival. Administración moderna del mantenimiento Brasil: 2005.

TORRES, Leandro Daniel. Mantenimiento su implementación y gestión. Argent: Ed. Universitas, 2005.

TORRES, Leandro Daniel. Logística de mantenimiento. Argentina: Ed Instituto universitario aeronáutico, 2000.

WIDMAN, Richard. Mantenimiento proactivo: la reducción en el presupuesto de mantenimiento. Bolivia: Widman international s.r.l, 2004.

EIPrisma@ ELPRISMA [en línea]. [Citado el 25 de mayo de 2007] Disponible en Internet: www.elprisma.com/apuntes/ingenieria_mecanica/mantenimientopredictivo/

UNR@ UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ROSARIO [en línea][Citado el 17 de agosto de 2007]. Disponible en Internet: <http://www.eie.fceia.unr.edu.ar/>

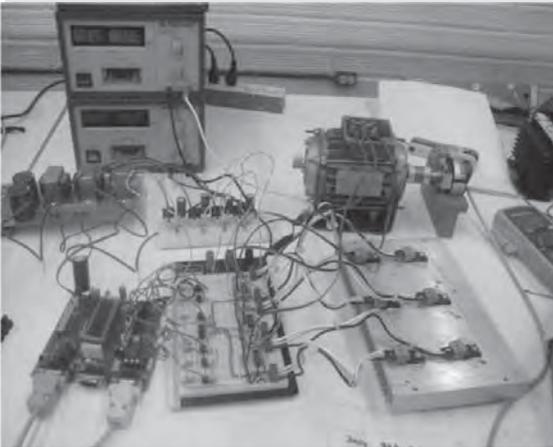
Gestiopolis@ GESTIOPOLIS [en línea]. [Citado el 20 de mayo de 2007] Disponible en Internet: <http://www.gestiopolis.com/recursos/documentos/fulldocs/fin/costosdirmaria.htm>

MaintenanceTechnology@ MAINTENANCE TECHNOLOGY MAGAZINE [en línea] [Citado el 4 de abril de 2007]. Disponible en Internet: <http://www.mt-online.com/articles/09-00mm.cfm>

Solomantenimiento@ SOLOMANTENIMIENTO [en línea]. [Citado el 6 de mayo de 2007] Disponible en Internet: <http://www.solomantenimiento.com>

UdeA@ UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA [en línea] [Citado el 4 de abril de 2007]. Disponible en Internet: <http://docencia.udea.edu.co/economia/costos/conceptos/>

DESARROLLO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CONTROL DE POSICIÓN DE LAZO ABIERTO PARA UN MOTOR TRIFÁSICO



JAIME EDUARDO FAJARDO ROJAS

jfajard1@eafit.edu.co

Departamento de Ingeniería Mecánica

DANIEL VELÁSQUEZ JARAMILLO

dvelasq6@eafit.edu.co

Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS

DISEÑO DE SISTEMAS TÉCNICOS

ASESOR PRINCIPAL

ALEJANDRO VELÁSQUEZ

RESUMEN

El propósito de este proyecto es diseñar y construir un control de posición de lazo abierto para un motor trifásico por medio de un puente hexafásico empleando elementos electrónicos como microcontroladores e integrados que permiten darle un alto grado de inteligencia y que sea controlado desde el software LabView.

ABSTRACT

The purpose of this project is to design and build an open loop position control for a three-phase motor through a six-phase bridge using electronic elements like microcontrollers and drivers enabling give it a high degree of intelligence and controlled from the LabView software.

PALABRAS CLAVES

Motor trifásico, control de lazo abierto, microcontrolador, integrado, puente hexafásico.

KEY WORDS

Three-phase motor, open loop control, microcontroller, driver, six-phase bridge.

INTRODUCCIÓN

El control es una parte fundamental en los procesos industriales. La temperatura, la presión, el caudal, la corriente, la velocidad, la conductividad, entre otras, son variables que deben ser controladas para asegurar el éxito de los procesos dentro de una empresa.

La búsqueda de eficiencia, diferenciación y bajos costos de producción han llevado a las empresas a buscar sistemas precisos, en donde los procesos sean controlados de forma automática.

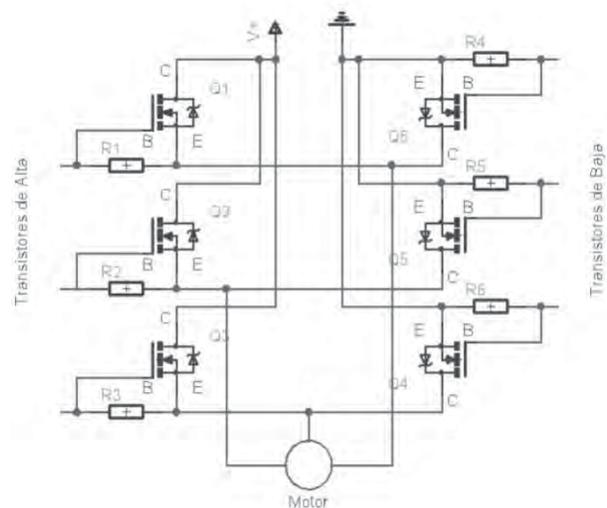
El proyecto pretende desarrollar un sistema de control de lazo abierto para motores trifásicos el cual se podrá convertir en una alternativa para operar mecanismos que utilizan principios de rotación y que en la actualidad son manipulados de forma manual.

PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

Para energizar las bobinas del motor se diseñó un arreglo tipo puente hexafásico compuesto por seis transistores de potencia los cuales son accionados mediante la secuencia enviada desde el PIC¹.

El arreglo consiste en tres Mosfet de alta y tres de baja los cuales actúan por parejas y se combinan de manera alternada, uno de alta con uno de baja, para energizar una de las bobinas del motor positivamente y otra negativamente.

FIGURA 1
Plano esquemático del puente hexafásico



HARDWARE DE CONTROL

Para controlar el movimiento del motor y el envío y recepción de datos se seleccionó el PIC 18F4431, dispositivo especial para implementación de aplicaciones que involucren control de movimiento con pines preconfigurados para manejo de PWM y recepción de datos de encoder.

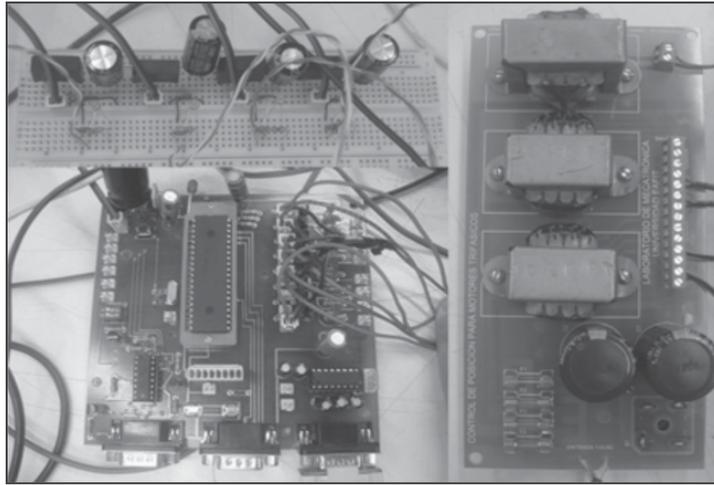
La conexión con el computador se hizo mediante el puerto serial con la ayuda del circuito integrado MAX 232 que permite establecer la comunicación por medio del protocolo RS232 entre el computador y el microcontrolador.

Además se diseñó una tarjeta de potencia que se encarga de recibir una alimentación de 110V AC que proviene de la línea de servicios públicos y la transforma a través de unos transformadores en los diferentes voltajes de alimentación que requieren las tarjetas para su funcionamiento.

Como complemento a la tarjeta de potencia se creó una tarjeta de potencia secundaria la cual convierte las señales que salen de la tarjeta de potencia que son de AC en DC para alimentar a las tarjetas que así lo requieran.

¹ PIC, familia de microcontroladores fabricados por Microchip Technology Inc

FIGURA 2
Hardware de control



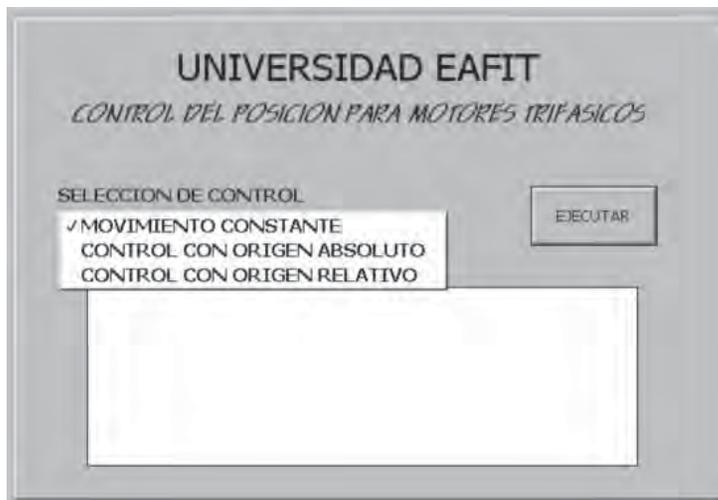
DESARROLLO DEL SOFTWARE DE CONTROL

Todo el software empleado en el proyecto fue diseñado en LabView 5.1 con las licencias de los computadores del laboratorio de mecatrónica de la Universidad EAFIT.

El software esta compuesto por un menú inicial que brinda al usuario la posibilidad de entrar a tres subprogramas que permiten controlar el motor en diferentes formas:

- Movimiento constante
- Control absoluto
- Control relativo

FIGURA 3
Programa de inicio



El subprograma “movimiento constante” hace que el motor gire indefinidamente dándole al usuario la opción de escoger el sentido de giro, el cual puede invertirse en cualquier momento si así lo requiere.

FIGURA 4
Programa para control de dirección



El subprograma “control absoluto” restringe el movimiento a una sola vuelta, permitiéndole al usuario un control de 360° sobre el movimiento del motor. El programa identifica cuantos pulsos hay que enviarle al motor y en que sentido tiene que girar para ir a la posición deseada por el usuario.

FIGURA 5
Programa para control de posición absoluto



El subprograma “control relativo” identifica la posición en la que se encuentra el motor y a partir de esta permite moverse en el sentido de giro que se quiera los grados deseados y así sucesivamente, es decir, cada nueva posición será un nuevo punto de referencia para el movimiento siguiente.

FIGURA 6
Programa control de posición relativo



RESULTADOS OBTENIDOS

Finalmente se hizo una prueba donde se le dieron varias órdenes al motor para verificar qué tan preciso era el control de posición. Con un avance de 1.43 grados por pulso se tomaron los siguientes datos.

TABLA 1
Prueba en el sentido de giro horario

Sentido de giro horario						
Delay	Posición inicial	Posición deseada	Posición final	Pulsos	Grados/Pulso	Error
30	358,51	331	330,39	20	1,406	0,61
30	330,39	302	301,9	20	1,4245	0,1
30	301,9	274	273,43	20	1,4235	0,57
30	273,43	246	245,13	20	1,415	0,87
30	216,74	147	145,9	50	1,4168	1,1
30	145,9	76	75,15	50	1,415	0,85
30	75,15	5	4,31	50	1,4168	0,69
30	349,89	209	208,21	100	1,4168	0,79
30	208,21	67	66,36	100	1,4185	0,64

TABLA 2
Prueba en el sentido de giro antihorario

Sentido de giro antihorario						
Delay	Posición inicial	Posición deseada	Posición final	Pulsos	Grados/Pulso	Error
30	0,7	30	28,92	20	1,411	1,08
30	28,92	58	57,3	20	1,419	0,7
30	57,3	87	85,78	20	1,424	1,22
30	85,78	115	114,35	20	1,4285	0,65
30	114,35	186	185,54	50	1,4238	0,46
30	185,54	257	256,82	50	1,4256	0,18
30	256,82	328	327,92	50	1,422	0,08
30	9,49	152	151,44	100	1,4195	0,56
30	151,44	294	293,91	100	1,4247	0,09

La prueba muestra un control de posición muy preciso en donde el error nunca supera 1.43 grados valor equivalente a la resolución.

CONCLUSIONES

El control de secuencia desde el software es una limitante para este tipo de desarrollos ya que la velocidad con la que puede procesar la memoria RAM del computador puede ser ampliamente superada por los microcontroladores o microprocesadores.

Si las señales se envían muy rápido desde el microcontrolador, la velocidad con las que son enviados los pulsos supera la velocidad de carga de las bobinas

El control de posición del motor se logra energizando secuencialmente cada una de las bobinas del motor dejando energizada la última bobina a fin de detener el motor y contrarrestar la inercia del mismo.

Se pueden presentar inconvenientes al cambiar el sentido de giro del motor. Para hacer este cambio correctamente no basta con cambiar la polaridad de corriente como se haría normalmente en un motor de corriente directa.

A pesar que la programación de microcontroladores es de bajo nivel y la programación de software es de alto nivel, es importante que este tipo de desarrollos sean programados en su mayor porcentaje en microcontroladores o micro-

procesadores para tener dispositivos autónomos y eficientes.

Este trabajo es un punto de partida desde el cual pueden surgir mejoras y así desarrollar un dispositivo para controlar movimiento en motores trifásicos que sea factible comercializarlo debido a su bajo costo, característica que lo haría atractivo para las empresas nacionales.

BIBLIOGRAFÍA

AN899@ Microchip Technology Inc. 2007. [En línea]. [Citado el 03 de octubre de 2007]. Disponible en Internet en: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/00899a.pdf>

CUENCA, Martín. Microcontroladores PIC. 2 edición. Madrid, España: Editorial Paraninfo, 1998. ISBN: 8497321995.

DORF, Richard. Circuitos eléctricos. 5 edición. México: Alfa omega. 2003. ISBN 970-15-0855-6.

Fairchild@ Fairchild Semiconductor. 2007. [En línea]. [Citado el 25 de septiembre de 2007]. Disponible en Internet en: <http://www.fairchildsemi.com/ds/FS/FSAM30SH60A.pdf>

JOHNSON, G. W. LabView power programming. 1 edición. USA: McGraw Hill. 1998. ISBN 0-07-913666-4.

KUO, BENJAMÍN C. Sistemas de control digital. 1 edición. México: Compañía editorial continental, 1997. ISBN 9682612926.

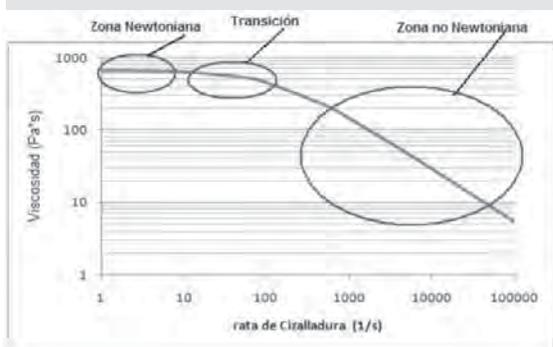
LÁZARO, Antonio Manuel. LabVIEW Programación grafica para el control de instrumentación. 1 edición. Madrid, España: Editorial Paraninfo, 1997. ISBN: 84-283-2339-9.

MALONEY, Timonthy J. Electrónica Industrial Moderna. 3 edición. Naucalpan, México: Prentice Hall, 1997. p 303-310. ISBN: 9702606691.

OGATA, Katsuhiko. Ingeniería de Control Moderna. 2 edición. Buenos Aires, Argentina: Prentice Hall, 1993. p 3-7. ISBN, 8420536784.

PIC@ Microchip Technology Inc. 2007. [En línea]. [Citado el 04 de octubre de 2007]. Disponible en Internet en: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39616C.pdf>

SISTEMATIZACIÓN DEL PROCESO DE MEDICIONES REOMÉTRICAS DE POLÍMEROS



JORGE IVÁN VILLEGAS CARDONA
Jvilleg9@eafit.edu.co
Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS
PLÁSTICOS

ASESOR PRINCIPAL
JUAN DIEGO SIERRA

SECTOR BENEFICIADO
INSTITUTO DE CAPACITACIÓN E
INVESTIGACIÓN DEL PLÁSTICO Y EL CAUCHO
(ICIPC)

RESUMEN

Este artículo muestra el desarrollo de una herramienta que le permite al ICIPC sistematizar su proceso de obtención de información reológica, además de la implementación del modelo de 5 parámetros de CARREAU-Yasuda al software MATPLAST® del ICIPC y el estudio de la viscosidad elongacional, la primera diferencia de esfuerzos normales y la dependencia de la viscosidad con la presión.

ABSTRACT

This article shows the development of a tool that allows the ICIPC to make its rheology process automatic. Besides shows the implementation of the 5 parameter Carreau Yasuda model in the MATPLAST® software and the study of first normal stress difference, elongational viscosity and the dependence of viscosity with pressure.

PALABRAS CLAVE

Viscosidad, sistematización, Carreau, Polímero, Viscoelasticidad.

KEY WORDS

Viscosity, Systematization, Carreau, Polymer, Viscoelasticity.

INTRODUCCIÓN

El ICIPC usa su programa comercial MATPLAST® para ajustar un modelo a la curva de viscosidad. Este ajusta la curva usando el modelo de Carreau de 3 parámetros que permite describir tanto la zona newtoniana como la zona pseudoplástica, pero no tiene información de la zona de transición. El modelo de Carreau de 3 parámetros puede presentar errores al estimar la viscosidad nula, por eso el ICIPC desea desarrollar una herramienta que permita estimar la curva de viscosidad usando los 5 parámetros de la ecuación de Carreau-Yasuda que permite una mejor estimación tanto de la viscosidad nula como la viscosidad infinita.

El proyecto es importante para el ICIPC porque le da una herramienta que permite sistematizar su metodología actual para la obtención de información reológica de los polímeros, disminuyendo así la posibilidad de errores y mejorando la eficiencia en el proceso; además le permite usar su reómetro capilar para obtener información como la primera diferencia de esfuerzos, viscosidad elongacional y la dependencia de la viscosidad con la presión.

DESARROLLO

Implementar el modelo de Carreau Yasuda de 5 parámetros en MATPLAST®

Entre los diferentes modelos que describen el comportamiento de la viscosidad, existe el modelo de Carreau-Yasuda que describe todos los diferentes rangos de la curva. El modelo matemático consta de 5 parámetros:

$$\frac{\eta - \eta_{\infty}}{\eta_0 - \eta_{\infty}} = \left[1 + \left(B^* \dot{\gamma} \right)^a \right]^{\frac{n-1}{a}}$$

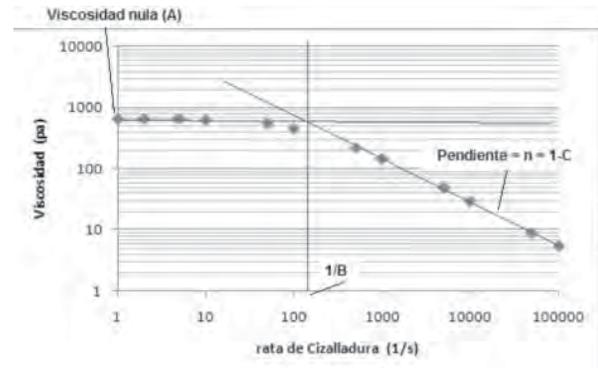
La viscosidad infinita toma valores muy cercanos a ceros, por lo que se puede asumir como 0 y el valor de a se puede hacer igual a 1 que describe una transición genérica. Con esta serie de simplificaciones se obtiene el modelo de Carreau de 3 parámetros que es el modelo más usado en la actualidad:

$$\eta = A^* \left[1 + \left(B^* \dot{\gamma} \right)^a \right]^{\frac{n-1}{a}}$$

En la (Figura 1) se observa la relación de los parámetros del modelo con la curva de viscosidad.

FIGURA 1

Relación de los parámetros de Carreau, LDPE a 190°C



Para la parte reológica, MATPLAST® permite estimar los parámetros del modelo de Carreau y ley de potencias. MATPLAST® emplea un algoritmo llamado “Simulated Annealing” para obtener la solución al modelo. El SA o Simulated Annealing es un meta-algoritmo probabilístico que permite obtener una buena aproximación cuando se tiene un dominio o espacio de búsqueda muy grande.

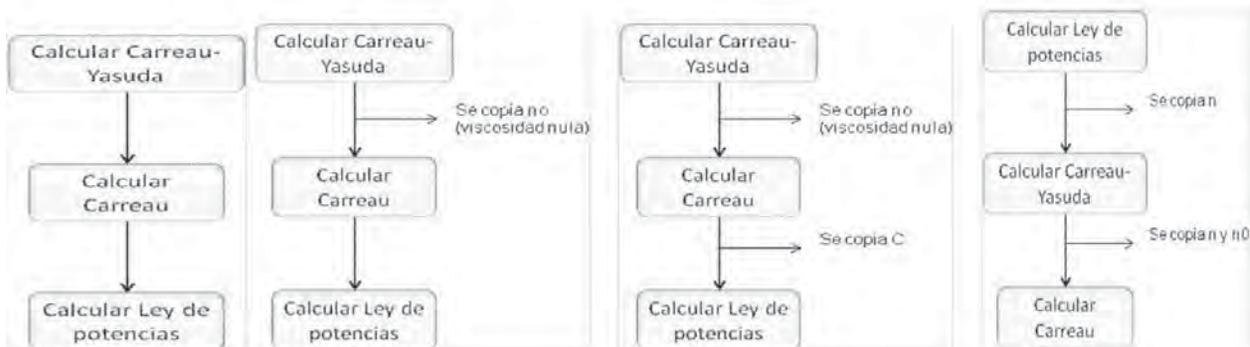
La metodología actual de MATPLAST® consiste en hallar primero los 3 parámetros del modelo de Carreau, luego obtener los coeficientes de la corrección por temperatura y así obtener el modelo completo. Luego se procede a identificar el parámetro m (índice de consistencia) ya que el parámetro n se copia del modelo de Carreau ya que C=n-1

Para el desarrollo se realizaron varias propuestas empezando por hallar los parámetros del modelo de Carreau de 5 parámetros, pero se observó que algunas veces el SA lleva el valor de n (pendiente de la zona no Newtoniana) muy cercano a 0, y al mismo tiempo modifica

1 Nota: El esquema de nombre de variables será usado así en todo el desarrollo del documento

el valor de a (transición en el modelo de Carreau-Yasuda), que contiene información de la transición. Por esto en la propuesta definitiva se empieza primero estimando el valor de n para así copiarlo directamente al modelo de Carreau Yasuda y estimar los demás valores (Figura 2).

FIGURA 2
Esquemas de las diferentes propuestas



Esto sucede porque el desfase de n (pendiente de la zona no Newtoniana) se puede compensar variando a (transición en el modelo de Carreau-Yasuda) o viceversa, lo que dan infinitas combinaciones. Y se observó que este comportamiento sucede cuando los datos experimentales están incompletos o no tienen la suficiente información de las zonas.

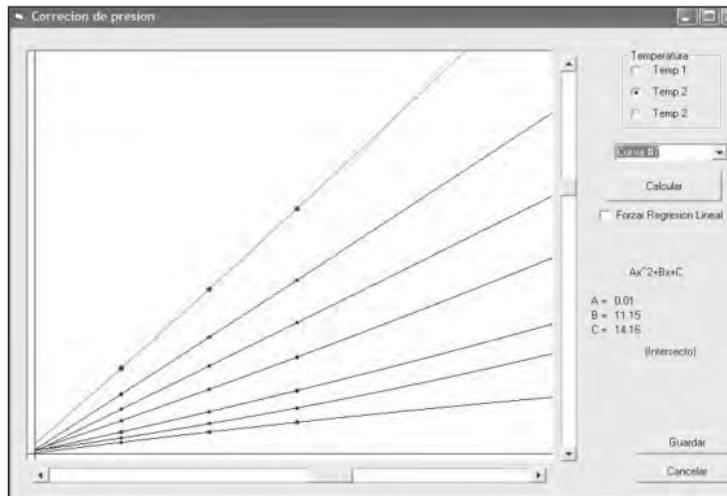
Esta metodología da un ajuste con un error menor y asegura un resultado más confiable cuando los datos experimentales no tienen muy bien definida la transición de la zona newtoniana a la no newtoniana.

DESARROLLAR SOFTWARE PARA AUTOMATIZAR PROCESO DE OBTENCIÓN DE INFORMACIÓN REOLÓGICA

El programa está diseñado con el fin de ir guiando al usuario a través de los diferentes procedimientos. Visualmente está estructurado con tabs que se van activando a medida que se van realizando las correcciones hasta llegar al tab final donde se le muestra al usuario la información obtenida.

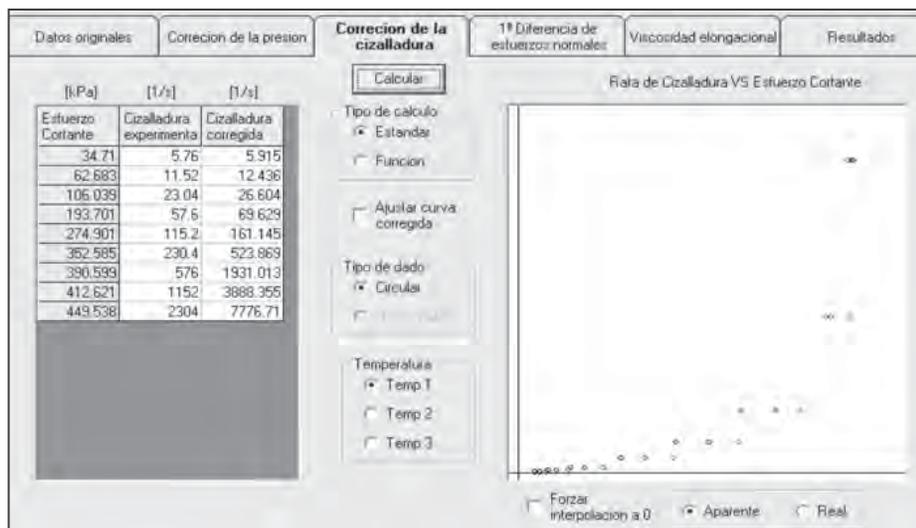
El primer paso que se debe realizar después de cargar los datos, es la corrección de Bagley. En esta ventana la persona puede observar la gráfica de la caída de presión vs la relación L/D como se menciona en las gráficas anteriores.

FIGURA 3
Corrección de Bagley



La segunda corrección necesaria es la de Weissenberg Rabinowitsch. En esta parte el programa le muestra al usuario una gráfica en escala logarítmica de la tasa de cizalladura vs. esfuerzo cortante. El programa le permite realizar al usuario la corrección de dos maneras. Por medio de la derivada de una función o por la pendiente del punto anterior o siguiente.

FIGURA 4
Corrección de Weissenberg Rabinowitsch



Esta es la ecuación para corregir la tasa de cizalladura en datos circulares:

$$\gamma_w = \frac{3}{4} \cdot \gamma_{wap} + \frac{1}{4} \cdot \tau_w \cdot \frac{d\gamma_{wap}}{d\tau_w}$$

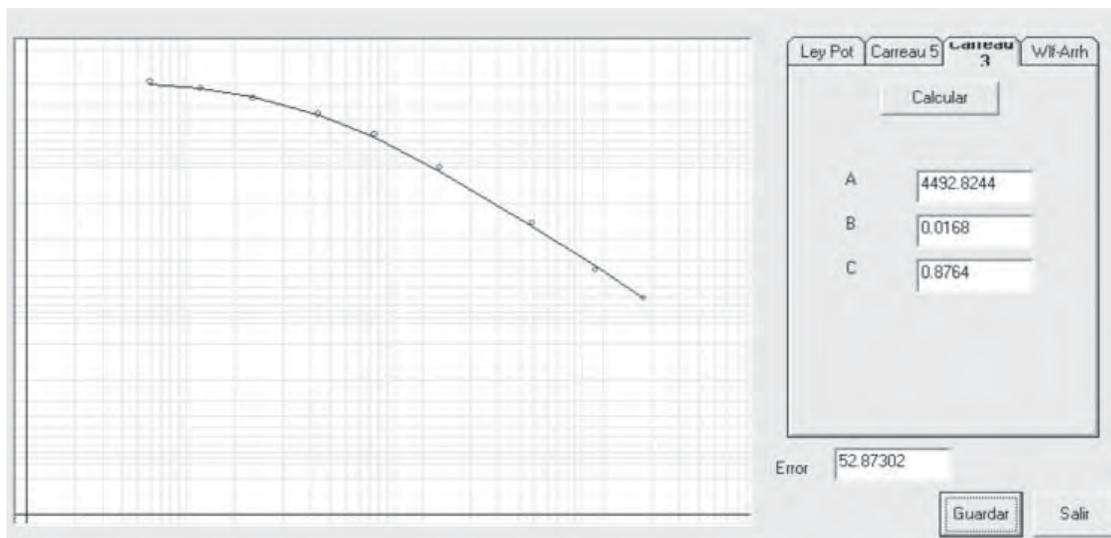
y para datos rectangulares es la siguiente:

$$\gamma_w = \frac{2}{3} \cdot \gamma_{wap} + \frac{1}{3} \cdot \tau_w \cdot \frac{d\gamma_{wap}}{d\tau_w}$$

Se puede observar que el último término es la derivada de la tasa de cizalladura con respecto al esfuerzo y se puede obtener de dos maneras. La primera es si se tiene la ecuación y simplemente se deriva esa función y se reemplaza el valor. Otra forma de obtener es hallando la pendiente que hay entre el punto anterior y el siguiente.

También se encuentra una ventana donde se va almacenando un registro de todas las acciones realizadas por el usuario, con el fin de visualizar si hubo algún error en alguna de las correcciones y tener un historial de las acciones tomadas. Ya por último se puede proceder a obtener la curva de viscosidad (Figura 5), siguiendo los mismos pasos usados para obtener el modelo de Carreau Yasuda en el MATPLAST®

FIGURA 5
Ajuste del modelo de viscosidad

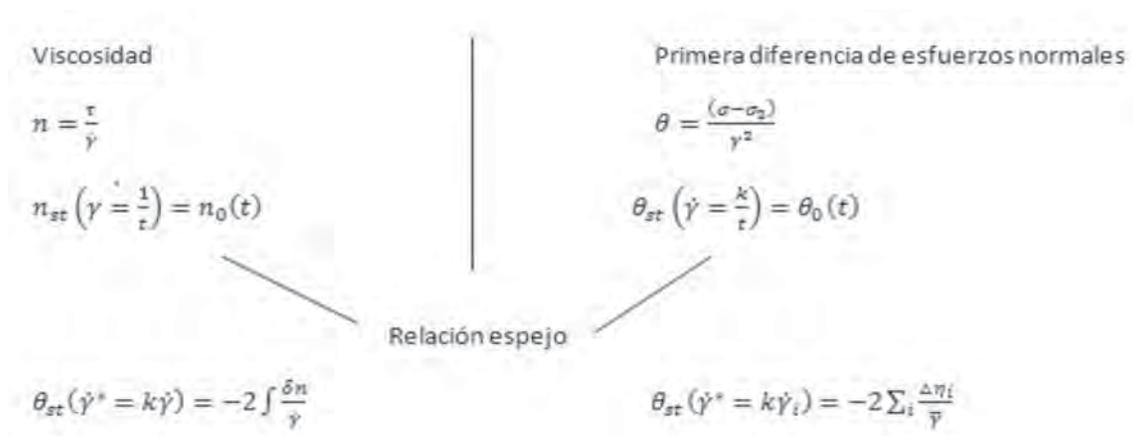


PRIMERA DIFERENCIA DE ESFUERZOS NORMALES

En el flujo de polímeros fundidos, no solo se encuentran esfuerzos cortantes, sino también esfuerzos normales que son consecuencia de la viscoelasticidad del material, que algunas veces puede ser hasta mayor que el esfuerzo cortante, y por esto es una variable que no se puede obviar.

Normalmente se hacen las mediciones de la diferencia de esfuerzos normales en reómetros de cono y plato, pero es difícil obtener medición a altas tasas de cizalladura. No fue hasta 1980, cuando W. Gleissle desarrolló un modelo matemático en donde relacionaba la función de viscosidad con la diferencia de esfuerzos, por medio de una relación espejo, esto permitió el uso de reómetros capilares, que permiten medir la primera diferencia de esfuerzos normales a mayores tasas de cizalladura. A partir de varios experimentos demostró que el primer coeficiente de esfuerzo normal presenta un comportamiento muy parecido al comportamiento de la viscosidad. La ley de flujo plantea que debido al comportamiento elástico del material se presenta un cambio de la viscosidad inverso al cambio de la tasa de cizalladura. En la (Figura 6) se muestra el resumen de la relación de espejo obtenida por Gleissle:

FIGURA 6
Relación espejo de Gleissle

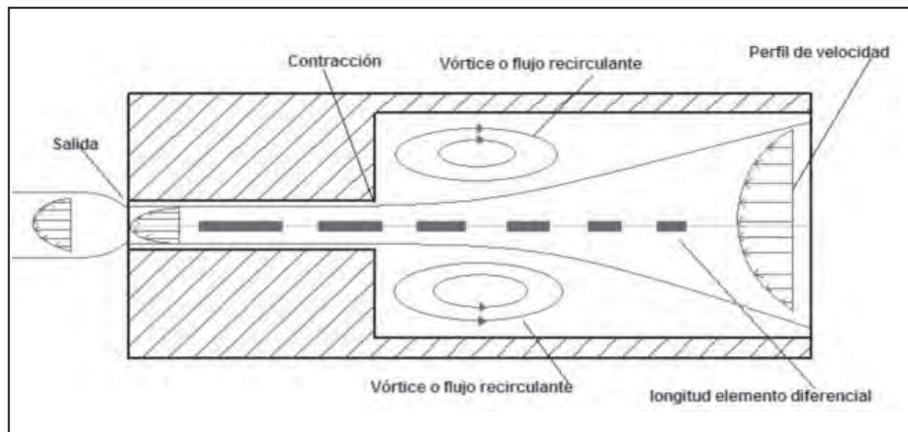


Teniendo esta relación espejo de Gleissle se puede calcular θ directamente de la función de viscosidad. Teniendo ya la ecuación que relaciona la función de viscosidad y el coeficiente θ , se puede continuar a solucionar la integral. Para solucionar la integral, Gleissle propone convertirla en una suma de diferenciales finitos. A partir de esta tabla, el ICIPC desarrolló una hoja de cálculo en Excel para calcular esta propiedad basándose en esta misma tabla, se generó el algoritmo para implementarla en la herramienta y así permitir integrarla al proceso.

VISCOSIDAD ELONGACIONAL

También es posible usar la información obtenida con un reómetro capilar. Cuando un fundido polimérico se encuentra con un cambio de diámetro muy abrupto, se generan vórtices de recirculación en los extremos, además que en los elementos del centro, se presentan deformaciones elongacionales. Todos estos fenómenos disipan energía y por consiguiente contribuyen a la caída de presión en el orificio de la boquilla de salida del capilar.

FIGURA 7
Flujos elongacionales



Cogswell en sus estudios (COGSWELL, 1972), separa esta caída de presión en dos expresiones, una para la viscosidad de cizalladura y otra para la de viscosidad elongacional y obtiene la siguiente expresión para obtener la viscosidad elongacional en función del índice de potencias, la rata de cizalladura, el esfuerzo cortante y la caída de presión a la entrada del capilar.

$$\bar{\eta} = \frac{-(\tau_{11} - \tau_{22})}{\dot{\epsilon}_0} = \frac{9(n+1)^2 \Delta p_{ent}^2}{32 * \tau_r * \dot{\gamma}_a}$$

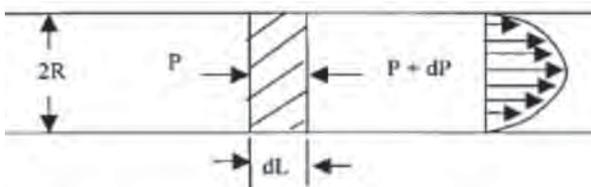
DEPENDENCIA DE LA VISCOSIDAD CON LA PRESIÓN

La viscosidad no solo depende de la temperatura, la presión también juega un papel importante en la función de la viscosidad. Esta dependencia de la presión se puede observar en dos situaciones. La primera es al realizar la corrección de Bagley. En la gráfica de pérdida de presión vs. la relación L/D, se puede observar una tendencia cuadrática de los puntos.

Se encontró una metodología para hallar el coeficiente α , que fue propuesta por J.Z. Liang en donde asumiendo que el fluido presenta un comportamiento de ley de potencia, y tomando un diferencial de longitud en la longitud del capilar (Figura 8) deducen la siguiente expresión:

$$\pi * R^2 * dP = \pi * R * \tau_w * dL \quad (1).$$

FIGURA 8
Diferencial de longitud en el capilar



(LIANG, 2001)

Partiendo de una serie de supuestos, obtiene la siguiente expresión para definir el coeficiente de la dependencia de la viscosidad con la presión:

$$\beta = \frac{C_1 - C_2}{C_2 * Pm_1 - C_1 * Pm_2}$$

en donde

$$C_1 = \frac{L_1 - L_2}{L_1 - L_3}$$

$$C_2 = \frac{P_1 - P_2}{P_1 - P_3}$$

$$Pm_1 = \frac{P_1 - P_2}{2}$$

Primero se desarrolló y validó el modelo en una hoja de cálculo de Excel para revisar el modelo, y luego a partir de la tabla en Excel se implementó en el software y se verificaron los resultados con la hoja de Excel.

Debido a que es un tema con poca bibliografía en la literatura, no se pudo realizar su validación, el modelo queda implementado en la herramienta, pero se le advierte al usuario que los resultados obtenidos con dicho modelo pueden no ser confiables. Queda para desarrollos futuros la validación de tal modelo con otras metodologías que sugieren construcción de datos capilares especiales para dicha medición.

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Para validar el modelo de Carreau Yasuda se usó los valores obtenidos por el fabricante del DURETAN® A 30 y se obtuvo la siguiente información:

	Datos del Fabricante		Datos obtenidos Carreau-Yasuda		Datos obtenidos Carreau
A	105.97	A	105.983	A	106.63
B	0.001579	B	0.0016	B	0.0016
C	0.4544	C	0.4542	C	0.4535

Rata de Cizalladura	Viscosidad (fabricante)	Viscosidad (Carreau - Yasuda)	Viscosidad (Carreau)	Error porcentual (Carreau-Yasuda)	Error porcentual (Carreau)
1/s	Pa*s				
40	103.062	103.039	103.672	0.02%	0.59%
60	101.7	101.662	102.288	0.04%	0.58%
80	100.394	100.341	100.962	0.05%	0.57%
100	99.14	99.074	99.689	0.07%	0.55%
200	93.546	93.427	94.015	0.13%	0.50%
400	84.834	84.656	85.202	0.21%	0.43%
600	78.281	78.072	78.585	0.27%	0.39%
800	73.113	72.889	73.376	0.31%	0.36%
1000	68.9	68.669	69.134	0.34%	0.34%
2000	55.458	55.228	55.621	0.41%	0.29%
4000	42.9	42.701	43.021	0.46%	0.28%
6000	36.445	36.27	36.551	0.48%	0.29%
8000	32.332	32.174	32.43	0.49%	0.30%
10000	29.412	29.266	29.503	0.50%	0.31%
20000	21.762	21.654	21.839	0.50%	0.35%
40000	15.994	15.915	16.059	0.49%	0.41%
Error porcentual				0.30%	0.41%

De los resultados se observa que no solo predice la viscosidad nula mucho mejor, sino que presenta un error porcentual menor debido a que el modelo describe todo el rango de viscosidad con mayor precisión.

Al finalizar el proyecto, los resultados son la modificación al algoritmo del software comercial del ICIPC permitiéndole realizar el ajuste de las curvas de viscosidad con el modelo de Carreau de 5 parámetros, y Un software programado en Visual Basic que permite automatizar el proceso de obtención de información reológica de los polímeros realizados en el ICIPC. Éste último lee los archivos entregados por el reómetro Göttfert 2000 y realiza todas las correcciones hasta entregar los resultados en una hoja de Excel. Este proceso normalmente le toma a la persona de 2 a 3 horas en promedio, mientras que usando el software le puede tomar entre 15 y 20 minutos realizar todo el proceso.

BIBLIOGRAFÍA

CARREAU, Pierre. "Rheology of Polymeric Systems". Hanser Publishers. Canada 1997, ISBN 1-56990-218-6

COGSWELL, F.N, "Converging flow of polymer melts in extrusion dies", Polymer Engineering and Science, Vol 12, ISSN 0032-3888, 1972

FEIGL, K. "A numerical study of the measurement of elongational viscosity of polymeric fluids in a semihyperbolically converging die". Universidad de Tenesse. Julio 2003. TN 37996-2000

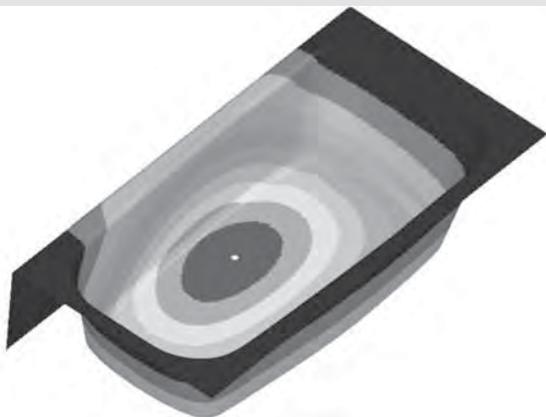
LIANG, J.c, "Pressure effect of viscosity for polymer Fluids in die Flow", en Polymer, Vol 42 Issue 8, ISSN 0014-3057, China 2001

MACOSKO, Christopher. "RHEOLOGY, Principles, measurements and applications". VCH publisher. USA 1994. ISBN 1-56081-579-5

PAHL, M, GIEISSLE, W, LAUN, H. "Praktische rheologie der Kunststoffe un elastomere", VDI Gesellschaft Kunststofftechnik, Alemania 1995, ISBN 3-18-234192-8

KAZATCHKOV, Igor, "Extrudate Distortion in the Capillary/ Slit Extrusion of a Molten Polypropylene", Polymer Engineering and Science, Vol 35 #23, ISSN 0032-3888, 1995

DISEÑO REOLÓGICO PARA UN MOLDE DE RTM LIGERO



RESUMEN

En este artículo se muestra el estudio de la tecnología de RTM ligero y el diseño reológico de los moldes para fabricar piezas en materiales compuestos de matriz polimérica. Se muestran las bondades de esta tecnología respecto a los métodos de fabricación y por medio de herramientas analíticas y computacionales se diseña un molde para una pieza de la industria.

ABSTRACT

This article shows the study of RTM Light technology and the rheological design of the molds to manufacture pieces of composites. It also shows the benefits of this technology in comparison with the others methods of manufacturing and using analytical and computational tools for designing a mold of a product for the industry.

PALABRAS CLAVE

RTM, RTM ligero, Permeabilidad, Viscosidad, Tiempo de gel.

KEYWORDS

RTM, Light RTM, Permeability, Viscosity, Cross-linking time.

ESTEBAN OSPINA SOTO

eospinas@eafit.edu.co

Departamento de ingeniería mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS

PLÁSTICOS

ASESOR PRINCIPAL

JUAN DIEGO SIERRA

SECTOR BENEFICIADO

INSTITUTO DE CAPACITACIÓN E INVESTIGACIÓN

DEL PLÁSTICO Y EL CAUCHO (ICIPC)

ANDERCOL S.A.

INTRODUCCIÓN

Las piezas fabricadas con materiales compuestos, más específicamente con resinas poliméricas reforzadas con fibra de vidrio, normalmente se producen en el país por medio de procesos manuales, los cuales se quedan cortos a las exigencias en calidad y cantidad del creciente mercado para estos productos, es por esto que a la vez que se desarrollan nuevos compuestos para satisfacer las condiciones de calidad, se desarrollan también nuevos métodos de fabricación para estas piezas, entre los cuales se encuentra el moldeo por transferencia de resina, que tiene como ventaja el aumento de la calidad y cantidad de piezas producidas.

Uno de los procesos actuales de fabricación que reemplaza en moldeo manual es el moldeo por transferencia de resina RTM, el cual reduce tiempos de fabricación, permite producir piezas con menor cantidad de materia prima y permite dejar buenos acabados en todas las superficies de las piezas entre otras ventajas. Se encuentra una versión más simple del RTM llamada RTM ligero, que reduce costos de fabricación respecto al RTM pero tiene ventajas similares.

Actualmente la mayoría de piezas fabricadas de material compuesto en Colombia se elaboran por medio de moldeo manual, que se traducen en bajos niveles de producción, altos niveles de desecho y pocas aplicaciones finales de los productos. El ICIPC y ANDERCOL S.A. encuentran una necesidad de cambio tecnológico para la fabricación de estos productos y se ha tomado como opción el cambio de moldeo manual a RTM ligero, hacer el estudio inicial de la tecnología y diseñar los moldes para la fabricación de piezas de prueba específicas de algunas empresas del sector.

MOLDEO CERRADO

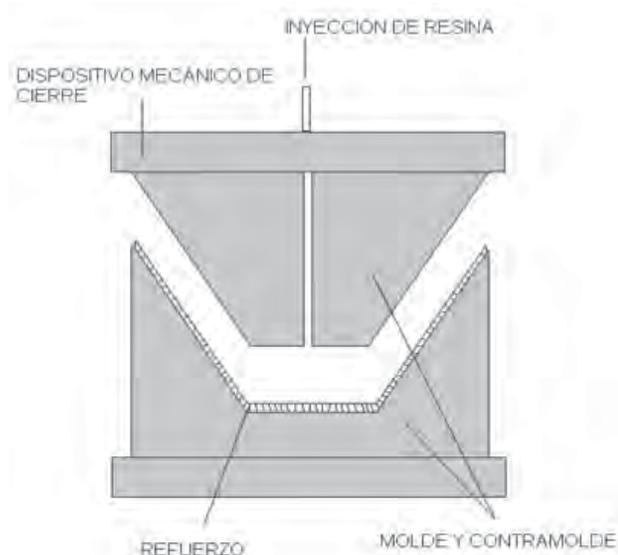
Dentro de los diferentes métodos de fabricación para piezas de material compuesto existe el moldeo manual. Este consiste en la disposición de una preforma (material de refuerzo con la forma de la pieza) en un molde cerrado para se impregnada por una resina de baja viscosidad. El

proceso de RTM posee las siguientes variantes:

RTM convencional: El RTM convencional consta de un molde robusto, por lo general hecho de metal, con una unidad de cierre mecánica capaz de contrarrestar relativamente grandes presiones de inyección, características de este tipo de moldeo. Los moldes pueden tener canales de calefacción, lo cual facilita el curado y se pueden obtener tiempos de ciclo bajos.

- Inversiones relativamente altas (mayores comparadas con el RTM ligero).
- Altas producciones: 1,000 a 30,000 partes al año.
- No hay emisiones de Estireno monómero.
- Buen acabado por las dos superficies de la pieza.
- Tiempos de ciclo cortos (aproximadamente 20 min.).

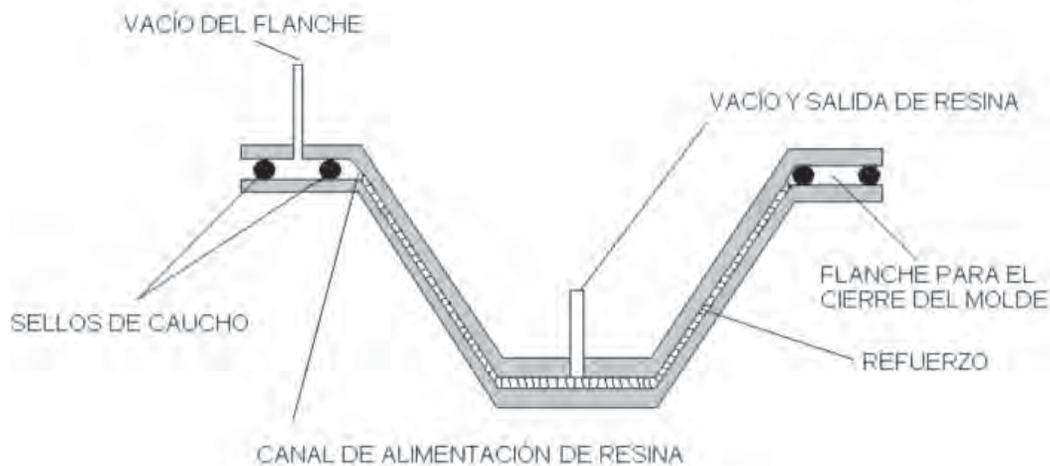
FIGURA 1
Descripción del proceso de RTM convencional



RTM ligero: El RTM ligero es una variación del RTM convencional que utiliza moldes de menor costo, por lo general fabricados en materiales compuestos, lo cual baja su costo significativamente, pero reduce sus prestaciones mecánicas. El sistema de cierre se realiza por vacío, lo cual evita la inversión es sistemas mecánicos de cierre.

- Menores inversiones comparadas con el RTM convencional
- Tiempos de ciclos más largos (aproximadamente 1 hora)
- Menor acabado superficial (suavidad intermedia)
- Moldes generalmente hechos en resina con una menor duración que en el RTM convencional
- Presiones de molde limitadas a 2 Bares
- Uso de vacío para cerrar el molde y ayudar a la difusión de la resina
- Resinas de baja viscosidad para un buen flujo e impregnación de la resina (menor de 200 cP)
- Volúmenes pequeños, no es posible los bajos perfiles y posibilidad de aplicación de gel coat.

FIGURA 2
Descripción del proceso de RTM ligero



ETAPAS DEL MOLDEO CERRADO

El material de refuerzo es recortado (preformado) y colocado en la cavidad del molde, el molde se cierra y la resina comienza a fluir por la diferencia de presiones dentro de la cavidad generadas por la presión de inyección de la máquina y el vacío generado en los puntos de venteo, normalmente el flujo converge a un punto de venteo a presión atmosférica, o algún punto de vacío en el molde, dependiendo del equipo de inyección que se tenga. El desmoldeo se lleva a cabo después de la cura de la pieza. En la Figura 3 vemos las etapas de moldeo cerrado para materiales compuestos.

FIGURA 3
Etapas del proceso de RTM



MODELAMIENTO DEL FLUJO EN EL PROCESO DE RTM

Durante la etapa de llenado, se ha encontrado que el flujo de resina resulta de la competencia de los siguientes tres tipos de flujo: flujo a escala macroscópica, flujo a escala microscópica y flujo transversal (estos dos últimos no se tienen en cuenta al momento de realizar la simulación por elementos finitos pero se pueden utilizar factores para corregir los resultados arrojados en el análisis a escala macroscópica).

Modelamiento del flujo a escala macroscópica: La ley de Darcy es una buena aproximación de flujo a través de la fibra, estos modelos matemáticos pueden computarizarse para efectuar simulaciones de flujo y se utilizan para reynolds menores que 1, las suposiciones a tener en cuenta son:

- Es un fluido incompresible, es decir la densidad es constante durante el proceso.
- Se supone un estado estacionario para el flujo.
- La viscosidad del fluido no varía con los efectos de cizalladura a los que se someta, por esto se considera Newtoniano.

La expresión obtenida a partir de la ecuación de Navier-Stokes es:

$$\vec{V} = \frac{\bar{K}}{\eta} \left(\vec{\nabla}(P) - \rho \vec{g} \right)$$

Donde:

\vec{V} : vector de velocidades

η : la viscosidad de la resina

\bar{K} : tensor simétrico de permeabilidad

P: presión

\vec{g} : vector de la gravedad

PROCEDIMIENTO DE DISEÑO PARA MOLDES DE RTM LIGERO POR MEDIO DE HERRAMIENTAS COMPUTACIONALES Y ANALÍTICAS

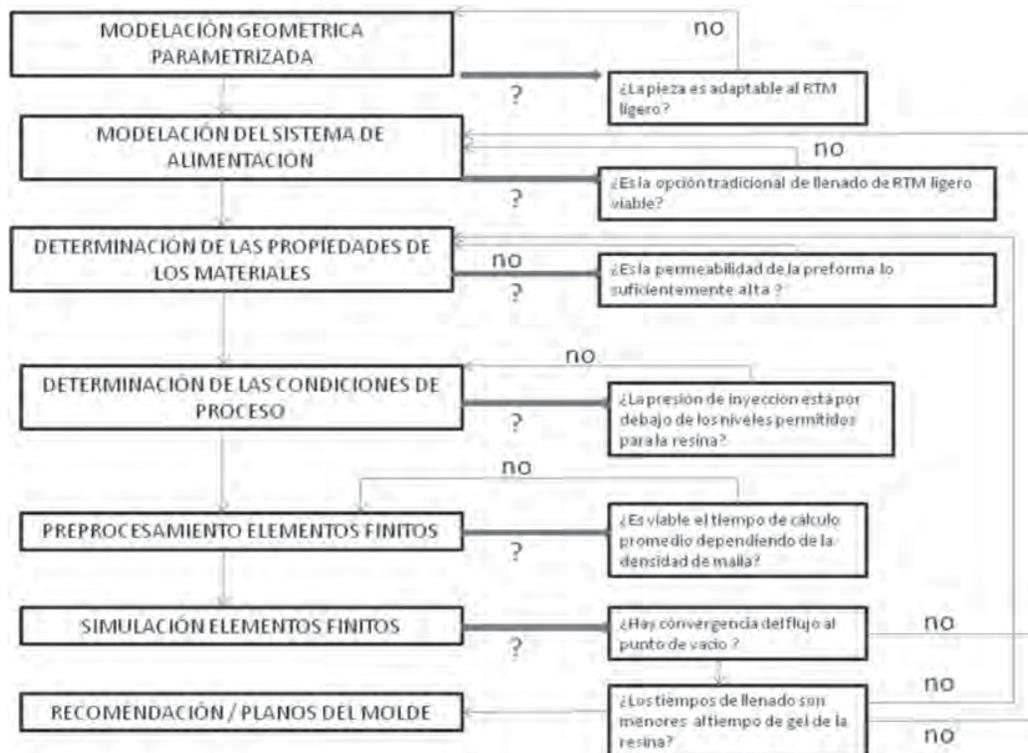
El proceso de materialización de un producto a grandes rasgos consta de su diseño, la escogencia de su material y la escogencia de su método de manufactura. Dependiendo de la filosofía de diseño que se utilice para esta concepción la última fase es la selección del método de manufactura y la adaptación del producto a éste.

Para establecer un procedimiento de diseño de moldes para RTM ligero nos basaremos en la experiencia adquirida por el ICIPC en el diseño de moldes de inyección y similares realizados por el instituto en los últimos años.

FIGURA 4
Mapa del proceso de diseño para moldes de RTM ligero



FIGURA 5
Esquema del método de diseño para moldes de RTM ligero



DISEÑO DE UN MOLDE DE RTM LIGERO PARA UNA PIEZA DE LA INDUSTRIA

En el proceso de apropiación tecnológica e introducción a la industria que lleva el ICIPC en conjunto con ANDERCOL S.A. se requiere la reconversión de una pieza de la industria actualmente manufacturada por moldeo manual, para poder mostrar las ventajas que tiene el RTM ligero a la industria nacional. La pieza escogida es una "Bañera tipo americana" fabricada actualmente por moldeo manual. Se requiere la conversión de la pieza a RTM ligero para mostrar a los industriales las ventajas claras que ofrece el proceso respecto al moldeo manual.

- Diseño seleccionado: Alimentación perimetral, vacío central
- Después de evaluar los casos de diseño anteriores se comprueba que el caso de diseño 1 (alimentación perimetral y vacío central) es el más indicado para fabricar la pieza por RTM ligero. La simulación se refina para obtener resultados más cercanos a la realidad.
- Consideraciones del modelo final simulado:
- Malla de elementos finitos más fina.
- Se modelan 6 puntos de inyección de resina en el canal de alimentación.
- Se utiliza la permeabilidad calculada para el cálculo.

Presión en la alimentación: 0

Nivel de vacío: 0.5 bar.

Permeabilidad del material de refuerzo: $0.364E-10m^2$

FIGURA 6
Sistema de alimentación recomendado

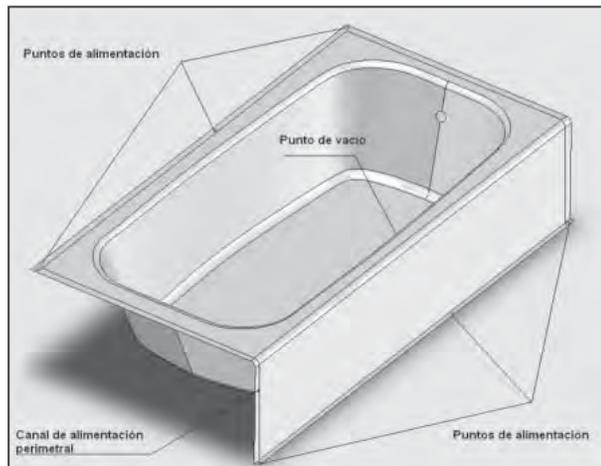
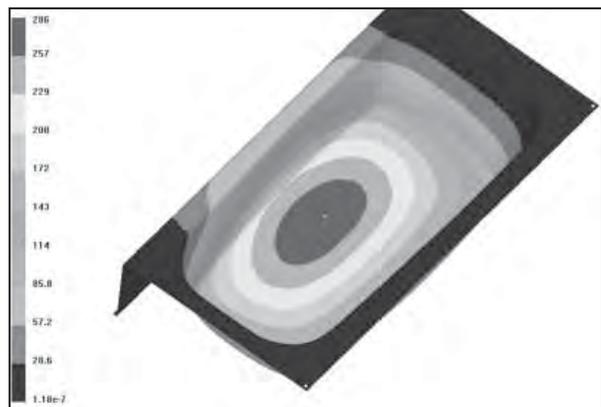


FIGURA 7
Tiempo de llenado para el sistema de alimentación recomendado (286 seg.)



CONCLUSIONES

El caso de diseño escogido para la fabricación del molde para RTM ligero de la Bañera con faldón es la propuesta de alimentación perimetral y vacío central, por ser la que presenta los menores tiempos de llenado (286 segundos) y convergencia del flujo al punto de vacío propuesto.

Los casos de diseño alternativos muestran tiempos de llenado más altos, posibles formaciones de aires atrapados y constructivamente son más complicados, es por esto que se descartan y se procede a optimizar el método de alimentación perimetral y vacío central.

El método establecido para el diseño de moldes de RTM ligero nos permite facilitar el préstamo de un nuevo servicio para el ICIPC, pues no sólo organiza la forma en la cual se debe hacer el diseño centrado en la herramienta computacional, sino que nos permite controlar el proceso de diseño desde cualquier punto del proceso.

A futuro es necesario establecer un sistema fiable de pruebas de laboratorio para medir las propiedades físicas necesarias tanto en las resinas como en las fibras utilizadas para el proceso, de esta manera se pueden hacer diseños más óptimos y con menor incertidumbre en los resultados de las herramientas computacionales.

BIBLIOGRAFÍA

C. Ismael, Resin transfer molding - process review. Saint-Gobain Vetrotex, Brazil, 2004.

Osswald, Baur, Brinkmann, Oberbach, Schmachtenberg, International Plastics Handbook, Hanser, 2006.

ESI – GROUP, PAM – RTM 2004.1 Users guide & tutorials, 2004.

G.-W. Lee, N.-J. Lee, J. Jang, K.-J. Lee, J.-D. Nam. Effects of surface modification on the resin-transfer moulding (RTM) of glass-fibre/unsaturated-polyester composites. Composites Science and Technology, 62: 9–16, 2002.

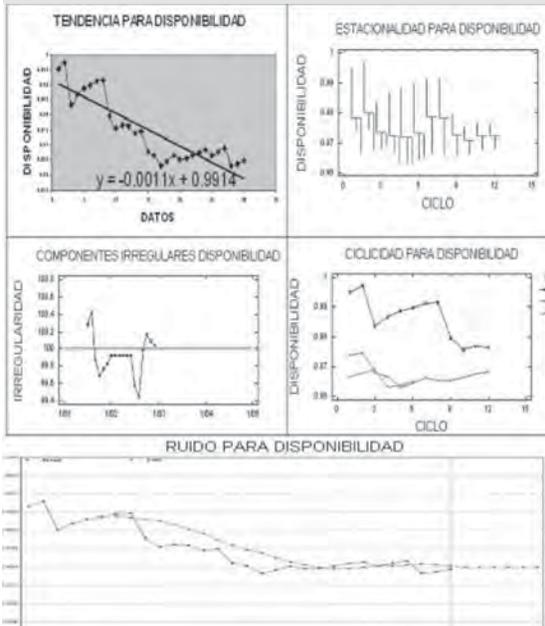
J. Li. Development of integrated process design environment and statistical analysis of RTM process. The florida state university. Thesis of master of science, 2003.

Shojaei y S.R. Ghaffarian. Modeling and simulation Approaches in the resin transfer molding process: A review. POLYMER COMPOSITES, Vol. 24, No. , 2003.

RTM @ Introduction to Resin Transfer Molding. <http://islnotes.cps.msu.edu/trp/toc.html>.

Harper A. Vacuum molding – theory, practice and application. Reinforced plastics 47(4): p. 38-43, 2003.

PREDICCIONES CMD CON SERIES TEMPORALES



DIEGO HERNÁN SALDARRIAGA ORTIZ

dsaldar6@eafit.edu.co

Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS

MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

ASESOR PRINCIPAL

LUIS ALBERTO MORA GUTIERREZ

SECTOR BENEFICIADO

ANDES INTERNATIONAL TOOLING

RESUMEN

La evolución industrial se enfrenta hoy en día a complejas operaciones, donde resulta necesario crear métodos claros que se enfoquen a soluciones efectivas de los problemas, y que generen mayor impacto sobre los tiempos perdidos en producción, costos de mantenimiento, seguridad y en general sobre la confiabilidad operacional de los equipos.

La importancia de la ingeniería de mantenimiento esta creciendo rápidamente, debido a su considerable contribución a la reducción de costos de mantenimiento de un producto durante su uso (Knezevic,1996).

El estudio de los indicadores CMD por series temporales posibilita buscar una metodología adecuada, con el fin de brindar una herramienta para los ingenieros que laboran en el área de mantenimiento y poder mejorar su gestión.

El proyecto se basa en determinar la confiabilidad de un equipo a través de la combinación de dos áreas de estudio en la carrera de ingeniería mecánica como lo son: el mantenimiento y la estadística. Este proyecto tiene una gran aplicación debido a la importancia y necesidad de predecir el comportamiento de un equipo, basado en los datos recolectados durante un periodo determinado de tiempo y utilizando las series temporales como herramienta fundamental.

ABSTRACT

The Industrial Evolution, faces nowadays at complex operations, where is necessary to create clear methods focused for give efectives solutions, that generates impact in aspects like down times in production, maintenance costs, security, and operational reliability of the equipment.

The importance about maintenance engineering has been increased, due to the costs of maintenance for a product during their utility life, have lowered. (Knezevic,1996).

The study about CMD indicators by temporal series, help to look for an suitable methodology, with the propousse to offer a good tool to maintenance area. With this we want to improve the management and work in this area.

The based project is to determinate the reliability for equipment, and compare the real results with prognoses, through combination of two study areas: maintenance and statistic. This project have a big aplicacion due to importance for to predict the behavior of all equipment, is based in historical dates obatined in period time and based in temporal series like fundamental tool.

PALABRAS CLAVE

Confiabilidad, Mantenibilidad, Disponibilidad, Pronósticos.

KEY WORDS

Reliability, Availability, Maintainability, Forecasting.

INTRODUCCIÓN

La realización de pronósticos a través del enfoque de las series de tiempo, o mejor la acción de pronosticar nos permite predecir valores futuros de una variable aleatoria basada en el estudio de una estructura conformada por el conjunto de las observaciones pasadas de la variable que explican su variación, donde se supone que la estructura del pasado se conserva en el futuro.

La característica más importante de la serie de tiempo es su orden cronológico o la secuencia de las observaciones que generan la serie, donde este orden forma una estructura de dependencia entre las observaciones, el cual no se observa en otro tipo de datos (Moreno,2000,1).

El propósito de este proyecto se basa en utilizar la metodología universal estandarizada de pronósticos para determinar la confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad de un equipo en la industria.

CONFIABILIDAD

La medida de confiabilidad de un equipo es la frecuencia a la cual ocurren las fallas en el tiempo. Si no hay fallas, el equipo es cien por ciento confiable, si la frecuencia de falla es muy baja, tiene una confiabilidad aceptable, pero si

tiene una frecuencia de falla alta, el equipo no es confiable (Bazovsky,2004,3).

Los autores definen la confiabilidad de un equipo o sistema como la probabilidad de que este desempeñe adecuadamente su función, durante un intervalo de tiempo, y bajo condiciones ambientales o de entorno específicas (Leemis,1995,2) (Ramakumar,1996,3) (O'Connor,1989,4) (Bazovsky,2004,11) (Billinton y otro,1983,2) (Lewis,1987,1) (Barlow y otros,1995,5) (Nachlas,1995,18). Se destacan en tal definición cuatro componentes importantes, la probabilidad, el desempeño adecuado, el tiempo y el entorno.

La probabilidad de ocurrencia de un evento es el resultado de dividir los casos favorables que pueden ocurrir en un suceso, por el total de casos posibles (Moreno y otro,1999,61).

MANTENIBILIDAD

La mantenibilidad esta 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).

DISPONIBILIDAD

La disponibilidad es la probabilidad de que un equipo este operando satisfactoriamente en el momento en que sea requerido después del comienzo de su operación y se usa bajo condiciones estables; el tiempo total puede incluir el tiempo operativo, tiempo activo de reparación, tiempo inactivo, tiempo de mantenimiento preventivo, tiempo administrativo y tiempo logístico, de acuerdo con la disponibilidad seleccionada.

La frecuencia con la cual un sistema se encuentra disponible se expresa básicamente como la relación de sus tiempos de funcionamiento y sus tiempos de parada y presenta diferentes variantes. El tiempo de funcionamiento

y el tiempo de parada son mutuamente excluyentes por la condición de los estados de un sistema; el tiempo de funcionamiento se refiere a la capacidad de desempeñar una tarea, en tanto que el tiempo de parada se refiere a la imposibilidad de desempeñarla (Barringer,1997,4).

DISTRIBUCIONES

Las distribuciones de probabilidad son un concepto importante en la estadística, apoyando el concepto de variable aleatoria. Una variable aleatoria es una función de valor real cuyo dominio es un espacio muestral (McClave,1993,67).

La distribución de Weibull es apropiada para modelar situaciones de tasa de fallas constante, estrictamente creciente o decreciente; estas distribuciones tienen dos parámetros y mediante su ajuste se puede obtener una variedad de formas en la curva para describir datos experimentales. Por su gran forma de adaptarse, esta distribución es de gran uso en la ingeniería de confiabilidad (Ramakumar,1993,108).

La distribución de Weibull posee, en su forma general, tres parámetros, lo que le da una gran flexibilidad, ellos son:

- Parámetro de posición (γ), el más difícil de estimar y por este motivo se asume con demasiada frecuencia que vale cero. Indica el lapso en que la probabilidad de falla es nula (Forcadas,1983,42).
- Parámetro de escala o característica de vida (η), su valor es determinante para fijar la vida útil del producto o del sistema.
- Parámetro de forma (β), este parámetro es el que determina la forma de la función de Weibull, e indica la dispersión de los datos. Es también conocida como la pendiente.

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 (Lewis,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 y modernos.

El método de series temporales sirve para elaborar la proyección de los valores futuros de una variable, basada en observaciones pasadas y presentes de ésta. Donde los factores que han influido en el pasado y el presente de las variables continuaran haciéndolo de una forma similar en el futuro.

La metodología de series temporales permite desarrollar el proceso lógico de análisis de los modelos clásicos como ajuste de tendencia (lineal, cuadrática, exponencial), suavización exponencial (Brown o Holt), modelos de descomposición (Holt, Winters) y modelos modernos (ARIMA).

CÁLCULOS

La medición de los parámetros CMD, es el primer paso para establecer la metodología de pronósticos, pues proporciona todas las bases para el análisis y desarrollo de los mismos.

Los índices CMD, permiten conocer las fallas del equipo de acuerdo a un historial de datos, 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 del historial de datos. Su determinación por series temporales es mucho más exacta, debido a que es una herramienta estadística que permite conocer con mayor exactitud la variable a determinar.

La planta de *internacional tooling*, se encuentra dividida por secciones dependiendo de la función que cumplan sus máquinas en el sistema productivo.

La información requerida para los modelos de cálculo, se extrae del departamento de ingeniería, en la cual se encuentra el área de producción y mantenimiento. La información que suministran los operarios es almacenada en hojas de cálculo día a día, de esta información se extraen los datos necesarios para poder calcular la disponibilidad de una remachadora en la planta de producción.

FIGURA 1
Modelos de recolección datos

ESTADO ACTUAL DE LAS REFERENCIAS						ENTRADAS Y SALIDAS 2006							
MATERIAL	DESCRIPCIÓN	Ubic.	Stock	Punto de Pedido	Maximo	Entrada	Valor	Salida	Valor	Consumo	Valor	Promedio entradas anuales	Promedio salidas anuales
1700000000	RETENEDOR 105-285 AGITADGE 236-859 GRACO	N.A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1700000001	PETICION BORRADO SELLO 105-286*	N.A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1700000002	ACOPLE FLEXIBLE100-828 AGITADGE 236-859*	9A 602	3	2	3	0	0	1	47,530	1	47,530	2.5	1.5
1700000003	EJE PISTON REF 215-947 P/BOMBA F/FLO 226	N.A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1700000004	PISTOLA REF 239-543 DELTA SPRAY	N.A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1700000005	SELLO REF 239-865 BOMBA 239-837	9B 204	2	0	0	0	0	1	443,384	1	443,384	0	1.5
1700000006	SELLO 239-805 BOMBA 239-837	9B 204	3	0	0	0	0	1	476,551	1	476,551	0	0.5
1700000007	TUERCA 100-186 REGULADOR 223-623	9A 301	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1700000008	TORNILLO 102-433 REGULADOR 223-623	9A 301	7	3	15	25	274,675	14	155,986	14	155,986	12.5	8.5
1700000009	SELLO REF 183-095 BOMBA 239-837	9B 204	14	6	10	3	555,510	8	1,452,833	8	1,452,831	4	4
1700000010	PICO DE FLUIDO 192-298 GRACO	N.A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1700000011	RODAMIENTO 215-933 P/MOTOR 220-571 GRACO	9C 101	16	1	10	20	769,080	8	304,594	8	304,594	11.5	5.5
1700000012	ANILLO BOQUILLA192-276*	9C 101	3	0	0	5	142,110	4	111,411	4	111,411	5.5	4
1700000013	ANILLO RETENCIÓN BOQUILLA 239-953 (METAL	9C 303	5	2	6	9	580,937	10	644,197	10	643,651	7.5	10.5
1700000014	ELECTRODO 276-697 P/PISTOLA 244-576(Xs3)	9A 501	6	5	8	54	4,127,220	58	4,442,164	58	4,442,164	50	50
1700000015	AGUJA PRODUCT 244-597 P/PIST 244-576(Xs3)	9A 502	5	3	5	9	3,213,648	7	2,505,990	7	2,505,990	6	5
1700000016	TURBINA 244-555 P/PISTOLA 244-576 (Xs3)	9A 502	2	1	1	0	0	0	0	0	0	2	1.5
1700000017	VALVULA AIRE 244-557 P/PISTOLA 244-576 *	9A 501	3	2	3	0	0	0	0	0	0	2	1
1700000018	BOQUILLA AIRE 197-477 P/PISTOLA 244-576	9A 502	6	3	5	2	294,999	5	759,862	5	751,475	8.5	6
1700000019	RESISTENCIA P/PISTOLA RAMBURE 110W-24V*	N.A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1700000020	KIT DE FLUIDO 239-640 P/PISTOLA 239-547	9B 204	5	2	4	2	41,649	0	2,901	0	0	1	0
1700000021	PICO FLUIDO 197-265 P/PIST 244-576(Xs3)*	9A 501	5	2	5	24	3,617,057	26	3,904,027	26	3,890,381	22.5	24.5
1700000022	TUBO FLUIDO 244-918 P/PISTO 244-567(Xs3)	9A 502	2	2	3	1	527,687	2	1,081,331	2	1,068,353	1.5	1
1700000023	TUERCA AJUSTE 245-211 P/PIST244-576(Xs3)	9A 501	7	3	5	0	0	0	0	0	0	2.5	0
1700000024	ESPACIADOR 185-120 P/PISTOL 244-576(Xs3)	9A 501	4	2	3	0	0	0	0	0	0	2	1
1700000025	EMPAQUE 188-749 P/PISTOLA 244-576(Xs3)	9A 503	3	2	3	2	22,343	1	11,895	1	11,172	2	1.5
1700000026	PISTOLA ELECTROSTATICA REF 244-576	N.A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1700000027	MARMITAN 5 GALONES MARCA GRACO 236-152	N.A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1700000028	TORNILLO GRACO REF:503-143	9A 203	6	2	6	6	73,800	4	45,568	4	45,568	5	2
1700000029	KIT REGULADOR REF:208-380	9A 302	5	3	10	39	1,632,033	45	1,871,355	45	1,859,889	44.5	46.5
1700000030	ACEITE P/BOMBAS GRACO REF: 307764	N.A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1700000031	LUBRICADOR BOMBAS GRACO REF 710.1.10.4B*	N.A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

La propuesta consiste en extraer los datos de mantenimiento de cada uno de los días desde el primero de enero hasta el 19 de agosto del año 2007.

RESULTADOS

La precisión de los pronósticos se puede desarrollar, una vez transcurra en la realidad la semana 34, la bondad de

ajuste se calcula, y se da en porcentaje, la cual debe estar por debajo del 11% para que califique como adecuada (Makridakis y otro,1998,312-317).

La comparación con los datos reales resulta después del 19 de agosto (semana 34), los cuales se toman después de hacer el corte para los pronósticos. Estos datos llegan hasta la última semana del mes de septiembre.

TABLA 1
Datos reales después de la semana 33

CONSTANTE		PROFUNDIDAD DE CORTE	AVANCE LONGITUDINAL	RPM HUSILLO	MATERIAL TRABAJADO		
		2mm	4,5mm/s	3360 RPM	Nylon	Aluminio	Acero
PROFUNDIDAD DE CORTE	1mm		√	√	N-P-1	AL-P-1	AC-P-1
	2mm		√	√	N-P-2	AL-P-2	AC-P-2
	3mm		√	√	N-P-3	AL-P-3	AC-P-3
AVANCE LONGITUDINAL	2,2mm/s	√		√	N-A-1	AL-A-1	AC-A-1
	3mm/s	√		√	N-A-2	AL-A-2	AC-A-2
	4,5mm/s	√		√	N-A-3	AL-A-3	AC-A-3
RPM HUSILLO	1250 RPM	√	√		N-R-1	AL-R-1	AC-R-1
	1800 RPM	√	√		N-R-2	AL-R-2	AC-R-2
	3360 RPM	√	√		N-R-3	AL-R-3	AC-R-3

Los datos de los pronósticos se organizan y se tabulan para poder hacer la comparación y precisión.

TABLA 2
Pronósticos obtenidos

	DATO	MTBF	MTTR	β	eta	Disponibilidad
20 - 26 Agosto	34	55,887	2,118	0,593	36,228	0,963
27 Agosto - 2 Septiembre	35	54,590	2,008	0,600	37,712	0,965
3 - 9 Septiembre	36	56,743	2,004	0,600	39,296	0,966
10 - 16 Septiembre	37	57,064	1,981	0,588	36,999	0,966
17 - 23 Septiembre	38	58,684	1,923	0,597	39,203	0,968
24 - 30 Septiembre	39	59,096	2,143	0,604	40,753	0,965

TABLA 3
Bondad de ajuste entre los pronósticos y la realidad

	DATO	MTBF	MTTR	β	eta	Disponibilidad
20 - 26 Agosto	34	5,8%	8,5%	0,1%	6,9%	0,5%
27 Agosto - 2 Septiembre	35	7,1%	0,5%	2,8%	3,8%	0,2%
3 - 9 Septiembre	36	6,3%	0,8%	4,4%	0,4%	0,2%
10 - 16 Septiembre	37	5,0%	0,9%	3,9%	6,9%	0,2%
17 - 23 Septiembre	38	1,6%	1,3%	7,2%	2,0%	0,1%
24 - 30 Septiembre	39	1,4%	14,6%	10,1%	1,2%	0,5%

CONCLUSIONES

El éxito de los pronósticos se fundamenta en seguir cada uno de los pasos, y se puede afirmar que los errores alcanzados en los resultados analizados son inferiores al 11%, con excepción de un dato, pero esto puede por realizar pronósticos por encima del 10% de los datos que es lo recomendable.

Los pronósticos en la industria son una herramienta de ayuda, los cuales según la información que suministran, sirven para mejorar las labores productivas dentro de la empresa, y poder de esta manera evaluar el desempeño de los equipos, para reforzar de ésta manera el área de mantenimiento.

El mantenimiento dentro de las empresas busca orientar las actividades, para conservar las características de los equipos, evitando las fallas imprevistas. Los indicadores CMD, permiten analizar estas características propias de los equipos.

BIBLIOGRAFÍA

BARLOW, Richard E. Proschan, Frank. -Mathematical theory of reliability. – Editorial Wiley, John & sons, Incorporated - New York – USA – 1995 - ISBN 0898713692.

BARRINGER, Paul. Availability, Reliability, Maintainability, and Capability. – Editorial PE Barringer & Associates – Texas – USA – 1996.

BAZOVSKY, Igor. Reliability theory and practice - Editorial Dover publications incorporated – USA – 2004 - ISBN 0486438678.

BILLINTON, Roy. Allan, Ronald. Reliability Evaluation of engineering Systems – Editorial GB Pitman Advanced Publishing program – 1983.

FORCADAS Feliu, Jorge. Estadística aplicada a los sistemas & confiabilidad en los sistemas – Revista SAI Sociedad Antioqueña de Ingenieros y Arquitectos – Revista SAI No. 4 Vol.1 – Medellín – Colombia. 1983.

KNEZEVIC. Jezdimir. Mantenibilidad - Editorial ISDEFE – Madrid - España. 1996 - ISBN 84 89338 08 6.

LEEMIS, Lawrence M. Reliability probabilistic models and statistical methods. Editoria - Prentice Hall International Series in Industrial and Systems Engineering - New Jersey – USA – 1995 - ISBN 0 13 720517 1.

LEWIS, Elmer E. Introduction to reliability engineering- Editorial Wiley, John & Sons, Inc – 1995 - ISBN 0471018333.

MAKRIDAKIS, Spyros. Wheelwright, Steven C. Métodos de pronósticos – Editorial Limusa – Ciudad de México – México – 1998 – ISBN 968 18 4879 9.

McCLAVE, James. Sheaffer, Richard. Probabilidad y estadística para ingenieros – Editorial Ibero América – Mexico – 1993.

MORA, Alberto Gutiérrez. Mantenimiento estratégico para empresas industriales o de servicios - Segunda edición - Editorial A M G – Medellín – Colombia – 2007 - ISBN 958 33 8218 3.

MORA, Alberto Gutiérrez. Pronósticos de demanda e inventarios – Primera edición - Editorial A M G – Medellín – Colombia – 2007 - ISBN 978 958 44 0233 2.

MORENO, Emilia Correa. Conceptos básicos de series de tiempo – Segunda edición – Editorial Universidad Nacional de Colombia – Bogotá – Colombia – 2000.

NACHALS, Joel. Fiabilidad - Editorial ISDEFE – Madrid – España – 1995 - ISBN 84 89338 07 8.

O' CONNOR, Patrick. Practical Reliability. Engineering - Editorial Wiley - John & sons Incorporated - New York – USA – 2002 - ISBN 0470844620.

RAMAKUMAR, Ramachandra. Engineering Reliability. Fundamentals and applications - Editorial Prentice Hall. Professional Technical - New Jersey – USA – 1996 - ISBN 0132767597.

OPTIMIZACIÓN DE LA GESTIÓN DE REPUESTOS COMO SOPORTE AL PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN SOFASA



ANDRÉS GUTIÉRREZ LAGOUEYTE
agutie11@eafit.edu.co
Departamentote Ingeniería Mecánica

JULIÁN FRANCO ECHEVERRI
jfrancoe@eafit.edu.co
Departamentote Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS
MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

ASESOR PRINCIPAL
JUAN CARLOS URIBE

SECTOR BENEFICIADO
TODA EMPRESA QUE REQUIERA DE
UN ALMACÉN PARA REPUESTOS Y
QUE POSEA UNA GESTIÓN DE
MANTENIMIENTO Y COMPRAS

RESUMEN

EL proyecto muestra una serie de métodos utilizados para mejorar la gestión de repuestos como soporte al plan de mantenimiento preventivo en SOFASA¹.

Métodos que se apoyan en la teoría de 5s, en las ayudas visuales y en ideas para acuerdos comerciales entre proveedor y empresa con el fin de reducir tiempos de aprovisionamiento, costo del inventario y tiempos de ejecución en toda la gestión de almacenamiento.

ABSTRACT

The project shows a series of methods used to improve the management of spare parts and support preventative maintenance plan in SOFASA.

Methods that are based on the theory 5s, in the visual aids and ideas for commercial agreements between supplier and company with the aim of reducing the time of supply, cost of inventory and execution times throughout the management of storage.

PALABRAS CLAVES

Inventario, aprovisionamiento, mantenimiento, obsoletos, gestión, comodato.

KEY WORDS

Stock, supply, maintenance, obsolete, management, comodato.

¹ SOFASA: ensambladora de autos de la marca Renault y Toyota ubicada en Envigado Ant.

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Los problemas que existen en el almacén de repuestos y consumibles hacen necesario un estudio detallado de los repuestos en el que se tenga en cuenta la criticidad de los mismos, un inventario de máquinas, proveedores y tiempos de entrega, además se debe realizar un reordenamiento de todo el almacén donde se reduzca las partes almacenadas dejando los repuestos críticos y de difícil adquisición, separando el almacén en las áreas de soldadura, pintura, ensamble y consumibles. Se debe desarrollar un sistema de información que mejore el funcionamiento dinámico del almacén y que permita que se mantengan disponibles los repuestos para las intervenciones correctivas y planeadas en el preventivo de los equipos.

IDENTIFICACIÓN DE REPUESTOS OBSOLETOS

El manejo de la gestión de repuestos se hace a través de un software llamado SAP, Existen dos tipos de repuestos clasificados como ERSA que se refiere a todos las piezas de recambio, y los clasificados como HIBE que son todo lo que es consumibles.

Se realiza un estudio de repuestos desde el 2003 hasta el presente con todos los grupos. El estudio hace un promedio del consumo mensual, para poder seleccionar que repuestos son obsoletos, están deteriorados y cuales pueden seguir en el inventario

FIGURA 1
Grupos de repuestos estudio de movimientos de repuestos desde el 2003-2006

ESTADO ACTUAL DE LAS REFERENCIAS						ENTRADAS Y SALIDAS 2006							
MATERIAL	DESCRIPCIÓN	Ubic.	Stock	Punto de Pedido	Maximo	Entrada	Valor	Salida	Valor	Consumo	Valor	Promedio entradas anuales	Promedio salidas anuales
1700000000	RETENEDOR 185-285 AGITADGE 236-859 GRACO	N.A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1700000001	PETICIÓN BORRADO SELLO 185-285*	N.A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1700000002	ACOPLE FLEXIBLE100-828 AGITADGE 236-858*	BA 802	3	2	3	0	0	1	47,530	1	47,530	2.5	1.5
1700000003	EJE PISTON REF 215-947 P/BOMBA F/FLO 226	N.A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1700000004	PISTOLA REF 239-543 DELTA SPRAY	N.A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1700000005	SELLO REF 239-865 BOMBA 239-837	9B 204	2	0	0	0	0	1	443,384	1	443,384	0	1.5
1700000006	SELLO 239-865 BOMBA 239-837	9B 204	3	0	0	0	0	1	476,551	1	476,551	0	0.5
1700000007	TUERCA 100-166 REGULADOR 223-623	9A 501	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1700000008	TORNILLO 182-433 REGULADOR 223-623	9A 501	7	3	15	25	274,875	14	155,986	14	155,986	12.5	3.5
1700000009	SELLO REF 183-095 BOMBA 239-837	9B 204	14	6	10	3	595,570	8	1,452,833	8	1,452,833	4	4
1700000010	PICO DE FLUIDO 192-298 GRACO	N.A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1700000011	RODAMIENTO 218-953 P/MOTOR 239-571 GRACO	9C 101	16	1	10	20	769,086	8	304,594	8	304,594	11.5	5.5
1700000012	ANILLO BOQUILLA192-276*	9C 101	3	0	0	5	142,110	4	111,411	4	111,411	5.5	4
1700000013	ANILLO RETENCION BOQUILLA 239-953 (METAL	9C 303	5	2	6	0	500,937	10	644,197	10	644,197	7.5	10.5
1700000014	ELECTRODO 278-487 P/PISTOLA 244-576(Xs3)	9A 501	6	5	8	54	4,127,229	58	4,142,164	58	4,142,164	59	60
1700000015	ABOJA PRODUCT 244-287 P/PIST 244-576(Xs3)	9A 502	5	3	5	9	3,211,648	7	2,205,990	7	2,205,990	6	5
1700000016	TURBINA 244-555 P/PISTOLA 244-576	9A 502	3	1	1	0	0	0	0	0	0	3	1.5
1700000017	VALVULA AIRE 244-557 P/PISTOLA 244-576*	9A 501	3	2	3	0	0	0	0	0	0	2	1
1700000018	BOQUILLA AIRE 197-477 P/PISTOLA 244-576	9A 502	6	5	5	2	294,999	5	759,862	5	751,475	6.5	6
1700000019	RESISTENCIA P/PISTOLA RAMBURE 110W-24V*	N.A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1700000020	KIT DE FLUIDO 239-265 P/PISTOLA 239-547	9B 204	5	2	4	2	41,649	0	2,001	0	0	1	0
1700000021	PICO FLUIDO 197-265 P/PIST 244-576(Xs3)*	9A 501	5	3	5	24	3,617,057	26	3,904,027	26	3,890,381	23.5	24.5
1700000022	TUBO FLUIDO 244-918 P/PISTO 244-567(Xs3)	9A 502	2	2	3	1	527,687	2	1,081,331	2	1,068,383	1.5	1
1700000023	TUERCA AJUSTE 245-211 P/PIST244-576(Xs3)	9A 501	7	3	5	0	0	0	0	0	0	2.5	0
1700000024	ESPACIADOR 185-120 P/PISTOLA 244-576(Xs3)	9A 501	4	2	3	0	0	0	0	0	0	2	1
1700000025	EMPAQUE 188-749 P/PISTOLA 244-576(Xs3)	9A 503	3	2	3	2	22,343	1	11,895	1	11,172	2	1.5

IDENTIFICACIÓN Y UBICACIÓN DE REPUESTOS

Los repuestos son ubicados según el grupo al que pertenezcan, y son identificados por placas agilizando la búsqueda por parte del personal.

Los problemas relacionados a la posición de elementos del almacén se deben a:

- Creación de referencias repetidas;
- Creación de referencias en distintos grupos
- Creación de referencias en grupos no adecuados

FIGURA 2
Repuesto con referencia distinta

REPORTE DE MATERIALES CON UBICACION FISICA

Material	Descripcion	Ubic.	Libre utiliz.	Categoria de valoración	Σ Volumen	Σ Peso Bruto	Σ Largo	Σ Ancho	Σ Alto	Arrume
4501001072	ACOPLADOR BAJA PRESION RICEJN 34A M7/16*	4A 1003	3,000	3043	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
					* 0,00 *	0,00 *	0,00 *	0,00 *	0,00 *	

REPORTE DE MATERIALES CON UBICACION FISICA

Material	Descripcion	Ubic.	Libre utiliz.	Categoria de valoración	Σ Volumen	Σ Peso Bruto	Σ Largo	Σ Ancho	Σ Alto	Arrume
450000018	ACOPLADOR DE BAJA PRESION R1 34aBP*			3043	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
					* 0,00 *	0,00 *	0,00 *	0,00 *	0,00 *	

FIGURA 3
Repuesto con referencia en grupos distintos

REPORTE DE MATERIALES CON UBICACION FISICA

Material	Descripcion	Ubic.	Libre utiliz.	Categoria de valoración	Σ Volumen	Σ Peso Bruto	Σ Largo	Σ Ancho	Σ Alto	Arrume
2000001599	RACOR INSTANTANEO FESTO, CODO QSML-M5-4	3F 604	10,000	3043	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
					* 0,00 *	0,00 *	0,00 *	0,00 *	0,00 *	

The screenshot shows the SAP Material Report interface. The title is "REPORTE DE MATERIALES CON UBICACION FISICA". The table below shows the material details:

Material	Descripción	Ubic.	Libre utiliz.	Categoría de valoración	Σ Volumen	Σ Peso Bruto	Σ Largo	Σ Ancho	Σ Alto	Arrume
180000082	RACORD 90° M5 P/MANGUERA 4 MM*	8C 301	20,000	3043	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
					Σ 0,00	Σ 0,00	Σ 0,00	Σ 0,00	Σ 0,00	

FIGURA 4

Petición de borrado para material ubicado en sitio no adecuado

The screenshot shows the SAP Material Report interface. The title is "REPORTE DE MATERIALES CON UBICACION FISICA". The table below shows the material details:

Material	Descripción	Ubic.	Libre utiliz.	Categoría de valoración	Σ Volumen	Σ Peso Bruto	Σ Largo	Σ Ancho	Σ Alto	Arrume
1700001557	PETICION BORR RAPIDCHARGE P/BOMBA*			3043	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
					Σ 0,00	Σ 0,00	Σ 0,00	Σ 0,00	Σ 0,00	

Se ejecutó una depuración del sistema, en donde se ubicaron bien las referencias de los materiales identificados.

IDENTIFICACIÓN Y ORDEN

Las ayudas visuales se utilizan para identificar más fácilmente el área a la que pertenece el repuesto.

El objetivo del layout de almacenamiento es cumplir con una función de inventario y analizar la colocación de los componentes en un almacén.

Los repuestos críticos se definen como piezas de extraordinaria importancia para el proceso, normalmente de gran valor y alto plazo de entrega deben permanecer en el almacén de mantenimiento por recomendación del fabricante.

Los repuestos críticos deben estar almacenados en un mismo estante que tenga fácil acceso.

Los repuestos serán fácilmente identificados porque las placas de la zona están pintadas de blanco y las tarjetas pegadas en las cajas tienen un recuadro de color que identifica el repuesto según el área a la que pertenece.

FIGURA 5
Layout Actual de Sofasa

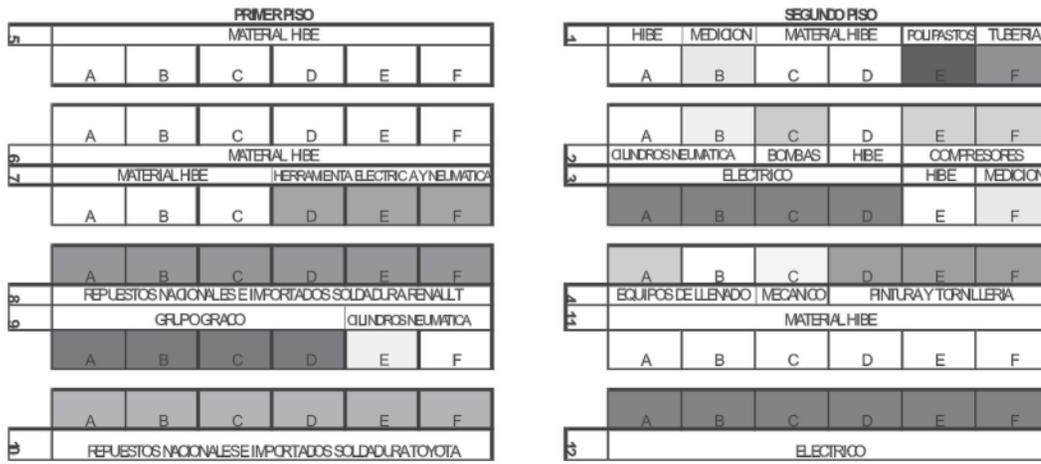


FIGURA 6
Representación señalización de repuesto críticos

4500000088	Captador de presión 0/16bar rel. G1/4
1800000016	Kit de empaques PK5 Ref: 561-290-44
1600000089	ELECTRODO

Se puede hacer de esta forma una planeación de inspección de repuestos minimizando el tiempo del recorrido y definiendo días específicos para cada uno de los talleres.

ÓRDENES DE COMPRA ABIERTA

Las órdenes de compra abierta son aquellas que se utilizan en repuestos de consecución local y alta rotación en su mayoría y que se generan para agilizar la compra. Con estas órdenes el vale de almacén al ser digitado en el SAP y realizada la solicitud de pedido, el almacenista puede llamar al proveedor y solicitar la pieza requerida sin pasar por compras.

Se diseñó una matriz general de repuestos en donde se puede calcular la cantidad de repuestos comunes entre los talleres y permite actualizar los stocks máximos y mínimos simplificando el valor del inventario. Esta matriz se hace de

forma específica en repuestos comunes como rodamientos, bandas, sensores, contactores, cableado, etc.

APROVISIONAMIENTO DE REPUESTOS

El proceso de compras tiene diferentes etapas desde que se presenta el vale de almacén hasta que se hace la orden de compra del repuesto

- Elaboración del vale de almacén.
- Aprobación del gerente de mantenimiento.
- Solicitud de pedido.
- Orden de Compra.

El tiempo de respuesta del personal de compras se puede reducir utilizando un panel de proveedores de servicios, en donde se encuentra toda la información de los proveedores según el repuesto requerido.

Para reducir el tiempo de llegada de repuestos se plantean dos ideas: Después de hacer un seguimiento al movimiento de algunos de los repuestos en un periodo de tres años, se busca llegar a un acuerdo con el proveedor para que mantenga en stock el promedio de repuestos por referencia que se utilizan.

Utilizar un espacio físico dentro de Sofasa para que el proveedor entregue un número de repuestos inventariados en comodato, que serán facturados por Sofasa a medida que se utilicen.

CONCLUSIONES

Los repuestos obsoletos son consecuencia de una mala planeación en la gestión de mantenimiento y/o las formas de almacenamiento. La planeación del control de inventarios en el almacén, basados en un control de máximos y mínimos definidos con una información inexacta, genera acumulación de repuestos, altos costos en el inventario, y fallas en los equipos en un menor periodo de tiempo por imperfectos en los repuestos a consecuencia de un mal almacenamiento.

La clasificación de los repuestos como de alta o baja rotación, y su ingreso a un sistema de información son puntos claves para un buen manejo del inventario de repuestos en el almacén. Utilizando la metodología de 5 eses se logró implementar un sistema para la ubicación de materiales estandarizando los puestos dentro del almacén con una ayuda visual en colores y la identificación de repuestos críticos con respecto a los talleres a los cuales pertenece. El ingreso de nuevas referencias y la depuración del sistema para manejar una referencia única y precisa de cada repuesto es fundamental para hacer un control preciso del inventario.

Las órdenes de compra abierta reducen el tiempo en el trámite interno y permiten una entrega más oportuna de un repuesto. Los proveedores locales de repuestos comunes de componentes para las máquinas especiales llegan a un acuerdo de precio que sostienen por un periodo de tiempo y utilizan un histórico de consumos para el manejo interno de stock garantizando un flujo y respuesta inmediato en la mayoría de los casos.

Por lo tanto, se reduce el valor del inventario y se facilita la gestión del almacén en el manejo de stocks por máximos y mínimos.

Luego de hacer varias reuniones con los proveedores más representativos para Sofasa, se estudian dos posibilidades para garantizar el menor tiempo de respuesta. Las alternativas buscan que se mantenga un stock de repuestos en el país y evitar las demoras generadas por transporte, procesos de importación, rechazo y devolución entre otras.

BIBLIOGRAFÍA

CARDONA, Giraldo Giovanni y MARTELO, Gonima Mauricio. Aplicación de estrategias de mejoramiento continuo en un centro de colisión automotriz, Medellín (Colombia), 2005, Trabajo de grado (ingeniero mecánico). Universidad Eafit, departamento de ingeniería Mecánica

DOMÍNGUEZ MACHUCA, José Antonio, dirección de operaciones aspectos tácticos y operativos en la producción y los servicios. Madrid, España, Editorial Mc Graw Hill, 1998.

IMAI, Masaaki. Gemba Kaizen, Como implementar el Kaizen en el sitio de trabajo, Tokio, Japón, Editorial Mc Graw Hill, 1998. ISBN 958-600-798-7.

MORA, Luis Alberto. Diplomado en gestión y control de mantenimiento (IRI). ACIEM, 2003.

MORA, Luis Alberto. Mantenimiento estratégico para empresas industriales o de servicios, Enfoque sistemático Kantiano, Medellín, Antioquia, Editorial AMG. ISBN 958-338218-3, 2006 306 p.

LEÓN, Ospina Juan Camilo y OCHOA, Marín Carolina. "Análisis de resultados de implementación de TPM en las empresas del Valle de Aburra", Medellín (Colombia), 2002, Trabajo de grado (ingeniero mecánico). Universidad Eafit, departamento de ingeniería Mecánica.

CCEE@ Teoría sobre logística y almacenamiento [en línea, archivo pdf], [Citado el 22 de abril de 2007] Disponible

en Internet. <http://www.ccee.edu.uy/ensenian/catadprod/material/layout2005.pdf>

CORRECTIVO@ Definición del mantenimiento correctivo [Citado el 22 de marzo de 2007] Disponible en Internet http://www.solomantenimiento.com/m_correctivo.htm

EUMED@ Teoría de cinco s como parte del TPM [en línea, archivo pdf], [Citado el 22 de marzo de 2007] Disponible en Internet. <http://www.eumed.net/cursecon/libreria/2004/5s/2.pdf>

GESTIOPOLIS@ Teoría de cinco s como parte del TPM [en línea], [Citado el 28 de marzo de 2007] Disponible en Internet. <http://www.gestiopolis.com/recursos5/docs/ger/cincos.htm>

IFES@ Teoría de logística y almacenamiento de repuestos [en línea] [Citado el 24 de marzo de 2007] Disponible en Internet <http://io.us.es/proyectos/IFES/Mantenimiento/RESUMEN%20MANTENIMIENTO.html>

INDUSTRIAL@ Historia y tipos de mantenimiento en la industria mundial [en línea] [Citado el 20 de marzo de 2007] Disponible en Internet <http://www.monografias.com/trabajos15/mantenimiento-industrial/mantenimiento-industrial.shtml>

IACRE@ Teoría y aplicación del mantenimiento productivo total [en línea, archivo pdf] [Citado el 24 de marzo de 2007] Disponible en Internet <http://www.iacre.com.ar/doc/biel.pdf>

LOGISTICA@ Teoría de logística y almacenamiento de repuestos [en línea] [Citado el 24 de marzo de 2007] Disponible en Internet <http://www.enfasis.com/logistica/historialdetalle.asp?ID=233>

MORA@ Disponibilidad, Confiabilidad, Mantenibilidad y Capacidad I y II [en línea, archivo pdf], [Citado el 15 de marzo de 2007]. Disponible en Internet: <http://www.soporteycia.com.co/documentos/Disponibilidad,%20Confiabilidad,%20Mantenibilidad%20y%20Capacidad,%20Parte%20I.PDF>

MXM@ COMO PLANIFICAR PROYECTOS DE INGENIERÍA. [En línea], [Citado el 28 de septiembre de 2006]. Disponible en Internet: http://www.mailxmail.com/curso/empresa/proyectos_ingenieria/capitulo2.htm

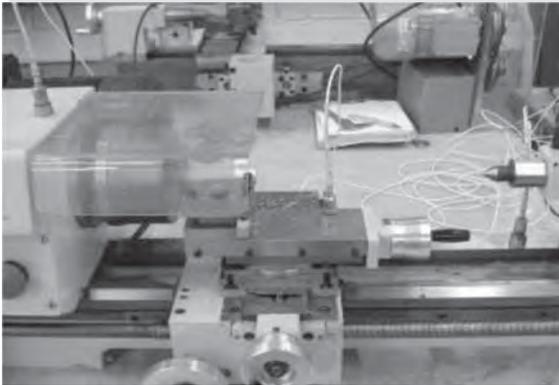
PLANT-MAINTENANCE@ Plant-maintenance, kaizen-la clave del cambio, [en línea], [Citado el 2 de abril de 2007] disponible en Internet http://www.plant-maintenance.com/maintenance_articles_tpm

SOFASA@ Sofasa [en línea] [Citado el 28 de febrero de 2007] Disponible en Internet <http://www.sofasa.com.co>

TPM@ Pagina especializada en mantenimiento productivo tota [en línea] [Citado el 24 de marzo de 2007] Disponible en Internet <http://www.tpmonline.com>

TPM_02@ Teoría y aplicación del mantenimiento productivo total [en línea] [Citado el 24 de marzo de 2007] Disponible en Internet http://www.confabilidad.net/art_05/TPM/tpm_02.pdf

DETERMINACIÓN DE ESPECTROS DE ACELERACIÓN PARA EL TORNO PRAZI SD-400 VARIANDO LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN



MAURICIO SALAZAR ARANGO
msalaza6@eafit.edu.co
Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS
MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

ASESOR PRINCIPAL
GABRIEL JAIME PÁRAMO

SECTOR BENEFICIADO
UNIVERSIDAD EAFIT

RESUMEN

Este artículo muestra el proceso desarrollado con el fin de determinar los espectros de aceleración presentados en un torno pequeño al variar los parámetros de operación, y establecer cómo afecta las vibraciones mecánicas la calidad de las piezas producidas.

ABSTRACT

This article shows the developed process with the purpose of determining the acceleration spectra presented in a small lathe when varying the operation parameters, and to settle down how the mechanical vibrations do affect the produced piece's quality.

PALABRAS CLAVE

Mantenimiento predictivo, monitoreo, torno, vibración, aceleración, amortiguamiento, frecuencia, acelerómetros, severidad, acabado superficial.

KEY WORDS

Predictive maintenance, monitoring, lathe, vibration, acceleration, damping, frequency, severity, accelerometers, surface finish.

INTRODUCCIÓN

El monitoreo de las vibraciones en maquinaria y la identificación de piezas rotativas no equilibradas, permite que el desgaste de las máquinas se mantenga bajo constante observación, lo que ayuda a aumentar la vida útil del activo. Cada irregularidad que pueda constituir un síntoma de degeneración de partes mecánicas se detecta a tiempo para que no se produzca ningún daño; permitiendo identificar las causas de los funcionamientos incorrectos de las máquinas en general.

En ese orden de ideas, cabe mencionar que las vibraciones producidas durante el proceso de mecanizado dan lugar a pobres acabados superficiales en las piezas trabajadas (mala calidad), así como a una disminución de la vida útil de las máquinas y herramientas. Debido a esto y en vista de la necesidad de optimizar los procesos, en los últimos años se han realizado distintos estudios con el fin de profundizar en el conocimiento del comportamiento dinámico de las máquinas-herramienta.

A comienzos del año 2006 la Universidad EAFIT adquirió un pequeño torno paralelo alemán marca PRAZI SD-400 para el Laboratorio de Máquinas Herramienta. Este torno se encuentra actualmente disponible para uso en el mecanizado de metales blandos y polímeros, principalmente. Aunque el torno se encuentra actualmente disponible para la operación y presenta un buen desempeño para la fabricación de piezas, se ve la oportunidad de realizar una caracterización

y documentación del comportamiento del torno al variar sus parámetros de operación como son: profundidad de corte, avance, RPM y material de la pieza a trabajar. Dicha caracterización y documentación, se realizará con base en los espectros de aceleración que presenta el torno, en diferentes sitios de su estructura, al variar los parámetros de operación mencionados.

DEFINICIÓN DE LAS PRUEBAS

En general, todas las pruebas experimentales de vibración realizadas al torno se llevaron a cabo bajo las mismas condiciones; es decir, los sensores fueron ubicados exactamente en los mismos puntos de la máquina para cada una de las mediciones realizadas. De igual manera, los sensores ubicados en los diferentes puntos del torno nunca fueron retirados de su sitio hasta finalizar completamente las pruebas; todo esto con el fin de evitar desviaciones y errores significativos en los resultados obtenidos. Además el nivel de vibración agregado por fuentes extrañas como las máquinas cercanas, también fue el mismo cada vez que se tomaron datos. No se recopilaban datos con las máquinas cercanas apagadas, ya que las primeras mediciones fueron realizadas mientras éstas estaban funcionando y se debía garantizar homogeneidad en las diferentes pruebas.

A continuación se muestra la matriz en donde se define cómo se debía realizar cada medición de vibraciones; es decir, para cada prueba se define cuales parámetros de operación permanecen constantes y cuáles varían.

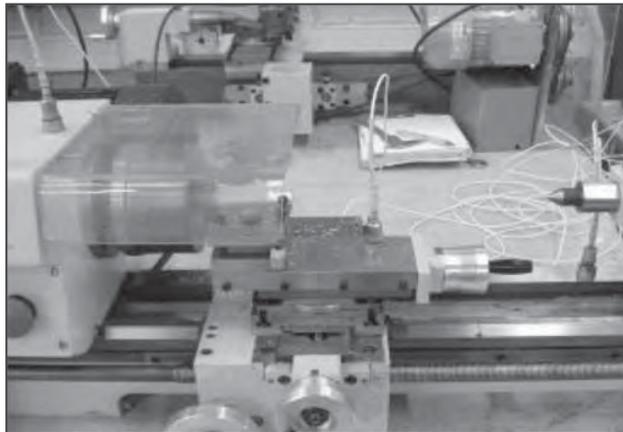
TABLA 1
Matriz de especificaciones para pruebas de vibraciones

VARIABLE	CONSTANTE		PROFUNDIDAD DE CORTE	AVANCE LONGITUDINAL	RPM HUSILLO	MATERIAL TRABAJADO		
			2mm	4,5mm/s	3360 RPM	Nylon	Aluminio	Aceró
PROFUNDIDAD DE CORTE	1mm			✓	✓	N-P-1	AL-P-1	AC-P-1
	2mm			✓	✓	N-P-2	AL-P-2	AC-P-2
	3mm			✓	✓	N-P-3	AL-P-3	AC-P-3
AVANCE LONGITUDINAL	2,2mm/s	✓			✓	N-A-1	AL-A-1	AC-A-1
	3mm/s	✓			✓	N-A-2	AL-A-2	AC-A-2
	4,5mm/s	✓			✓	N-A-3	AL-A-3	AC-A-3
RPM HUSILLO	1250 RPM	✓	✓			N-R-1	AL-R-1	AC-R-1
	1800 RPM	✓	✓			N-R-2	AL-R-2	AC-R-2
	3360 RPM	✓	✓			N-R-3	AL-R-3	AC-R-3

UBICACIÓN DE LOS SENSORES

Luego de conocer las condiciones en que opera el torno, así como su estructura y subconjuntos, se decide que los puntos más significativos para la ubicación de los acelerómetros son: el cabezal, la bancada y el porta herramientas.

FIGURA 1
Ubicación de los acelerómetros



PRUEBAS DE OPERACIÓN

Una vez se tuvo definido todo lo anterior se procedió a realizar las diferentes pruebas de operación, así como las mediciones de aceleración en el torno PRAZI SD-400, con el fin de obtener la información necesaria para establecer las condiciones dinámicas del torno al variar los parámetros de operación durante el máquinado. La toma de datos se realizó mientras se máquinaban (operación de cilindrado) las diferentes probetas según los parámetros definidos en la matriz para cada una de las pruebas. Durante todas las pruebas de operación se utilizó el mismo buril, con el fin de garantizar la igualdad de condiciones en el experimento.

Además el diámetro de todas las probetas utilizadas fue el mismo (19,05 m.m), así como la longitud (100 m.m). Esto garantiza homogeneidad en las condiciones de las diferentes pruebas.

FIGURA 2
Adquisición de datos durante pruebas



ANÁLISIS DE RESULTADOS

Con la información obtenida durante las pruebas se procedió a graficar el espectro de cada una de ellas. Esto para visualizar más fácilmente los picos de aceleración, sus respectivas frecuencias, y de esta manera poder calcular su factor de amortiguamiento.

FIGURA 3
Espectro de aceleración prueba AC-P-2

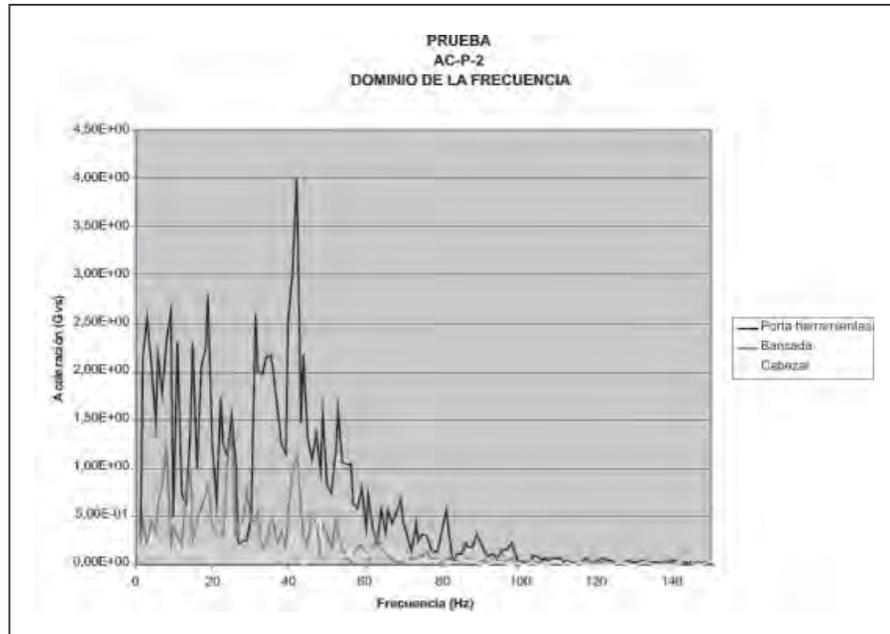


TABLA 2
Frecuencias de máximos locales prueba AC-P-2

PRUEBA AC-P-2		
Portaherramientas	Bancada	Cabezal
Frecuencia (Hz)	Frecuencia (Hz)	Frecuencia (Hz)
2	7	3
8	13	10
18	23	23
30	24	24
39	39	39
41	41	47
52	51	49
58	62	61
68	64	68
72	75	73
80	80	85
88	94	93

TABLA 3
Factor de amortiguamiento prueba AC-P-2

PRUEBA AC-P-2					
Portaherramientas		Bancada		Cabezal	
Frecuencia (Hz)	Amortiguamiento	Frecuencia (Hz)	Amortiguamiento	Frecuencia (Hz)	Amortiguamiento
2	82,56%	7	8,86%	3	20%
8	18,46%	13	7,82%	10	10,35%
18	5,48%	23	1,44%	23	10,24%
30	2,77%	24	3,56%	24	9,70%
39	1,40%	39	0,04%	39	1,15%
41	1,98%	41	2,79%	47	1,41%
52	1,84%	51	1,24%	49	0,63%
58	1,47%	62	1,05%	61	4,01%
68	1,80%	64	0,39%	68	1,79%
72	0,82%	75	1,87%	73	2,47%
80	1,00%	80	16,51%	85	1,67%
88	1,03%	94	3,28%	93	1,20%

A continuación se muestra de manera tabulada las frecuencias que se encontraron en común para los tres componentes. Estas frecuencias son las frecuencias naturales del sistema, es decir, las frecuencias a las que el sistema vibra siempre, independiente de las condiciones de operación.

TABLA 4
Frecuencias naturales del sistema

Frecuencia (Hz)	16	24	32	52	56	65	74	80	92
-----------------	----	----	----	----	----	----	----	----	----

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Se tabuló la amplitud (aceleración) que se presentaba a cada una de las frecuencias naturales halladas en el sistema. Esto se hizo para cada componente analizado del torno: bancada, cabezal y portaherramientas con base en el parámetro variable: avance longitudinal, profundidad de corte y RPM.

A continuación se muestra, a modo ilustrativo, una tabla obtenida como resultado del experimento, de acuerdo al parámetro de operación que se varió en cada prueba y al material trabajado.

Las celdas correspondientes a aceleraciones mayores a 1G (1ª Gravedad) aparecen sombreadas para una apreciación más fácil y clara.

TABLA 5
Variación de la aceleración según el avance

VARIACIÓN DE LA ACELERACIÓN EN EL PORTAHERRAMIENTAS DE ACUERDO AL AVANCE DE CORTE									
Frecuencia (Hz)	Aceleración (Gvs)								
	Prueba								
	AC-A-1	AC-A-2	AC-A-3	AL-A-1	AL-A-2	AL-A-3	N-A-1	N-A-2	N-A-3
16	0,730	0,950	1,220	0,260	0,090	0,500	0,104	0,065	0,081
24	0,620	0,850	1,710	0,210	0,160	0,300	0,104	0,167	0,187
32	1,400	1,320	2,990	0,350	0,080	0,310	0,007	0,011	0,004
52	0,780	1,270	0,700	0,200	0,020	0,500	0,001	0,001	0,002
56	1,170	0,680	0,560	0,160	0,130	0,160	0,088	0,007	0,005
65	1,040	0,500	0,610	0,190	0,070	0,110	0,001	0,002	0,002
74	0,520	0,310	0,520	0,030	0,030	0,100	0,005	0,004	0,061
80	0,020	0,190	0,020	0,020	0,020	0,040	0,003	0,002	0,003
92	0,130	0,140	0,210	0,020	0,020	0,040	0,001	0,002	0,001

En la siguiente tabla se muestran, de manera clasificada, los diferentes picos de aceleración mayores a 1G presentados en cada uno de los componentes analizados.

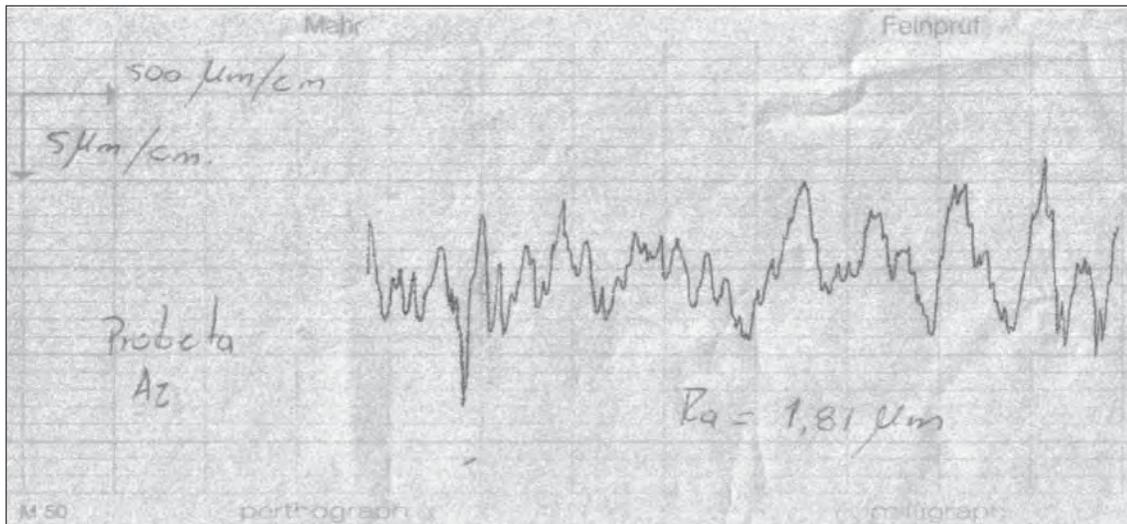
TABLA 6
Clasificación de picos de aceleración mayores a 1G

NÚMERO DE PICOS DE ACELERACIÓN MAYORES A 1G PRESENTADOS EN CADA UNO DE LOS COMPONENTES DE ACUERDO AL MATERIAL				
COMPONENTE	PARÁMETRO VARIABLE			TOTAL
	AVANCE	PROFUNDIDAD	RPM	
PORTAHERRAMIENTAS	8 (acero)	12 (acero) 5 (aluminio)	3 (acero) 1 (aluminio)	29
BANCADA	1 (aluminio)	3 (acero) 1 (aluminio)	SIN PICOS > 1G	5
CABEZAL	NO PRESENTA PICOS MAYORES A 1G			0
TOTAL	9	21	4	34

ACABADO SUPERFICIAL

Finalmente se evidencia entonces que es posible establecer una relación directa entre las vibraciones generadas durante el proceso y la calidad de la pieza maquinada. Este hecho resalta la importancia que tiene en la industria manufacturera realizar un monitoreo de maquinaria mediante un estudio de vibraciones con el fin de garantizar, no sólo la disponibilidad del equipo, sino asegurar la calidad de sus productos.

TABLA 7
Rugosidad superficial probeta A2



En la siguiente tabla se muestra de manera resumida la calidad del acabado superficial de cada probeta. De esta tabla se pueden sacar algunas conclusiones importantes.

TABLA 8
Rugosidad de cada probeta

PROBETA	MATERIAL	PARÁMETRO VARIABLE	Ra (μm)
A1	Aluminio	RPM	0,57
A2	Aluminio	Avance	1,81
A3	Aluminio	Profundidad	5,1
N1	Nylon	RPM	4,2
N2	Nylon	Avance	7,3
N3	Nylon	Profundidad	13,3
AC1	Acero	RPM	4,1
AC2	Acero	Avance	3,7
AC3	Acero	Profundidad	4,7

CONCLUSIONES

Se pudo comprobar la importancia del monitoreo de vibraciones en máquinas rotativas como técnica de mantenimiento predictivo, logrando identificar por medio de éste el estado operacional de la máquina. Es muy importante que quién utilice esta técnica tenga información histórica acerca del comportamiento de la máquina y sus niveles de vibración, que sirva como base comparativa para realizar un seguimiento de las variables a través del tiempo.

De los diferentes parámetros de operación de corte del torno, se pudo concluir que la profundidad de corte es el parámetro que más aumenta la severidad de las vibraciones mecánicas en la máquina. Esto es claro al comparar los cinco (5) picos de aceleración mayores de 1G presentados al variar las RPM y los veintiún (21) picos mayores a 1G presentados al variar la profundidad de corte. Además se observó como esto repercute en el acabado superficial de las piezas trabajadas, obteniendo rugosidades de hasta 13,3 μm en el caso de la probeta de nylon.

Es claro que independientemente del parámetro variable, el portaherramientas es el componente que presenta una mayor severidad en las vibraciones a la hora de maquinarse piezas. Esto es evidente, ya que en las diferentes pruebas realizadas presenta un total de veintinueve (29) picos de aceleración mayores a 1G, la bancada sólo presenta cinco (5) picos de aceleración mayores a 1G; mientras que el cabezal, por su parte, es el componente que presenta menores severidades de vibración, ya que en ninguna de las pruebas realizadas presenta picos de aceleración mayores a 1G. Esto se debe a que el portaherramientas, al estar más cerca de la fuente generadora de vibraciones (debido al proceso), está más propenso a presentar una aceleración mayor que los demás componentes, ya que recibe casi directamente la mayor parte de las fuerzas generadas durante el maquinado ocasionando su vibración. Mientras que los demás componentes, al estar más alejados, reciben muy poca de la energía generada durante el proceso, pues gran parte es absorbida y/o disipada en forma de vibraciones por otros componentes más cercanos a la fuente, o disipada en forma de ruido o calor.

Dentro de los materiales trabajados se pudo observar que mientras mejor maquinabilidad presente el material, se obtienen mejores acabados superficiales. Esto es claro al comparar la variación de la profundidad de corte en el nylon con respecto a la del aluminio, donde obtenemos rugosidades de 13,3 μm y 0,57 μm , respectivamente. Esto puede ser causado por la ductilidad que presenta cada material, ya que en los materiales muy dúctiles la herramienta de corte muchas veces no es capaz de arrancar el material, generando una deformación plástica, en vez del cizallamiento.

BIBLIOGRAFÍA

BARTSCH, Walter. "Alrededor del torno". Barcelona: Reverte, 1964. Estudios de la UNED.

BENTLY, Donald y HATCH, Charles. "Fundamentals of rotating machinery diagnostics". Minden - Nevada. 2002: Bently pressurized bearing press. 725p. (). ISBN 0971408106.

CARDONA FOIX, Salvador y VIVANCOS CALVET, Joan. "introducción a las vibraciones y sus causas". En: Automatización industrial metalmecánica. P.7-21 Bogotá, 1999. ISSN 0124-0218.

GERLING, Heinrich, "Alrededor de las máquinas-herramienta: para arranque de viruta y herramientas". Barcelona: Reverte, 1987. Mc Graw-Hill Higher Education. ISBN 8429160493.

HARTOG, J. P. Den. "Mecánica de las vibraciones". México: Compañía editorial continental, 1966. 574p.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACION. Documentación. Presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación. Bogotá-Colombia: ICONTEC, 2002. 37p. (NTC 1486).

KALPAKJIAN, Serope y SCHMID, Steven. "Manufactura ingeniería y tecnología". México: Pearson, 2002. Manufacturing Engineering And Materials Processing. ISBN 9702601371.

LAFITA BABIO, Felipe. "Introducción a la teoría de vibraciones mecánicas". Barcelona: Labor, 1968. 238p.

THOMSON, William y RINCON CASTELL, Humberto . "Teoría de vibraciones: aplicaciones". México: Prentice Hall, 1982. 491p. ISBN 9688800996.

VELEZ DE LOS RIOS, Jorge Alberto. "Análisis de vibraciones para máquinas rotativas". Trabajo de grado (Ingeniería Mecánica) Medellín, 1989. 137p. Universidad EAFIT.

A-MAQ@ Análisis de maquinaria, servicios y productos [En línea] [Citado Agosto 2007]. <http://www.a-maq.com>

DEMECANICA@ Mecánica clásica y de estructuras [En línea] [Citado Agosto 2007] Disponible desde Internet: <http://www.demecanica.com>

FREEPATENTS Patentes gratis [En línea] [Citado Septiembre 2007]. Disponible desde Internet: www.freepatentsonline.com

GRIZZLY@ Fabricante de máquinas-herramienta [En línea] [Citado Mayo 2007]. Disponible desde Internet: http://www.grizzly.com_

ISMG@ Importador y distribuidor de tornos PRAZI [En línea] [Citado Mayo 2007]. Disponible desde Internet: <http://www.ismg4tools.com>

MONOGRAFÍAS@ Centro de documentación y publicaciones [En línea] [Citado Mayo 2007]. Disponible desde Internet: <http://www.monografias.com>

PUCRS@ Universidad Pontificia Católica de Río Grande del Sur – Brasil. [En línea] [Citado Mayo 2007] Disponible desde Internet: <http://www.pucrs.br>

WIKIPEDIA@ Enciclopedia Virtual – [En línea] [Citado Mayo 2007]. Disponible desde Internet: <http://es.wikipedia.org>

CONSTRUCCIÓN DE PROTOTIPO FUNCIONAL PARA SEPARACIÓN DE ACEITES Y GRASAS EN PELDAR



ANDRÉS FERNÁNDEZ JARAMILLO
afernan8@eafit.edu.co
Departamento de Ingeniería Mecánica

JUAN MIGUEL MEJÍA ARISTIZÁBAL
jmejiaa5@eafit.edu.co
Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS
DISEÑO DE SISTEMAS TÉCNICOS

ASESOR PRINCIPAL
JUAN SANTIAGO VILLEGAS LÓPEZ

EMPRESA
OWENS ILLINOIS PELDAR

RESUMEN

En este artículo se presenta la solución a una necesidad presentada por la empresa Peldar ubicada en la ciudad de Medellín.

Principalmente el problema radica en la separación de líquidos peligrosos para la reutilización del agua que necesita el proceso de producción de envases de vidrio en todo su ciclo de fabricación.

Para ello se construye un prototipo funcional adecuado a las necesidades funcionales, económicas y productivas de Peldar y se realiza un proyecto que parte desde el estudio de normas ambientales, pasando por la elección de un método de separación de líquidos, su construcción hasta llegar a una futura comercialización de dicho prototipo en otras áreas de la industria y del país.

Se obtiene finalmente un proyecto que será muy funcional en múltiples áreas de la industria y que visto como proyecto industrial, trae beneficios económicos, ambientales y posibles soluciones productivas a partir de desechos líquidos peligrosos.

ABSTRACT

In this article a solution is exposed due some needs presented by Peldar, an organization that is placed in Envigado city.

Primarily, the problem consists in separate dangerous liquids for reuse the water that the productive process needs along all glass bottle production.

Because of that, a functional prototype was built to supply all functional, economic and productive needs for Peldar and so a complete project was established which begins from environmental laws studies, going on choosing a separation liquid method, its construction, thru it future marketing plan in many others industries and cities from Colombia.

Finally, this project becomes very functional in many industries, and additionally, if it is watched as an integral project, it brings economic, environmental and productive benefits, beginning from dangerous liquid debris.

PALABRAS CLAVES

Oil skimmer, desechos peligrosos, tanque API, prototipo, lodos, natas, raspadores, zona fría, formación.

KEY WORDS

Oil skimmer, dangerous debris, API tank, prototype, sludge, scraper, cold zone, forming area.

OBJETIVO GENERAL

Construir un prototipo funcional que separe desechos peligrosos tales como aceite y residuos del proceso productivo del agua, para el beneficio industrial de la planta de producción de Peldar. Esto con el fin de limpiar el agua para reutilizarla como refrigerante de piezas utilizadas en el área de Formación.

DESARROLLO

Peldar, a través de toda su historia ha sido la pionera en la fabricación de envases de vidrio en Colombia y en la actualidad Cristalería Peldar cubre en su totalidad el mercado nacional de vidrio, con sus líneas de envases, cristalería y vidrio plano.

Al ser Peldar una compañía de tanta trascendencia en el país, debe cumplir con las normas mínimas impuestas por el estado, para la realización de cualquier proceso.

A Peldar y a todas las empresas de Colombia se les exigen ciertas normas ambientales en su proceso de producción. Es por ello que la compañía ha venido adelantando un programa de gestión ambiental enfocada en la producción más limpia, donde los proyectos que se planean y ejecutan comprenden una serie de variables orientadas en: (@ PELDAR, 2007)

- Uso eficiente y ahorro de los recursos naturales tales como agua, fuentes de energía, combustibles y materias primas.
- Disminución y control en la generación de residuos sólidos a través de un programa de manejo integral.
- Minimización y control en la generación, manipulación y disposición de residuos peligrosos.
- Identificación, control y disminución de los insumos que revisten un carácter peligroso o tóxico.
- Seguimiento y monitoreo de la calidad de nuestras fuentes de suministro, emisión y vertimientos.

El control que se hace sobre las emisiones y vertimientos en Peldar se realiza sobre ciertos factores tales como el agua. Para ello se cuenta con una planta de tratamiento preliminar la cual remueve materiales contaminantes del efluente y periódicamente se realizan análisis de la calidad de los vertimientos bajo los parámetros establecidos por la legislación ambiental colombiana y a su vez ejecutados por laboratorios acreditados especializados. Dichos análisis son enviados a la autoridad competente para su posterior validación. (@PELDAR, 2007)

TABLA 1
Gestión ambiental del agua

Componente	Factores contaminantes	Prevención (emisiones)	Mitigación	Tratamiento
AGUA	Agua residua doméstica	Buenas prácticas ambientales (evitar verter aceites a alcantarillas)	Ahorro y uso eficiente de agua (menos vertimientos y menos tratamientos químicos en torres de enfriamiento principalmente)	Sistema API, Remueve:
	Agua residual industrial	Filtros (mallas y rejillas) Conexión a colectores de EPM		Sólidos Grasas Aceites

(@PELDAR, 2007)

Para llevar a cabo una protección del agua integral, se debe pensar también en la reutilización del agua luego del proceso de producción.

El agua en todo su ciclo productivo, recoge grandes cantidades de lodos y aceites debido a puntos de mantenimiento de las mismas redes de agua, lo que incluye lubricación, de la cual se desprenden grasas y aceites que finalmente terminan en el agua.

Para poder reutilizar el agua, hay que separarla de dichas grasas, lodos y natas y para esto se evalúan algunos métodos de separación de aceites.

Luego de investigar los diferentes sistemas para poder mejorar el sistema de recolección de aceites, se pueden identificar varios tipos de dispositivos que son utilizados en la industria y algunos de ellos utilizados en derrames de crudo. Se pueden identificar tres grandes grupos de dispositivos, los oil skimmers¹ convencionales, los oil skimmers de discos o tambores y los Separadores de aceites con filtros.

Entre los convencionales existen varios tipos y varían según su método de recolección, así:

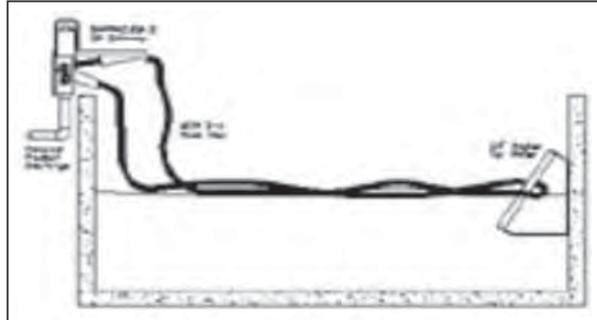
FIGURA 1
Oil Skimmer de banda de caucho



(@ABANAKI, 2007)

¹ *Oil Skimmer*, Nombre comercial para separador de Aceites o grasas

FIGURA 2
Ciclo de funcionamiento de Oil Skimmer de cuerda de filamentos



(@AMBARENVIRONMENTAL, 2007)

FIGURA 3
Oil Skimmer de cuerda de filamentos



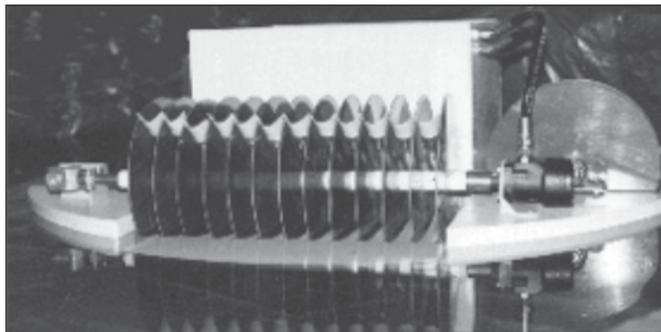
(@MEGATOR, 2007)

FIGURA 4
Oil Skimmer de vertedero



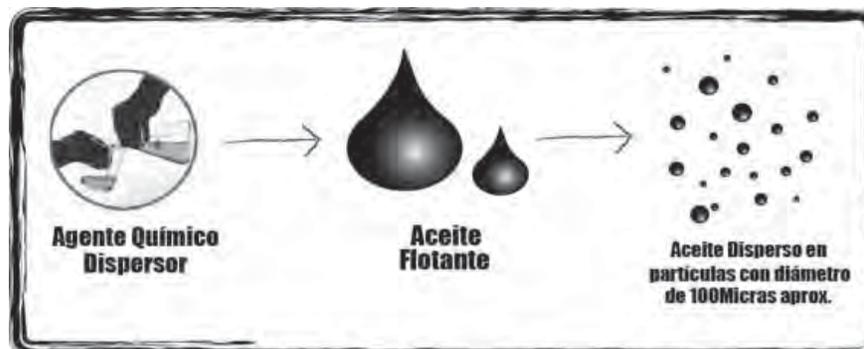
(@MEGATOR, 2007)

FIGURA 5
Oil Skimmer de discos



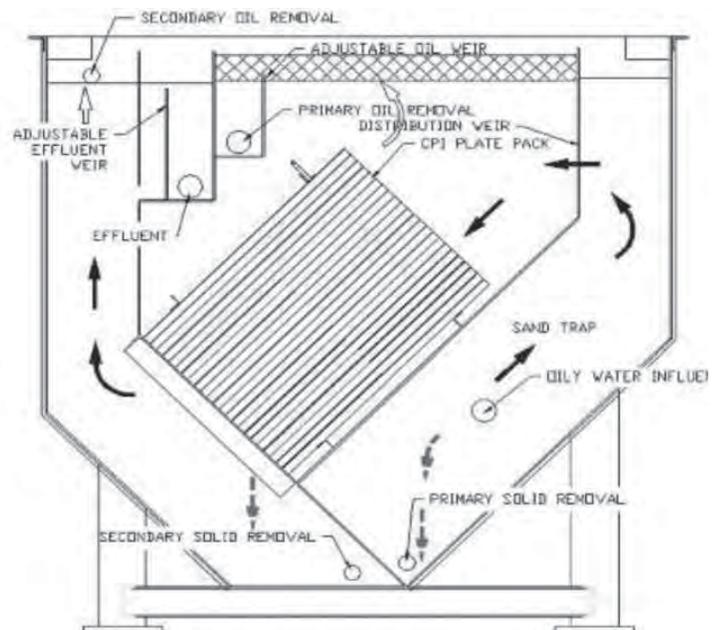
(@ULTRASPIN, 2007)

FIGURA 6
Proceso de dispersión química



(Elaboración propia)

FIGURA 7
Sistema por filtros de Oil Skimmer



(@ASCMEDIOAMBIENTE, 2007)

Luego de evaluar método por método, teniendo en cuenta sus características principales, ventajas y desventajas, se realiza una matriz de decisión donde se tienen en cuenta factores como costo, mantenimiento, espacio ocupado, entre otros, y allí se obtiene como resultado que el método más adecuado para este uso, es el oil skimmer por banda de caucho.

Para este método se plantean varias propuestas funcionales a través de bosquejos realizados.

PRIMERA PROPUESTA

La primera propuesta de dispositivo consiste en utilizar el principio de que las bandas de caucho son oleófilicas y permiten el arrastre de lodos aprovechando la diferencia de densidad con el agua.

FIGURA 8
Bosquejo de posible solución para remoción de lodos



(Elaboración propia)

Las características de dicho bosquejo son evaluadas de la siguiente manera:

TABLA 2
Ventajas y desventajas propuesta 1

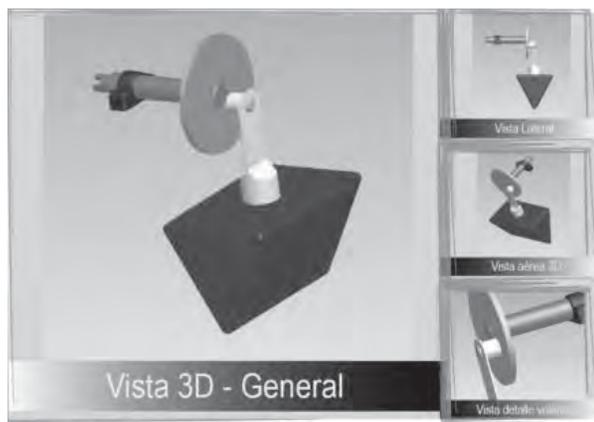
Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Construcción sencilla • Eficiente • Fácil mantenimiento • Bajos costos de construcción 	<ul style="list-style-type: none"> • Poca capacidad • Pesado para su tamaño

(Elaboración propia)

SEGUNDA PROPUESTA

La segunda propuesta que se muestra, es un dispositivo que funciona con un principio basado en la diferencia de densidades y el movimiento por ondas del agua.

FIGURA 9
Bosquejo 2 de posible solución para remoción de lodos



(Elaboración propia)

Las características de dicho bosquejo son evaluadas de la siguiente manera:

TABLA 3

Ventajas y desventajas de propuesta 2

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Facilita la función de recolección de aceites • Bajos costos de fabricación • Fácil instalación • Mantenimiento sencillo de realizar y muy esporádico 	<ul style="list-style-type: none"> • Deja el proceso a medias • Adicionalmente necesitaría de un método de banda • Requiere elementos complementarios para cumplir la función. • No es eficiente

(Elaboración propia)

TERCERA PROPUESTA

La tercera propuesta que se presenta es basada en el funcionamiento por banda de caucho. Esta propuesta está un poco más adecuada al espacio disponible para dicho dispositivo y funciona de forma similar al prototipo propuesto inicialmente. La diferencia radica en que este prototipo no contiene partes flotantes, sino que tiene una parte de su cuerpo sumergido. Esto permite que la banda tenga un contacto más amplio con el fluido a recoger y por ende recoja más aceites en menos vueltas.

FIGURA 10
Bosquejo 3 de posible solución para remoción de lodos



(Elaboración propia)

Las características de dicho bosquejo son evaluadas de la siguiente manera:

TABLA 4
Ventajas y desventajas de propuesta 3

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Posición vertical economiza espacio • Gran recorrido de la banda • Alta eficiencia • Mas contacto con el fluido • Mas arrastre de lodos 	<ul style="list-style-type: none"> • Mantenimiento complejo y mucho desarme para realizarlo a las partes sumergidas

SELECCIÓN DE PROPUESTA

Considerando las ventajas y desventajas propuestas en cada una de las opciones anteriores, se decide que la mejor opción de dispositivo es la tercera, es decir el método por banda de caucho de posición vertical.

Sus ventajas son más relevantes en el contexto que se va a instalar pues las condiciones de espacio y de accesibilidad, la eficiencia y la forma de operar, son más acordes a la planta de Peldar en Envigado.

Para la construcción del oil skimmer es necesario tener en cuenta algunos aspectos como lo son los recursos y materiales a utilizar, cuales podemos usar reciclados y los cálculos matemáticos requeridos para la construcción.

Se piensa en llevar este proyecto a que cueste lo menos posible y tratar de llevar el costo de fabricación final lo más cerca de cero posible.

Los diseños y bocetos preliminares indicaban que se necesitaban algunos elementos básicos para la construcción de la máquina; se necesitaría una estructura o un chasis donde van a ser conjugadas las demás piezas, dos rodillos o cilindros, una banda, un motor y raspadores.

Todos elementos básicos son comunes en la planta de Envigado, es así que se piensa en la forma de conseguir lo

máximo de los elementos dentro de la planta y que además estén en desuso porque quizás se está construyendo algo que es aún más costoso. Es así que se da en la tarea de buscar en todas las áreas de la planta, las piezas para la construcción. Principalmente se busca en el área de Zona Fría que es donde los envases son conducidos a través de bandas transportadoras hacia las empacadoras. También se busca en Casa Fuerza, motores que se puedan adaptar al diseño. En el área de Materias Primas se busca bandas de caucho, que son las que transportan la materia prima que será conducida hacia los hornos. En fin, se busca en casi todas las áreas de la planta con el fin de conseguir lo que más se pueda para construir el modelo funcional.

FIGURA 11
Rodillos de bandas transportadoras



(PELDAR, 2007)

Una vez construido y en funcionamiento el oil skimmer, se realiza un análisis de la situación inicial vs la situación final en cuanto al aspecto económico. La labor más difícil era la de la recolección de los sobrenadantes de lodos que quedan después del proceso en la planta. La persona encargada se tomaba aproximadamente cerca de dos días enteros por semana cuando había mucha cantidad de lodos. El proceso de recolección de lodos en forma manual se hace en forma de “desnatado” recogiendo los lodos en un balde con algunos agujeros que dejan salir el agua. La herramienta era totalmente rudimentaria, pesada, poco eficiente, recoge agua y el proceso se toma mucho tiempo porque además de ser ineficiente se hace en tres etapas; del balde con mango de extensión se llevan los lodos a un balde más grande, y después de este el lodo se vierte en el tanque final.

Posteriormente, al convertir el proceso de manual a semiautomático, el aseador se convierte en operador de la máquina que recolecta lodos. Las mejoras realizadas se reflejan en eficiencia en litros/minuto de lodo y en costos de proceso \$/año. En ambos aspectos el Oil Skimmer logra disminuir en porcentajes superiores al 90%.

En la siguiente tabla se observa el rendimiento en términos de tiempo y dinero.

TABLA 5
Recolección manual vs. Oil skimmer, datos comparativos

		Recolección Manual	Oil Skimmer	
Oil Skimmer vs. Recolección Manual	Practicidad	Alta suciedad durante recolección por transporte	Proceso recolecc. en canal	
		Trabajo tedioso y desgastante	Elimina operario	
		Trabajo en dos etapas	Una etapa	
		Utilización de baldes, tarros, elementos aseo	No aplica	
		Fatiga por parte del operario	No aplica	
		Manual	Semi-automático	
	Costos y Eficiencias			
	Costo hora (\$/hr)	\$ 3.368	\$ 45,5	
	Eficiencia (lts/min)	5	8	
	Costo (\$/Gl)	\$ 2.8	\$ 0.024	
	Costo anual	\$2.263.296	\$ 22.800	
	Costo Comercial de un Oil Skimmer			
PAY BACK	0			
Reducción en costos de operac.	98.99%			

(PELDAR, 2007)

Los oil skimmer son prototipos que se encuentran en el mercado de manera asequible, lo cual comprueba que la utilización de estos prototipos no se limita a una sola compañía, ni a una sola ciudad, ni mucho menos al departamento de Antioquia.

Es por esto que uno de los objetivos de este proyecto, es llevar la construcción de oil skimmers con bajo presupuesto y materiales reutilizables, al resto de la industria local y nacional.

Basados en las funciones que cumple un oil skimmer, se determina que este proyecto se podría ampliar a otras industrias tales como la industria automotriz, industria de plásticos, industria textil, industria del vidrio, entre otros.

Se encuentran cifras bastante significativas que en cierta forma garantizan la viabilidad de hacer de este proyecto, un producto comercial.

Otra de las exploraciones que sale de este proyecto es la posible utilización de los desechos peligrosos que este prototipo arroja como desecho. Estos residuos pueden ser de dos características; peligrosos y no peligrosos. Los residuos líquidos peligrosos son aquellos que provienen de hidrocarburos y tienen alto contenido de metales pesados. El lodo que se genera y separa en el Sistema API son desechos peligrosos, esto se concluye tras un análisis de laboratorio realizado por la empresa. Es por ello que estos lodos deben ser tratados con sumo cuidado porque pueden presentar un problema potencial ambiental o peor aun un problema de salud pública. (@PELDAR, 2007)

La disposición final de los lodos no puede ser tomada a la ligera por los grandes riesgos, es así que se tratan de buscar diferentes maneras responsables de manejar estos residuos. Además la empresa tiene en su imagen el cuidado del medio ambiente al impulsar el vidrio como un material de empaque totalmente ecológico y 100% reciclable.

Los tratamientos de los lodos siempre buscan eliminar los elementos que son peligrosos y convertir esos lodos en abono. De no ser posible, se procede a incineración o confinamiento (@PELDAR, 2007).

El uso final más adecuado para los lodos es la devolución de estos al suelo, haciendo parte de ellos, bien sea para abono o simple relleno de terreno. Esto es posible siempre y cuando los lodos estén “desactivados” que no haya posibilidades de contaminación.

Hay que partir de varias premisas para pensar en disposiciones finales en la planta de Envigado. El terreno es muy reducido y para algunos tratamientos se necesitan extensiones de terreno considerables para llevar a cabo los procesos de secado, descomposición, etc. Otro aspecto a tener en cuenta es que teniendo el producto final, la “tierra” a partir de los lodos, no habría lugar donde verterla. Así que la disposición final de los lodos será labor de terceros ajenos a la planta, quienes se puedan encargar del uso de los lodos.

En la actualidad tres son los principales usos posibles de lodos:

- Aplicación al suelo con fines de fertilización y reciclaje de nutrientes y de la materia orgánica
- Valorización energética, incluyendo biometanización.
- Depósito en vertedero.

CONCLUSIONES

La literatura obtenida de la investigación acerca de normas ambientales que rigen actualmente nuestro entorno, permitió conocer las limitaciones de los organismos gubernamentales. El análisis de esta literatura permite observar una diferenciación negativa entre la legislación nacional frente a las normas que rigen a las empresas en el ámbito internacional.

En Peldar, al realizar un análisis basado en la literatura obtenida acerca de reglamentación ambiental, se tomó éste como punto de partida y se confronta con la realidad. Este resultado arroja que el nivel o porcentaje que se está cumpliendo con las normas ambientales, es satisfactorio para el medio ambiente en la medida en que se cumple con la reglamentación necesaria.

La investigación acerca de los métodos de separación de lodos, permite conocer diferentes métodos de separación de fluidos, su importancia en el mercado y los fabricantes de dichos prototipos

Identificar las necesidades de construcción es un factor importante debido a que según las necesidades se establecen criterios de espacio, costo, rendimiento y así confrontar dichos criterios, con los criterios de cada uno de los métodos.

En la recolección de datos de la investigación realizada sobre los diferentes métodos de separación de fluidos, se observa la existencia de múltiples métodos de separación de fluidos que se diferencian entre sí por su principio mecánico y cada método de separación se utiliza según su principio, en una plaza dada.

En los métodos de separación se toman sus características de remoción tales como velocidad, efectividad, tiempos, entre otras como los factores principales para tomar una decisión de cual método escoger según la necesidad que se presente.

El diseño de diferentes propuestas para la remoción de lodos, permite enfocar los conceptos iniciales a las necesidades más importantes en la construcción de un prototipo funcional. Entre estas necesidades importantes para Peldar se consideran el costo y la eficiencia como las más relevantes además del compromiso ambiental que esta empresa desempeña.

La realización de una lista de materiales necesarios para la construcción del prototipo, permitió enfocar la búsqueda de los mismos, optimizar costos de fabricación y concretar costos de fabricación y montaje.

De la búsqueda de materiales para la construcción del prototipo dentro de Peldar, se obtuvo que además de reciclar materiales y así contribuir con el medio ambiente, los costos de la fabricación del prototipo apuntaron al mínimo costo casi a \$0 pesos. Esto indica que el reciclaje además de ser un aspecto importante en el cuidado del medio ambiente, es además un factor que genera economía.

Hay piezas usadas que debido al deterioro en su función principal son desechadas sin tener en cuenta las diferentes alternativas aparte de su chatarrización. Con este proyecto se demuestra que algunos elementos que son inútiles para algunas tareas pueden ser reutilizados en otros procesos, en beneficio para la empresa al alargar la vida útil de sus activos.

A nivel comercial, el proyecto no se limita únicamente a Peldar, debido a que explica a procesos de fabricación similares tales como la industria textil, la automotriz, la industria del plástico, entre otras, las cuales tienen un amplio sector de la economía nacional según los datos estadísticos más recientes de la industria nacional.

Al establecer el costo de fabricación del oil skimmer, y al saber el costo de cada una de las partes del mismo, se establece un precio comercial para la industria nacional el cual es completamente competitivo y mantenible en el tiempo con respecto a productos similares de fabricación extranjera.

Los lodos industriales pueden ser aprovechados para obtener un beneficio energético por medio de la biometanización al obtener gas metano. La búsqueda de nuevas fuentes de energía debido a los altos costos del petróleo, llevan a la empresa a buscar energías alternativas más económicas como el gas natural y el gas propano. El gas metano generado a partir de los lodos se puede convertir en una fuente de energía para algunos procesos de bajos consumos de gas como son los hornos de moldura en Peldar.

O-I Peldar, al ser líder en reciclaje de vidrio como material de empaque, tiene que tener unas políticas claras en cuanto a conservación y manejo del medio ambiente. Además al ser la planta de Envigado tan cercana a barrios residenciales, principalmente los ruidos y olores tienen que estar bajo control constantemente.

Este proyecto queda como punto de partida para realizar mejoramientos del prototipo en aspectos importantes como el diseño para optimizar materiales de construcción y costos, y en la eficiencia para optimizar ratas de remoción y tiempos.

En el ámbito ambiental el proyecto queda abierto a realizar análisis químicos de DBO y DQO para el aprovechamiento de lodos en distintas áreas como la construcción, rellenos sanitarios y aprovechamiento de energía.

BIBLIOGRAFÍA

Ambarenvironmental@, 2007. USA.; Ambar Oil Skimmers and environmental Products, <http://www.ambarenvironmental.com> (21 mayo de 2007)

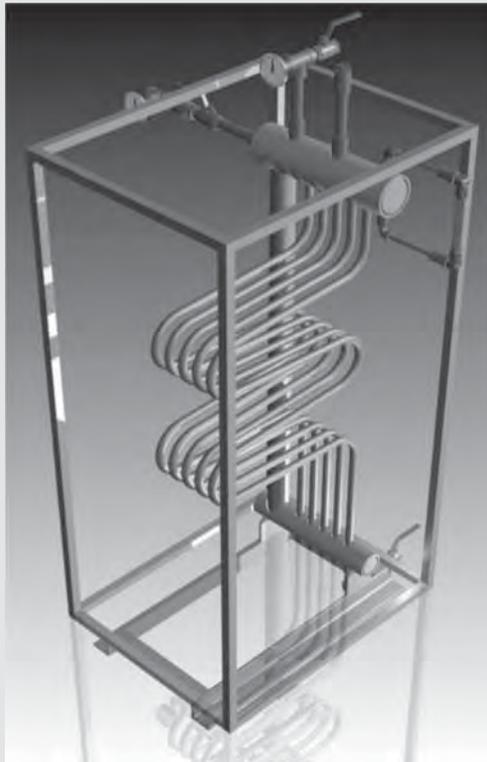
drumskimmer@, 2007 USA; Elastec Inc. Oil Spill Equipment <http://www.drumskimmer.com/skimmers.html> (21 mayo de 2007)

zebraskimmers@, 2007 USA; Zebra Skimmers Metalworking Fluid Maintenance Products <http://www.zebraskimmers.com> (21 mayo de 2007)

acsmedioambiente@, 2007 México; ACS Medio Ambiente <http://www.acsmedioambiente.com/> (21 mayo de 2007)

separadordegrasas@, 2007 España; SOLUMED Soluciones medioambientales e Industriales <http://www.separadordegrasas.com/> (21 mayo de 2007)

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE GENERADOR DE VAPOR DE PEQUEÑA CAPACIDAD PARA PYMES



ANDRÉS FELIPE MESA CORREA

amesacor@eafit.edu.co

Departamentos de Ingeniería Mecánica

FELIPE ANDRÉS PABÓN RAMÍREZ

fpabonra@eafit.edu.co

Departamentos de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS
MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

ASESOR PRINCIPAL
LUIS SANTIAGO PARÍS

EMPRESA
UNIVERSIDAD EAFIT

RESUMEN

Con este proyecto se pretende mostrar el proceso de diseño y construcción de un prototipo de generados de vapor de pequeña capacidad enfocado a PYMES.

ABSTRACT

This project shows the design and construction process of a small capacity steam generator.

PALABRAS CLAVE

Vapor, tubos ascendentes, tubo descendente, domo vapor, domo inferior, hogar de combustión, caldera acuotubular, potencia, presión, temperatura.

KEY WORDS

Steam, riser, downcomer, steam drum, mud drum, furnace, watertube boiler, power, pressure, temperature.

INTRODUCCIÓN

La generación de vapor ha sido un desarrollo que llevo al mundo a la revolución industrial, pasando de hacer procesos manuales a máquinas movidas por este tipo de energía.

Inicialmente el vapor fue utilizado como generador de movimiento, hoy en día este tipo de energía ha sido remplazada por la energía eléctrica, los combustibles fósiles, la energía nuclear, etc. Esto debido a la comparación de eficiencias y facilidades de operación. Pero aunque no sea muy utilizado en este tipo de procesos, de generación de movimiento, tiene una gran importancia en otros usos, como lo son en las empresas que procesan papel, en lavanderías, tintorerías, envasadoras, sistemas de esterilización, alimentación, incluso en la generación de energía eléctrica, etc.

Debido a los altos índices de desarrollo que se vienen dando en los últimos años, se han ido requiriendo cada vez más equipos generadores de vapor para pequeñas y medianas empresas, quienes no requieren equipos de gran capacidad; siendo difícil conseguir quien fabrique dichos equipos, por la baja rentabilidad que pueden generar para el fabricante en comparación con la producción de equipos de gran capacidad.

Las calderas son aparatos en donde un calor procedente de cualquier fuente de energía se transforma en energía utilizable, las calderas trabajan a presión para generar vapor más rápido. El principio de funcionamiento es mediante el cambio de fase de líquido a vapor de un fluido. La función principal de las calderas es calentar agua o generar vapor para un proceso específico. El vapor se genera debido a la absorción de calor producido por la combustión de un

combustible. Las calderas constan básicamente de un hogar, un intercambiador de calor donde se calienta el agua, y un sistema para evacuar los gases de la combustión.

La caldera de vapor se conoce como aquella unidad en la cual se puede cambiar el estado del fluido de trabajo (agua) de líquido a vapor de agua, en un proceso controlado a presión constante, mediante la transferencia de calor de un combustible que es quemado en una cámara conocida como hogar. En algunos casos se puede llevar hasta un estado de vapor sobrecalentado

METODOLOGÍA

La metodología utilizada para el diseño del generador de vapor, son pasos secuenciales dados por la combinación de metodologías de diseño, normatividad, requerimientos generales para la fabricación de calderas, operación de estas y características de generadores de vapor existentes.

Primero se definen las condiciones de trabajo y operación del equipo, definiendo presión de trabajo, el tipo de quemador a utilizar y el combustible.

El tipo de caldera que se trabajó es una caldera acuotubular por circulación natural de un solo paso, esto significa que los gases de combustión solo pasarán una vez por los tubos ascendentes. Se seleccionó este tipo de caldera por su fácil fabricación y operación, por tener más ventajas frente a las calderas piro-tubulares en la mayoría de los procesos que requieran generación de vapor; además por ser un producto nuevo en el mercado. En la Figura 1 se muestran las diferentes partes del cuerpo sometido a presión de una caldera acuotubular.

FIGURA 1
Esquema de la caldera acuotubular P&M

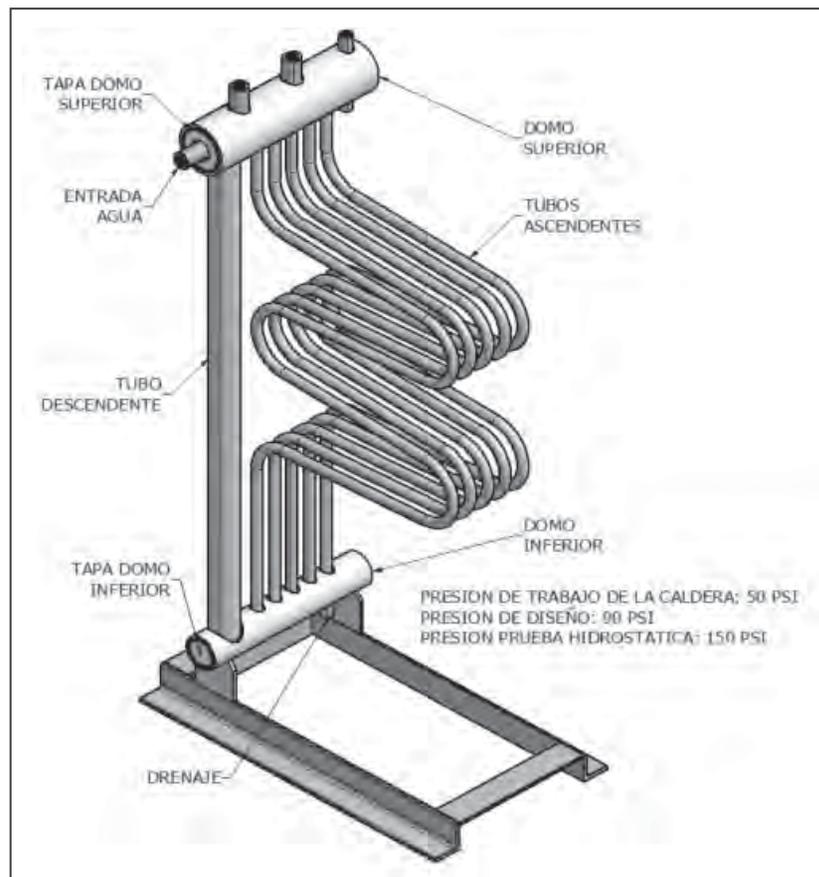


FIGURA 2
Esquema del control estándar de una caldera



Uno de los aspectos más importantes a la hora del diseño de la caldera es la selección de los controles y la seguridad del equipo, para garantizar un correcto funcionamiento, para una operación segura de la caldera todos los dispositivos de seguridad deben estar en conexión en serie. El primero debe ser el control de bajo nivel, después de este debe estar el de presión de vapor, luego debe ir el control que verifica las condiciones del combustible y por último el control de combustión, ver Figura 2.

La variable principal de este prototipo es el calor de entrada al sistema, este dato combinado con los otros dos que son la presión y a la vez la temperatura de trabajo, con estos datos y los métodos más convenientes hallados para encontrar la geometría que haga funcionar de forma correcta el sistema (ver tabla 1), los cálculos realizados se hicieron para gas natural; pero en la práctica las pruebas se realizaron con GLP; esto por disponibilidad en las instalaciones.

Con dichas variables se realizó el análisis de transferencia de calor entre los diferentes elementos de la caldera. De

este análisis salen resultados tales como temperatura de salida de los gases de combustión, la cual es un factor influyente en la eficiencia de la caldera. Para analizar el paso de los gases por los tubos fue necesario tener en cuenta la relación que hay entre la transferencia de calor, con los datos de temperatura de entrada y salida de los gases, el coeficiente de convección y el área superficial total para la transferencia. Haciendo balances de energía entre los gases calientes y el fluido frío en el sistema se lograron deducir relaciones con las cuales se halló la temperatura final de los gases.

TABLA 1
Parámetros de diseño de la caldera

Datos Iniciales		
E_r (Energía requerida o calor de entrada)	13.054 3.825,75	BTU/h W
$PCI_{GAS\ NATURAL}$ (Poder calorífico inferior)	19.997,3	BTU/lb
$PCS_{GAS\ NATURAL}$ (Poder calorífico superior)	23.110	BTU/lb
A/C (Relación aire combustible)	15,73	lb/lb
e (Exceso de aire)	10	%
η (Eficiencia estimada del quemador)	90	%
I_v (índice que relaciona la cantidad máxima de calor liberado por el combustible utilizado por unidad de volumen)	20.000	$BTU/ft^3 h$
P (Presión absoluta de trabajo)	62,5	$PSIA$
T_s (Temperatura de saturación)	295,3	F
ρ_f (Densidad en el tubo descendente)	57,45	lb/ft^3
ρ_g (Densidad del Vapor)	0,144	lb/ft^3
h_{fg} (Calor latente de evaporación)	913,6	BTU/lb

Luego de tener la geometría de la caldera definida, se procedió a realizar un chequeo estructural del equipo, verificando el estado de esfuerzos de la unidad a las condiciones de operación. El diseño de la caldera esta basado en el código ASME para calderas y recipientes a presión, el código da aspectos generales a tener en cuenta para el diseño y construcción de calderas.

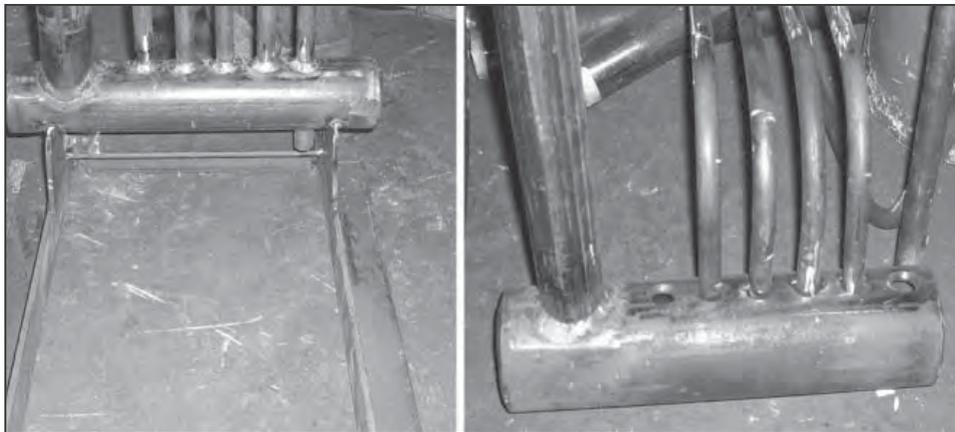
El análisis estructural de la caldera se realizó en los siguientes componentes el domo superior e inferior y sus tapas, y los tubos ascendentes. El tubo descendente no se le hizo un estudio detallado debido a que las condiciones de operación de

éste son muy inferiores para la resistencia de éste, sólo se hará énfasis a la hora de la fabricación sobre los requerimientos de las juntas soldadas sobre los domos. La caldera se analizó con una presión de diseño de 90 PSI.

INSPECCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN

El proceso de fabricación se realizó bajo las recomendaciones dadas el código ASME, igualmente los tamaños de soldadura, el proceso y calidad de esta (ver Figura 3).

FIGURA 3
Preparación de las juntas antes de soldar



Se realizaron diferentes pruebas para garantizar un correcto proceso de fabricación, entre éstas están el análisis por líquidos penetrantes de las juntas soldadas (ver Figura 4 y 5) y la prueba hidrostática (ver Figura 6).

FIGURA 4
Aplicación del líquido revelador



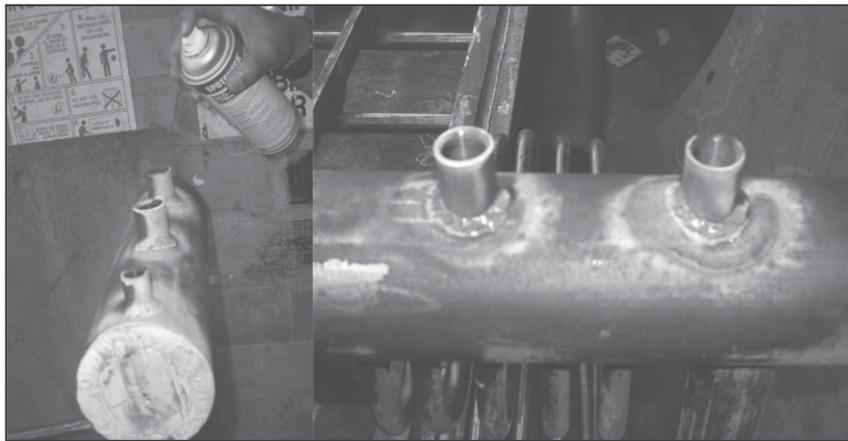


FIGURA 5
Aplicación del líquido penetrante

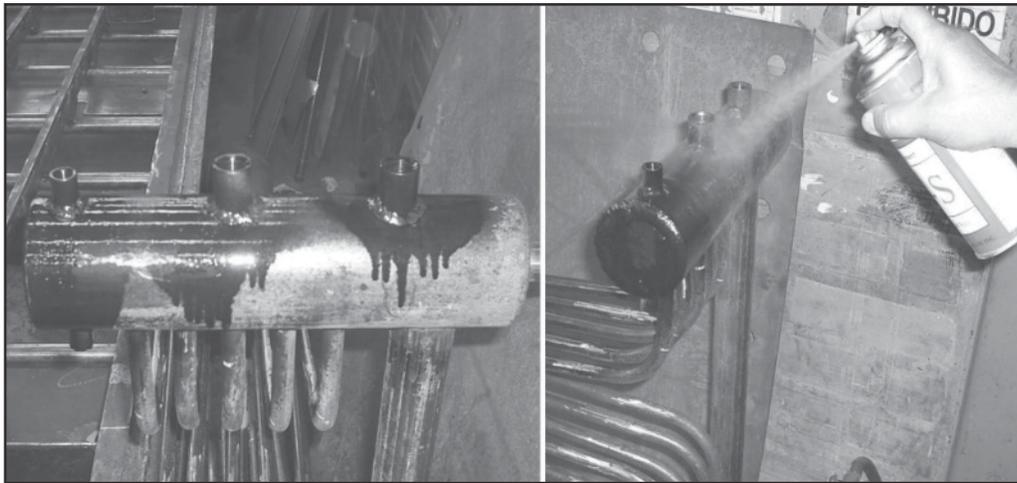
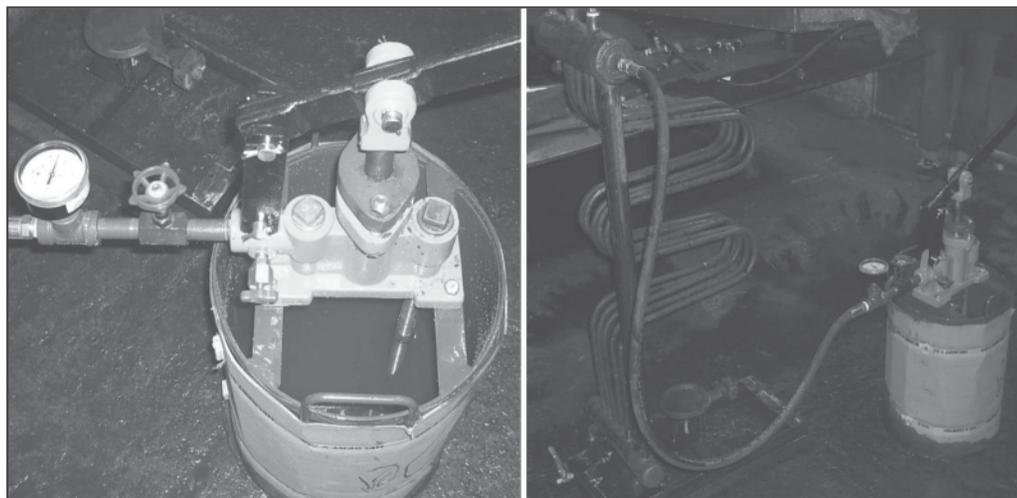


FIGURA 6
Montaje para prueba hidrostática



MEDICIONES DURANTE LA OPERACIÓN DE LA CALDERA

La capacidad de almacenamiento de agua al interior de la caldera es de aproximadamente 5 litros. Tomando en cuenta que el domo de vapor puede trabajar con una capacidad del 25% de agua (75% de cámara de vapor), la cantidad de agua que debe haber como mínimo en la caldera es de 3,8 litros.

La potencia real de la caldera fue de 18 kW (1.84 BHP) aproximadamente.

FIGURA 7
Quemador gas propano caldera P&M



La medición de la temperatura y presión en el domo de vapor se realizaron con un termómetro de mercurio con un termopozo y un manómetro, respectivamente.

La válvula de seguridad de la caldera fue calibrada a 80 PSIG, 20 PSI más que la presión de trabajo.

La temperatura de los gases a la salida de la chimenea fue de 360 °C, aproximadamente.

CONCLUSIONES

La industria de las calderas es un mundo ampliamente desarrollado pero a su vez en continua evolución, cada día se desarrollan nuevas tecnologías para la generación de energía a bajo costo y altas eficiencias.

Cuando se hicieron los cálculos de transferencia de calor se tomaron en cuenta una serie de consideraciones, desde la potencia que entregaría el quemador hasta como sería el método de evaluación para la transferencia de calor en el paso de los gases por los tubos ascendentes. Para esto se dijo que se asumiría la temperatura inicial de los gases como la temperatura hallada en la ecuación 25 la cual entrega la temperatura inmediatamente después de la llama y la cual fue calculada en 867 °C. Cuando se hizo la medición de esta temperatura se obtuvo un valor de 481 °C, ésta fue tomada debajo de la primera línea de tubos.

Esta diferencia se debe a que la llama está alejada de los tubos y a que en el sistema se consideró como totalmente aislado, sin pérdidas de calor al exterior; lo cual no ocurrió, ya que se alcanzaba a perder un poco de calor por las paredes aisladas de la caldera.

En el caso de la temperatura de los gases en la chimenea se puede concluir que, el quemador que se utilizó entregaba más potencia de la que se había tenido en cuenta para los cálculos por esto la temperatura de los gases está alta, además esto da para decir que el área de transferencia de la caldera está muy pequeña para la potencia que está recibiendo, el índice para las condiciones actuales está en $2.9 \text{ ft}^2/\text{BHP}$, cuando lo normal es del orden de los $5 \text{ ft}^2/\text{BHP}$ o más.

Los tubos ascendentes de la caldera deben estar diseñados de tal forma que puedan ser evaluados por el método de flujo externo a través de un banco de tubos alineados, el cual tenga el mayor número de líneas posible ya que los coeficientes de transferencia de calor por convección aumentan a medida que se alejan de la primera línea de tubos debido a que se forma una turbulencia por parte de los gases haciendo que el coeficiente de convección aumente aproximadamente hasta la quinta línea donde se estabiliza el flujo turbulento y por ende el coeficiente de convección. Como primera consideración para el diseño se tomó que el radio de doblaje para los tubos debía ser de 2 pulgadas para que no hubiera una obstrucción fuerte para el fluido y por facilidad de fabricación; por esta razón la distancia longitudinal entre los tubos quedó muy grande por dicho doblaje, lo que no permitió hacer la evaluación por bancos de tubos.

Al hacer los cálculos del domo de vapor teniendo en cuenta las velocidades de desprendimiento adecuadas y el área de transición no son los parámetros más importantes que definen la geometría del domo de vapor, se debe tener como prioridad que el domo tenga la suficiente capacidad de almacenamiento de vapor dependiendo del consumo de éste, esto se referencia para equipos que tengan una aplicación definida.

Para este prototipo de caldera de pequeña escala solo se quería mostrar el principio de generación de vapor de una caldera acuotubular por circulación natural, por este motivo la calidad del vapor no fue un factor determinante para el diseño. Para mejorar la calidad del vapor es recomendable instalar en el domo de vapor, separadores que restrinjan el paso de gotas de agua hacia la salida de vapor; también ayuda el hecho de tener una buena cámara de vapor para este propósito.

Los cálculos realizados para encontrar la forma y dimensiones de la caldera que cumplieran con los requerimientos mínimos para la circulación natural, son producto de numerosas iteraciones con las cuales se pretendía llegar a una aproximación de las velocidades recomendadas para los diferentes flujos dentro de la caldera. Recomendaciones hechas por literatura consultada y por diferentes opiniones de expertos y personas que se unieron al proyecto. Esto se logró iterando con los diámetros, número de tubos ascendentes y descendentes, y sus longitudes.

También hay que resaltar que el prototipo se desarrolló con tecnología y materiales fáciles de conseguir en la industria local.

La entrada de agua de la caldera se consideró sin bomba, se utilizó la presión del agua del acueducto de Medellín la cual en teoría está entre 60 y 80 PSIG; pero esto no aplica debido a que en algunos lugares la presión llega a bajar a los 40 PSIG; por este motivo se buscó un lugar donde la presión del agua fuera mayor a la presión de trabajo de la caldera 60 PSIG.

RECOMENDACIONES

Para próximos avances en este proyecto se puede trabajar en mejoras del equipo como lo son:

Analizar la forma de adaptar un dispositivo de almacenamiento más grande que permita alojar más cantidad de vapor. Con esto también se llegaría a mejorar la calidad del vapor permitiendo una separación del agua y haciendo el vapor lo más seco posible.

Adaptar controles automáticos a la caldera permitiendo la interacción de todos los parámetros que se deben tener en cuenta en el manejo de las calderas, como lo son los niveles, las presiones, el estado de combustible, entre otras.

BIBLIOGRAFÍA

ASME – 2004 ASME, Boiler and pressure vessel code: Rules for construction of power boiler, section I Addenda July 1, 2006 – USA: The American Society of Mechanical Engineers, 2006.

-----, 2004 ASME, Boiler and pressure vessel code: Ferrous material specifications, section II part A Addenda July 1, 2006– USA: The American Society of Mechanical Engineers, 2006.

-----, 2004 ASME, Boiler and pressure vessel code: Properties (customary) materials, section II part D Addenda July 1, 2006– USA: The American Society of Mechanical Engineers, 2006.

CHEJNE JANNA, Farid; HILL BETANCOURT, Alan y UPB, CIDI – Proceso de la combustión y metodología para la realización de balances de masa y energía de algunos procesos – Medellín: UPB, 1992.

GUERRERO, Rodriguez Gonzalo – Operación de calderas industriales, tratado practico operacional – Bogota: Ecoe Ediciones, 2000. ISBN 958-648-235-9.

GUNN, David y HORTON, Robert – Industrial Boilers – England: Longman Scientific & Technical, 1989 – ISBN 0-582-02532-X.

INCROPERA, Frank P. y DeWITT, David P. – Fundamentos de transferencia de calor, Cuarta edición – México: Prentice Hall, 1999. ISBN 970-17-0170-4.

MILTON, J.H. – Marine Steam Boilers – Newnes Butterworths, 1970.

NORTH AMERICAN MFG. CO. – North American combustion handbook Volume 1, Third Edition – Cleveland: North American Mfg. Co., 1986. ISBN 0-9601596-2-2 (v. 1).

PERRY, Robert H. y CHILTON, Cecil H. – Manual del ingeniero químico volumen 1, Quinta edición – México: McGraw-Hill, 1982. ISBN 968-451-321-6.

SPIRAX SARCO INC. – Mechanical Products Manual, 8th Edition – USA: Spirax Sarco Inc., 2004.

THE BABCOCK & WILCOX COMPANY – Steam: Its generation and use Edition 37 – Barberton, Ohio: The Babcock & Wilcox Company, 1955.

-----, Steam: Its generation and use Edition 41 – Edited by KITTO, J.B. y STULTZ, S.C. – Barberton, Ohio: The Babcock & Wilcox Company, 2005. ISBN 0-9634570-1-2.

Calderaa@. Caldera (artefacto), definición general de caldera. [En línea]. [Citado el 21 de mayo de 2007]. Disponible en Internet en: [http://es.wikipedia.org/wiki/Caldera_\(artefacto\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Caldera_(artefacto))

Calderac@. Caldera (calefacción), aspectos generales calderas. [En línea]. [Citado el 21 de mayo de 2007]. Disponible en Internet en: [http://es.wikipedia.org/wiki/Caldera_\(calefacci%C3%B3n\)#Descripci.C3.B3n](http://es.wikipedia.org/wiki/Caldera_(calefacci%C3%B3n)#Descripci.C3.B3n)

Ensayosnoda@. Ensayos no destructivos. [En línea]. [Citado el 25 de agosto de 2007]. Disponible en Internet en: http://es.wikipedia.org/wiki/Ensayo_no_destructivo

Ensayosnodb@. Ensayos no destructivos. [En línea]. [Citado el 25 de agosto de 2007]. Disponible en Internet en: http://www.co.sgs.com/es_co/ndt_nde.htm?catId=17341&subCatId=17347&lobId=21876&type=service

Ensayosnodc@. Ensayos no destructivos. [En línea]. [Citado el 25 de agosto de 2007]. Disponible en Internet en: <http://materiales.eia.edu.co/ciencia%20de%20los%20materiales/bibliografia-ensayos%20no%20destructivos.htm>

Hiscaldera@. Historia, máquina de vapor. [En línea]. [Citado el 19 de mayo de 2007]. Disponible en Internet en: http://es.wikipedia.org/wiki/M%C3%A1quina_de_vapor.

Radiografiaa@. Radiografía industrial. [En línea]. [Citado el 25 de agosto de 2007]. Disponible en Internet en: <http://es.wikipedia.org/wiki/Radiograf%C3%ADa>

Radiografiab@. Radiografía industrial. [En línea]. [Citado el 25 de agosto de 2007]. Disponible en Internet en: <http://www.sieend.com.mx/pnd%20rt.htm>

Soldaduraa@. Procedimientos de soldadura, welding engineer. [En línea]. [Citado el 20 de octubre de 2007]. Disponible en Internet en: http://www.weldingengineer.com/Section%20IX%20of%20asme_bpvc.htm

Spiraxsarco@ The boiler house, Spirax Sarco: Steam Engineering Tutorials. [En línea]. [Citado el 22 de Mayo de 2007]. Disponible en Internet en: <http://www.spiraxsarco.com/resources/steam-engineering-tutorials.asp>

**DISEÑO PARA
LA IMPLEMENTACIÓN
DEL PASO 2 DEL PILAR
DE MANTENIMIENTO
PLANEADO, PARA DARLE
DESARROLLO A
LOS PASOS 1, 2
Y 3 DEL PILAR DE
MANTENIMIENTO
AUTÓNOMO DE
LA METODOLOGÍA TPM
EN COLORQUÍMICA S.A.**



CARLOS MARIO RIVERA PÉREZ
criverap@eafit.edu.co
Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS
MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

ASESOR PRINCIPAL
DAVID PALACIO RAIGOSA

SECTOR BENEFICIADO
COLORQUÍMICA S.A

RESUMEN

Este artículo muestra el diseño para la implementación del paso 2 del pilar de mantenimiento planeado, para darle desarrollo a los pasos 1, 2 y 3 del pilar de mantenimiento autónomo de la metodología TPM en la compañía de manufactura de productos químicos Colorquímica S.A. En Él se describe la ejecución del paso 2 de mantenimiento planeado a manera de flujograma, llegando al detalle de tareas para lograr cada actividad con sus responsables y herramientas.

ABSTRACT

This article shows an approach of a implementation model for the second step from the planned maintenance pillar of the TPM methodology in the manufacturing chemical company COLORQUÍMICA S.A. In it is described the execution of the second step as a flowchart, reaching the detail of tasks to achieve each activity whit their responsible and tools.

PALABRAS CLAVE

TPM, planeado, flujograma, plan maestro, entrenamientos, medición, pilares.

KEY WORDS

TPM, planned, flowchart, master plan, trainings, measurement, pillars.

INTRODUCCIÓN

Desde la visión de los sistemas de mejoramiento continuo, el TPM es una estrategia compuesta por una serie de actividades ordenadas que una vez implantadas ayudan a mejorar la competitividad de una organización industrial o de servicios. Se considera como estrategia, ya que ayuda a crear capacidades competitivas a través de la eliminación rigurosa y sistemática de las deficiencias de los sistemas operativos. El TPM permite diferenciar una organización en relación a su competencia debido al impacto en la reducción de los costos, mejora de los tiempos de respuesta, fiabilidad de suministros, el conocimiento que poseen las personas y la calidad de los productos y servicios finales.

“El mantenimiento planeado y el mantenimiento autónomo son dos pilares fundamentales en la búsqueda de los beneficios esperados. El propósito del pilar de mantenimiento planeado consiste en la necesidad de avanzar gradualmente hacia la búsqueda de la meta “cero averías” para una planta industrial, así mismo lograr eficacia y eficiencia en costos” (Suzuki, 1995, 1-20). Y el propósito del pilar de mantenimiento autónomo es que el personal encargado del equipo lo mantenga en las mejores condiciones de funcionamiento realizando actividades diarias de incluyendo inspección, lubricación, limpieza, intervenciones menores, cambio de herramientas y piezas, estudiando posibles mejoras, analizando y solucionando problemas del equipo.

En este artículo, el lector podrá conocer a grandes rasgos un modelo para la implementación de los pasos 2 del pilar de mantenimiento planeado de la metodología TPM en Colorquímica S.A.

DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA Y NECESIDADES

Colorquímica S.A. incursiona en los siguientes sectores: productos en aplicaciones industriales de colorantes y auxiliares químicos; colorantes y aditivos para alimentos, farmacéutica y cosméticos; aplicaciones industriales de resinas y pigmentos; pinturas y recubrimientos.

Actualmente con la globalización no existen límites y los mercados se ven enmarcados en una competencia mundial. La industria química no es ajena a esta situación, por lo cual buscan optimizar sus recursos y diferenciar sus productos de los de la competencia. Es así como programas de mejoramiento continuo y aseguramiento de la calidad hacen parte integral de los planes corporativos de las organizaciones.

FIGURA 1
Productos de Colorquímica



@colorquímica, 2007

Una vez la empresa define la herramienta del TPM para enfrentar la “era de la agilidad”, ésta herramienta propone cada una de sus actividades y define las etapas en que están compuestas. Cada una de estas actividades debe ser planeada y adaptada de acuerdo a la estructura y cultura organizacional, necesidades y situación de la empresa en particular.

El pilar de mantenimiento planeado es una de las actividades nucleares de la metodología TPM, y mas importante todavía, es el gran soporte para el pilar de mantenimiento autónomo, ya que entre una de sus funciones está la transmisión de conocimiento técnico hacia los miembros del pilar y hacia los operarios.

El TPM es una metodología genérica, es decir, dice que se debe hacer, pero no dice cómo se debe hacer, por eso el gran reto de toda organización que decide implementar la metodología es materializarla y hacerla realidad. Actualmente en Colorquímica no existe ninguna relación, ningún beneficio mutuo y complemento entre los pilares de

mantenimiento planeado y mantenimiento autónomo. Cada uno de éstos trabaja de forma independiente con lo cual no es posible obtener los beneficios esperados.

¿POR QUÉ RELACIONAR LOS DOS PILARES?

Los seis pasos para la creación de un sistema de mantenimiento planeado, con el objetivo de eliminar los fallos, se describen en cuatro fases en un trabajo conjunto entre producción y mantenimiento.

Este trabajo en conjunto, la combinación de los mantenimientos autónomo y planeado, dice Suzuki, es la relación y la manera en que se pueden lograr resultados significativos; el departamento de mantenimiento no puede lograr las cero averías solamente con el mantenimiento planeado, ni tampoco producción puede lograrlo solamente con el mantenimiento autónomo.

EL TPM, EL PILAR DE MANTENIMIENTO PLANEADO, Y EL PILAR DE MANTENIMIENTO AUTÓNOMO

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 planeado 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 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.

El mantenimiento autónomo tiene entre otros objetivos: emplear el equipo como instrumento para el aprendizaje y adquisición de conocimiento, desarrollar nuevas habilidades para el análisis de problemas y creación de un nuevo pensamiento sobre el trabajo, construir y mantener las condiciones necesarias para que el equipo funcione sin averías y rendimiento pleno y lograr un total sentido de pertenencia y responsabilidad del trabajador. Este pilar se compone de siete pasos pero este proyecto solo abarca los tres primeros que son: paso 1 Realizar la limpieza, paso 2 Eliminar fuentes de contaminación y áreas de difícil acceso y paso 3 Establecer estándares de limpieza e inspección.

PLAN MAESTRO DEL PASO 2 DEL PILAR DE MANTENIMIENTO PLANEADO EN CONCORDANCIA CON LOS PASOS 1, 2 Y 3 DEL PILAR DE MANTENIMIENTO AUTÓNOMO

Un plan maestro de TPM en general, es un desglose de actividades que describen en qué fase y en qué momento se lleva a cabo su implementación para lograr los objetivos propuestos. Para darle desarrollo a estas actividades se plantean unas tareas específicas que son las que se realizan y contribuyen a que cada una de las actividades se cumpla.

En la actualidad, la empresa cuenta con un plan maestro general de la implementación del TPM, en el que se encuentran como actividades principales cada uno de los pilares; y a su vez cada pilar debe tener su propio plan maestro donde las actividades son propias de cada uno. Es importante que un plan maestro a parte de guiar, permita medir el porcentaje de avance y de cumplimiento de las actividades plasmadas, así mismo que se pueda observar el peso que tiene cada actividad sobre el objetivo general.

FLUJOGRAMA DEL PASO 2 DEL PILAR DE MANTENIMIENTO PLANEADO EN CONCORDANCIA CON LOS PASOS 1, 2 Y 3 DEL PILAR DE MANTENIMIENTO AUTÓNOMO

Para cada uno de los pasos, de cada uno de los pilares 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, en el tiempo se determina cuándo y en qué orden se debe realizar cada tarea, se propone un modelo de flujograma en el que se integran las tareas y las relaciones de apoyo y complemento entre el paso 2 de mantenimiento planeado y los tres primeros pasos del mantenimiento autónomo.

FIGURA 2
Modelo de implementación de TPM



Tomada y adaptada de GONZALEZ, Juan Esteban y PALACIO, David. Modelo para la implementación de los pasos 1, 2 y 3 del pilar de mantenimiento progresivo de la metodología TPM a partir de la filosofía de 5S: para una empresa de empaques flexibles. Medellín. Universidad EAFIT. 2007. p 58.

METODOLOGÍA PROPUESTA PARA EL DESARROLLO DEL PASO 2 DEL PILAR DE MANTENIMIENTO PLANEADO

Los objetivos del pilar de mantenimiento planeado son mantener el equipo y el proceso en condiciones óptimas y lograr la eficacia y la eficiencia en costes.

El paso 2 de mantenimiento planeado tiene por nombre Revertir el deterioro y corregir las debilidades, tiene como principal objetivo darle apoyo a las actividades de mantenimiento autónomo en sus tres primeros pasos y

se desarrolla a través de cuatro actividades que son: Las actividades del paso 2 de mantenimiento planeado son las siguientes:

- Restaurar el deterioro y abolir los entornos que causan el deterioro acelerado.
- Corregir las debilidades y alargar la vida de los equipos.
- Evitar la repetición de los fallos.
- Evitar los fallos del proceso.
- Y la propuesta de implementación se desarrollará para cada una de estas.

Como fundamental en este paso y para todas las actividades se recomienda que un miembro de mantenimiento, sea mecánico, electricista o instrumentista esté siempre acompañando al pequeño equipo de manera permanente y en cada una de sus sesiones de trabajo, para que sea un guía y transmisor de conocimiento constante.

RESTAURAR EL DETERIORO Y ABOLIR LOS ENTORNOS QUE CAUSAN EL DETERIORO ACELERADO

Se recomienda que la persona de mantenimiento que hace parte del equipo trate inmediatamente los deterioros que descubra el personal de producción y que no puedan resolver por sí solos. Conocer el funcionamiento del equipo por parte del personal de producción, es de vital importancia para un buen logro de los objetivos, este conocimiento puede ser dado por el personal de mantenimiento por medio de una LUP, así mismo preparar y enseñar una cada vez que se repare un defecto.

El personal de mantenimiento debe estar en constante comunicación con el personal operativo, y ésta debe componerse de consejos hacia los operarios sobre cómo aprender a atacar las fuentes de contaminación, puntos difíciles de inspeccionar y lubricar; así mismo debe incluir consejos de cómo realizar chequeos, apretados y manipulaciones al equipo.

Con estas tareas desarrolladas de forma ordenada, cronológicamente repetitivas y estables, el personal de producción estará en capacidad física y mental de identificar cuáles son las condiciones básicas del equipo.

Los entrenamientos que se recomiendan a dar durante el paso 2 de mantenimiento planeado para contribuir al cumplimiento de los objetivos de esta actividad son:

- Forma y metodología de enseñanza, ya que el personal de mantenimiento sabe reparar pero no sabe enseñar.
- Funcionamiento del equipo.
- LUP'S, defectos, lubricación, manejo de herramientas y limpieza del equipo.

CORREGIR LAS DEBILIDADES Y ALARGAR LA VIDA DE LOS EQUIPOS

Puede suceder que los equipos aparte de deterioro acelerado, también sufra por debilidades que vienen desde la etapa del diseño, fabricación o instalación (Suzuki,

1995,169). Por eso se hace necesario que tanto, en primera instancia, el personal de mantenimiento se encuentre en capacidad de detectar fallos, estudiarlos y después corregirlos. Para estas tareas se recomienda hacer uso de las técnicas FMECA¹ y el análisis PM². El análisis PM es recomendado para tratar pérdidas que provienen de una variedad de causas complejas, interrelacionadas y problemas que se resisten a repetidos intentos de solución por otros métodos; y se tratan en función de sus principios físicos; llevado a cabo por un grupo interdisciplinario, y además requiere de conocimiento de ingeniería para poder desarrollarse.

El FMECA parte del concepto de que ya se conocen las fallas reales y potenciales, se sabe de los modos de fallas en que se pueden presentar y se tiene un perfecto dominio de todas las funciones principales y auxiliares de los elementos o máquinas a evaluar con el procedimiento. (Mora, 2006, 212). Al igual que el PM, también requiere de conocimiento de ingeniería.

Para esta actividad se recomienda realizar los siguientes entrenamientos:

- FMECA
- Análisis PM

EVITAR LA REPETICIÓN DE LOS FALLOS

Es importante que dentro del uso de las técnicas de análisis de fallos se piense siempre llegar hasta la causa raíz de ellos, ya que muchas veces las causas de los problemas provienen de combinaciones de factores que probablemente no se alcancen a percatar de ellos durante este análisis.

1 Failure Mode, Effects Causes and Criticality Analysis – Análisis de los Modos, los Efectos, las Causas y las Criticidades de las Fallas. Para mayor información consultar en Mora, Alberto. Mantenimiento estratégico para empresas industriales o de servicios. Medellín. 2005. ISBN: 958-33-8218-3. p 199.

2 P de physique, es decir físico; y M de Machine, es decir de máquina. Para mayor información consultar SUZUKI, Tokutaro. TPM en industrias de proceso. Madrid: TGP Hoshin. 1995. ISBN: 84-87022-18-9. p 60.

Además de esto se recomienda que para contribuir a la no repetición de los fallos, exista excelente comunicación primordialmente por parte del personal de mantenimiento para anunciar fallos similares en equipos similares en las distintas plantas de la empresa, tanto al personal de mantenimiento como al de producción.

También se recomienda que haya un soporte escrito³, donde se plasmen, en un trabajo conjunto de producción y mantenimiento, los pasos del método de análisis de fallas que se utilizan, esto para que el interés por conocer que pasó con el equipo antes, durante y después de la falla, aumente considerablemente, además ayuda a que las fallas no se repitan ya que se tiene un conocimiento previo de éstas.

Para evitar la repetición de los fallos se recomienda realizar un entrenamiento en técnicas para el análisis de causa raíz, primordialmente para el personal de mantenimiento e ir involucrando de a poco al personal de los pequeños equipos de trabajo.

EVITAR LOS FALLOS DEL PROCESO

Que son combinaciones de factores de proceso y equipo tales como corrosión, fisuras, fugas, obstrucciones, cambios de propiedades de materias primas, etc. Se propone que el personal de producción comprenda con precisión el proceso que se realiza, igualmente con la ayuda de la persona de mantenimiento, que sepa chequear los instrumentos de medida y control, que el operador del equipo conozca y haya estudiado fallos anteriores en él, que se tenga para esto un informe en el que pueda plasmar todo lo visto antes, durante y después del fallo, y hacer parte del grupo que realiza análisis de fallo.

Los entrenamientos recomendados para dictar y que contribuyan al logro de esta actividad son:

- Instrumentos de medida y control; funcionamiento, objetivos, calibración y modo de lectura.
- Conocimiento de los procesos.

³ Para mayor información consultar en Mora, Luis. Mantenimiento estratégico para empresas industriales o de servicios. Enfoque Sistemático Kantiano. Medellín 2005. pg 206. ISBN 958-33-8218-3

SISTEMA DE MEDICIÓN DE LA GESTIÓN DE IMPLEMENTACIÓN DEL PASO 2 DE MANTENIMIENTO PLANEADO

Los indicadores de eficacia del TPM pueden clasificarse en siete tipos: gestión, eficacia de la planta, calidad, ahorro de energía, mantenimiento, salud seguridad y entorno y finalmente, entrenamiento y moral (Susuki, 1995, 363).

Con el fin de dirigir y evaluar el desempeño del paso 2 de mantenimiento planeado se recomienda una herramienta llamada balance scorecard⁴, que incluye la medición de apartados importantes que abordan en términos generales las perspectivas y objetivos de la implementación del paso 2 de planeado.

Los indicadores que hacen parte del balance scorecard corresponden y se relacionan con los indicadores de mantenimiento a nivel internacional; enfocados especialmente a los objetivos del paso 2 de mantenimiento planeado y pretenden evaluar las tareas y desarrollo tanto del paso 2 de planeado y su relación con los tres primeros pasos de mantenimiento autónomo, y los más relevantes se describen a continuación.

NÚMERO DE FALLAS

Una falla es la terminación o degeneración de la propiedad de un elemento para realizar su función, esto incluye falla completa, falla parcial, falla que se encuentra durante la realización de tareas de mantenimiento, fallas en aparatos de seguridad o elementos de control y monitoreo.

El número de fallas como indicador irá mostrando la participación y cumplimiento de los objetivos del paso 2 de planeado en cuanto a la realización de tareas para revertir el deterioro acelerado y corregir las debilidades, ya que las tareas que se realizan para el logro de este objetivo se dan conjuntamente y en armonía con los tres primeros pasos de autónomo; y que apuntan a que el número de

⁴ Scorecard. Traducido y conocido como Cuadro de mando integral.

fallas en los equipos disminuyan considerablemente o se eliminen. Además que es punto clave del TPM en sus objetivos operativos, que los equipos operen sin averías y fallos mejorando la fiabilidad de estos mismos.

HORAS DE FALLA

Es la duración en horas en que el equipo esta fuera de funcionamiento debido a una falla, empieza desde que el personal de producción informa la falla a mantenimiento hasta que el equipo es puesto en condiciones normales de operación.

En este indicador refleja primero el interés del personal operativo en la prontitud de avisar a mantenimiento la falla para que sea reparada rápidamente, y además refleja el tiempo de respuesta del personal de mantenimiento para atender la falla; y son objetivos claves para el cumplimiento de los tres primeros pasos de autónomo y el paso 2 de planeado; y a nivel general implica el tiempo el trabaja realmente el equipo y el tiempo no trabaja.

MTBF. TIEMPO MEDIO ENTRE FALLAS

Es la relación en horas entre el tiempo programado del equipo y el número de fallas que tuvo en el mes. Es importante ya que indica en promedio cada cuanto se esta presentando un falla en el equipo y es vital para determinar la confiabilidad de éste.

Un MTBF entre más grande en magnitud, refleja un equipo libre o reducido de fallas, que trabaja sin problemas durante un largo periodo de tiempo. También refleja tareas realizadas objetivamente por el personal de mantenimiento autónomo en sus primeros tres pasos y el personal de mantenimiento en el paso 2; ya que se estará contribuyendo a que el equipo esté libre de deterioros, libre de debilidades y que se están realizando técnicas para eliminar y evitar la repetición de las fallas.

MTTR. TIEMPO MEDIO PARA REPARAR

El tiempo medio para reparar es el tiempo que demora la reparación neta, sin incluir demoras ni tiempos logísticos,

ni tiempos invertidos en suministros de repuestos ni de recursos humanos (Mora, 2005, 59).

El tiempo medio entre fallas es la relación entre la sumatoria de todos los tiempos medios para reparar y el número de fallas ocurridas en el mes.

Con este indicador se evalúa el interés y la efectividad del personal de mantenimiento para atender y realizar sus intervenciones; así mismo refleja el uso de las técnicas que se usan para realizar las reparaciones con el objetivo de hacerlas cada vez más rápido.

PORCENTAJE DE TIEMPO IMPRODUCTIVO POR MANTENIMIENTO

Es la relación en porcentaje entre el tiempo total de paros debidos a mantenimiento y el tiempo programado total de la planta, con este tiempo se puede ver una de las causas relevantes por las que una planta en general es improductiva y es debido al gran porcentaje de tiempos muertos causados por mantenimiento. Que a groso modo el aumento de la productividad, flexibilidad y capacidad de respuesta en las plantas es el mayor alcance del TPM en sus objetivos estratégicos y operativos.

Este indicador importante ya que es gran validez para tomar decisiones gerenciales, sea de metodologías y programas de mantenimiento para que cada vez sean más óptimos y eficientes.

CUMPLIMIENTO DE ÓRDENES DE TRABAJO

El cumplimiento de órdenes de trabajo es la relación entre el número de órdenes de trabajo ejecutadas y el número total de órdenes de trabajo programadas. Se da en porcentaje y registra tanto el cumplimiento de tareas preventivas como predictivas. Refleja el cumplimiento de tareas conjuntas entre el personal de producción y mantenimiento. En producción demuestra el interés por participar y colaborar a que las órdenes de trabajo se lleven a cabo y por parte de mantenimiento a dar finalidad a las tareas programadas.

GASTOS DE MANTENIMIENTO AL MES

Cubre todos los gastos en general de mantenimiento; éstos incluyen repuestos, mano de obra y subcontratación en cuanto a lo que se refiere la realización de tareas correctivas, preventivas y predictivas. A parte de velar por la disponibilidad y confiabilidad de los activos, el mantenimiento también debe velar por ser un departamento económico y productivo. Es por esto, que se debe evaluar el presupuesto de mantenimiento para valorar la eficacia de este, además de evaluar si se utilizan los métodos más económicos y mejores.

CONCLUSIONES

El modelo propuesto hace mas tangible las ideas que propone el TPM, ya que la hora de aterrizarlas se encuentran muchas dificultades en cuanto al método y forma de hacerlo. De fases, pasos y actividades; se aterriza de forma ordenada por medio de un flujograma llegando hasta el detalle de nombrar responsable y cada tarea para lograr cumplir los objetivos.

El involucramiento de todo el personal de la compañía, es de vital importancia para lograr los objetivos propuestos del TPM y este diseño de implementación del paso 2 del pilar de mantenimiento planeado, tiene en cuenta que existe personal que no tiene ninguna vinculación con la metodología y que es necesaria para el desarrollo de la misma; entre éstos se encuentra el personal de mantenimiento, tanto los jefes como los mecánicos, instrumentistas y eléctricos.

La carencia de conocimiento acerca del funcionamiento de los equipos por parte del personal operativo es alta, ya que no existen medios para que éste conocimiento sea transmitido por parte de quien lo posee, que generalmente son los mecánicos y sus respectivos jefes.

Debido al desconocimiento en algunas áreas acerca de la manera en que se trabaja la metodología, no se obtienen resultados esperados e ideales; especialmente en el personal de producción que pertenece a los pequeños equipos en los tres primeros pasos del pilar de manteni-

miento autónomo, y en el personal de mantenimiento que no tiene claro su participación en la metodología.

Este diseño para la implementación del paso 2 de mantenimiento planeado, orienta sus objetivos en darle apoyo constante al personal de mantenimiento autónomo en sus primeros tres pasos. Este diseña la unión, complemento y beneficios que deben existir entre los dos pilares para que los objetivos de los dos se cumplan, ya que ninguno de los dos los puede lograr sin la cooperación del otro.

El acompañamiento y seguimiento permanente por parte del personal de mantenimiento al personal de producción en los pequeños equipos, trae consigo una respuesta rápida a las necesidades que el personal de producción no es capaz de resolver, y lo mas importante se vuelve una herramienta de transmisión de conocimiento hacia el resto del personal.

El nuevo rumbo que debe tomar el departamento de mantenimiento como mantenimiento planeado ya no es solo mejorar la mantenibilidad de los equipos y sus procesos y un efectivo manejo de los costos relacionados con el mantenimiento; además de estos, esta disminuir el volumen de actividades a realizar, aumentar el conocimiento técnico y elevar la moral de los integrantes del proceso.

Para revertir el deterioro y corregir las debilidades de los equipos, se desarrollan una serie de actividades que contribuyen al logro de este objetivo. Estas actividades se desglosan también en unas tareas específicas, con temas específicos; y es de vital importancia que muchas de estas tareas se realicen en conjunto entre el personal de mantenimiento y el personal de producción como se muestra en el flujograma.

La ocurrencia de una falla en el equipo no despierta mucho interés por parte del personal operativo, despertar este interés y saber cual fue la falla y que va a pasar con el equipo se logra cuando este personal se involucra en el desarrollo de herramientas de análisis de fallas.

El modelo propuesto para el paso 2 de mantenimiento planeado, ataca en una manera ordenada y participativa

la eliminación de todas las pérdidas incurridas por falta de conocimiento, falta de práctica, exceso de defectos, falta de organización y estructuración.

El TPM visto como una escuela de aprendizaje, necesita de la transmisión del conocimiento de una parte que lo posee, hacia otra que no lo posee. Para atacar las falencias en conocimiento, es necesario que continuamente se realicen entrenamientos en temas específicos, especialmente dirigidos hacia el equipo durante el paso 2 de mantenimiento planeado, que de forma ordenada y objetiva contribuyan a corregir las debilidades, defectos, a alargar la vida de los equipos y a la eliminación o control de las fallas.

El diseño del plan maestro debe ser llevado a cabo por personas con amplio conocimiento de la metodología del TPM y una considerable experiencia de la compañía en la que se pretende implantar. Por lo general es el encargado de la metodología en la empresa y el líder del pilar.

El TPM es un programa de largo plazo que requiere un involucramiento de todos los niveles organizacionales, así mismo se debe realizar un seguimiento y evaluación que permita retroalimentar y fortificar sus debilidades, en este caso en el paso 2 de mantenimiento planeado.

Los indicadores propuestos para el paso 2 del pilar de mantenimiento planeado son algunas de las herramientas a través de las cuales se hace evidente el progreso y logro de objetivos y permite identificar las áreas de oportunidad para plantear y desarrollar planes de acción.

BIBLIOGRAFÍA

ÁLVAREZ LAVERDE, Humberto. Estrategia de las "5S". Manual electrónico producido por Advanced Productive Solutions, S.L, Barcelona – España. 2003.

GONZÁLEZ Juan Esteban y PALACIO, David. Modelo para la implementación de los pasos 1, 2 y 3 del pilar de mantenimiento progresivo de la metodología TPM a partir de la filosofía de 5S: para una empresa de empaques flexibles. Medellín. Universidad EAFIT. 2007.

MORA, Alberto. Mantenimiento estratégico para empresas industriales o de servicios. Enfoque Sistemático Kantiano. Medellín. 2005. ISBN: 958-33-8218-3.

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.

TÍTULOS PUBLICADOS EN ESTA COLECCIÓN

Copia disponible en: www.eafit.edu.co/investigacion

Cuaderno 1 – Marzo 2002

*SECTOR BANCARIO Y COYUNTURA ECONÓMICA
EL CASO COLOMBIANO 1990 – 2000*

Alberto Jaramillo, Adriana Ángel Jiménez,
Andrea Restrepo Ramírez, Ana Serrano Domínguez y
Juan Sebastián Maya Arango

Cuaderno 2 – Julio 2002

*CUERPOS Y CONTROLES, FORMAS DE
REGULACIÓN CIVIL. DISCURSOS Y PRÁCTICAS
EN MEDELLÍN 1948 – 1952*

Cruz Elena Espinal Pérez

Cuaderno 3 – Agosto 2002

UNA INTRODUCCIÓN AL USO DE LAPACK

Carlos E. Mejía, Tomás Restrepo y Christian Trefftz

Cuaderno 4 – Septiembre 2002

*LAS MARCAS PROPIAS DESDE
LA PERSPECTIVA DEL FABRICANTE*

Belisario Cabrejos Doig

Cuaderno 5 – Septiembre 2002

*INFERENCIA VISUAL PARA LOS SISTEMAS
DEDUCTIVOS LBPCO, LBPC Y LBPO*

Manuel Sierra Aristizábal

Cuaderno 6 – Noviembre 2002

*LO COLECTIVO EN LA CONSTITUCIÓN
DE 1991*

Ana Victoria Vásquez Cárdenas,
Mario Alberto Montoya Brand

Cuaderno 7 – Febrero 2003

*ANÁLISIS DE VARIANZA DE LOS BENEFICIOS
DE LAS EMPRESAS MANUFACTURERAS EN
COLOMBIA,
1995 – 2000*

Alberto Jaramillo (Coordinador),
Juan Sebastián Maya Arango, Hermilson Velásquez
Ceballos, Javier Santiago Ortiz,
Lina Marcela Cardona Sosa

Cuaderno 8 – Marzo 2003

*LOS DILEMAS DEL RECTOR: EL CASO DE LA
UNIVERSIDAD EAFIT*

Álvaro Pineda Botero

Cuaderno 9 – Abril 2003

INFORME DE COYUNTURA: ABRIL DE 2003

Grupo de Análisis de Coyuntura Económica

Cuaderno 10 – Mayo 2003

GRUPOS DE INVESTIGACIÓN

Escuela de Administración
Dirección de Investigación y Docencia

Cuaderno 11 – Junio 2003

*GRUPOS DE INVESTIGACIÓN ESCUELA DE
CIENCIAS Y HUMANIDADES, ESCUELA DE
DERECHO, CENTRO DE IDIOMAS Y
DEPARTAMENTO DE DESARROLLO ESTUDIANTIL*

Dirección de Investigación y Docencia

Cuaderno 12 – Junio 2003

*GRUPOS DE INVESTIGACIÓN –
ESCUELA DE INGENIERÍA*

Dirección de Investigación y Docencia

Cuaderno 13 – Julio 2003

*PROGRAMA JÓVENES INVESTIGADORES –
COLCIENCIAS: EL ÁREA DE LIBRE COMERCIO DE
LAS AMÉRICAS Y*

LAS NEGOCIACIONES DE SERVICIOS

Grupo de Estudios en Economía y Empresa

Cuaderno 14 – Noviembre 2003

BIBLIOGRAFÍA DE LA NOVELA COLOMBIANA

Álvaro Pineda Botero, Sandra Isabel Pérez,

María del Carmen Rosero y María Graciela Calle

Cuaderno 15 – Febrero 2004

PUBLICACIONES Y PONENCIA 2003

Dirección de Investigación y Docencia

Cuaderno 16 – Marzo 2004

*LA APLICACIÓN DEL DERECHO EN LOS SISTEMAS
JURÍDICOS CONSTITUCIONALIZADOS*

Gloria Patricia Lopera Mesa

Cuaderno 17 – Mayo 2004

*PRODUCTOS Y SERVICIOS FINANCIEROS A GRAN
ESCALA PARA LA MICROEMPRESA: HACIA UN
MODELO VIABLE*

Nicolás Ossa Betancur

Cuaderno 18 – Mayo 2004

*ARTÍCULOS RESULTADO DE LOS PROYECTOS DE
GRADO REALIZADOS POR LOS ESTUDIANTES
DE INGENIERÍA DE PRODUCCIÓN QUE SE
GRADUARON EN EL 2003*

Departamento de Ingeniería de Producción

Cuaderno 19 – Junio 2004

*ARTÍCULOS DE LOS PROYECTOS DE GRADO
REALIZADOS POR LOS ESTUDIANTES DE
INGENIERÍA MECÁNICA QUE SE GRADUARON EN
EL AÑO 2003*

Departamento de Ingeniería Mecánica

Cuaderno 20 – Junio 2004

*ARTÍCULOS RESULTADO DE LOS PROYECTOS DE
GRADO REALIZADOS POR LOS ESTUDIANTES DE
INGENIERÍA DE PROCESOS QUE SE GRADUARON
EN EL 2003*

Departamento de Ingeniería de Procesos

Cuaderno 21 – Agosto 2004

*ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS DE LA AVENIDA
TORRENCIAL DEL 31 DE ENERO DE 1994 EN LA
CUENCA DEL RÍO FRAILE Y
SUS FENÓMENOS ASOCIADOS*

Juan Luis González, Omar Alberto Chavez,

Michel Hermelín

Cuaderno 22 – Agosto 2004

*DIFERENCIAS Y SIMILITUDES EN LAS TEORÍAS
DEL CRECIMIENTO ECONÓMICO*

Marleny Cardona Acevedo, Francisco Zuluaga Díaz,

Carlos Andrés Cano Gamboa,

Carolina Gómez Alvis

Cuaderno 23 – Agosto 2004

GUIDELINES FOR ORAL ASSESSMENT

Grupo de investigación Centro de Idiomas

Cuaderno 24 – Octubre 2004

*REFLEXIONES SOBRE LA INVESTIGACIÓN
DESDE EAFIT*

Dirección de investigación y Docencia

Cuaderno 25 – Septiembre 2004

*LAS MARCAS PROPIAS DESDE
LA PERSPECTIVA DEL CONSUMIDOR FINAL*

Belisario Cabrejos Doig

Cuaderno 26 – Febrero 2005

PUBLICACIONES Y PONENCIAS -2004-

Dirección de Investigación y Docencia

Cuaderno 27 – Marzo 2005

EL MERCADEO EN LA INDUSTRIA DE LA CONFECCIÓN – 15 AÑOS DESPUÉS -

Belisario Cabrejos Doig

Cuaderno 28 – Abril 2005

LA SOCIOLOGÍA FRENTE A LOS ESPEJOS DEL TIEMPO: MODERNIDAD, POSTMODERNIDAD Y GLOBALIZACIÓN

Miguel Ángel Beltrán, Marleny Cardona Acevedo

Cuaderno 29 – Abril 2005

“OXIDACIÓN FOTOCATALÍTICA DE CIANURO”

Grupo de Investigación Procesos Ambientales y Biotecnológicos -GIPAB-

Cuaderno 30 – Mayo 2005

EVALUACIÓN A ESCALA DE PLANTA PILOTO DEL PROCESO INDUSTRIAL PARA LA OBTENCIÓN DE ACEITE ESENCIAL DE CARDAMOMO, BAJO LA FILOSOFÍA “CERO EMISIONES”

Grupo de Investigación Procesos Ambientales y Biotecnológicos -GIPAB-

Cuaderno 31 – Junio 2005

LA DEMANDA POR FORMACIÓN PERMANENTE Y CONSULTORÍA UNIVERSITARIA

Enrique Barriga Manrique

Cuaderno 32 – Junio 2005

ARTÍCULOS DE LOS PROYECTOS DE GRADO REALIZADOS POR LOS ESTUDIANTES DE INGENIERÍA MECÁNICA QUE SE GRADUARON EN EL AÑO 2004

Escuela de Ingeniería

Departamento de Ingeniería Mecánica

Cuaderno 33 – Julio 2005

PULVERIZACIÓN DE COLORANTES NATURALES POR SECADO POR AUTOMIZACIÓN

Grupo de Investigación Desarrollo y

Diseño de Procesos -DDP-

Departamento de Ingeniería de Procesos

Cuaderno 34 – Julio 2005

“FOTODEGRADACIÓN DE SOLUCIONES DE CLOROFENOL-CROMO Y TOLUENO-BENCENO UTILIZANDO COMO CATALIZADOR MEZCLA DE DIÓXIDO DE TITANIO (TiO₂), 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

Biocientíficos -GIPAB-

Edison Gil Pavas, Kevin Molina Tirado

Cuaderno 50 – Noviembre 2006

***PROPUESTAS METODOLÓGICAS EN
LA CONSTRUCCIÓN DE CAMPOS
PROBLEMÁTICOS DESDE EL CICLO DE VIDA DE
LAS FIRMAS Y EL CRECIMIENTO INDUSTRIAL DE
LAS MIPYMES***

Grupo de Estudios Sectoriales y Territoriales
Departamento de Economía
Escuela de Administración
Marleny Cardona Acevedo,
Carlos Andrés Cano Gamboa

Cuaderno 51 – Enero 2007

***PRODUCTO DE TELEPRESENCIA PARA
LA EDUCACIÓN SUPERIOR EN
EL ÁMBITO NACIONAL***

Departamento de Ingeniería de Sistemas
Departamento de Ciencias Básicas
Helmuth Treftz Gómez, Pedro Vicente Esteban Duarte
Andrés Quiroz Hernández, Faber Giraldo Velásquez
Edgar Villegas Iriarte

Cuaderno 52 – Febrero 2007

***PATRONES DE COMPRA Y USO DE VESTUARIO
MASCULINO Y FEMENINO EN
LA CIUDAD DE MEDELLÍN***

Departamento de Mercadeo
Belisario Cabrejos

Cuaderno 53 – Febrero 2007

***EL DEBATE SOBRE LA MODERNIZACIÓN
DEL DERECHO PENAL***

Materiales de investigación
Grupo de Investigación
Grupo de Estudios Penales (GEP)
Juan Oberto Sotomayor Acosta,
Diana María Restrepo Rodríguez

Cuaderno 54 – Marzo 2007

***ASPECTOS NORMATIVOS DE LA INVERSIÓN
EXTRANJERA EN COLOMBIA: Una mirada a la luz
de las teorías de las Relaciones Internacionales***

Pilar Victoria Cerón Zapata y
Grupo de Investigación en Inversión Extranjera:
Sabina Argáez, Lina Arbeláez y Luisa Victoria Euse

Cuaderno 55 – Abril 2007

***PUBLICACIONES, PONENCIAS,
PATENTES Y REGISTROS 2006***

Dirección de Investigación y Docencia

Cuaderno 56 – Abril 2007

***CAPITAL HUMANO: UNA MIRADA DESDE
LA EDUCACIÓN Y LA EXPERIENCIA LABORAL***

Marleny Cardona Acevedo, Isabel Cristina Montes
Gutiérrez, Juan José Vásquez Maya,
María Natalia Villegas González, Tatiana Brito Mejía
Semillero de Investigación en Economía de EAFIT
–SIEDE–
Grupo de Estudios Sectoriales y Territoriales –ESyT–

Cuaderno 57 – Mayo 2007

***ESTADO DEL ARTE EN EL ESTUDIO DE
LA NEGOCIACIÓN INTERNACIONAL***

María Alejandra Calle
Departamento de Negocios Internacionales
Escuela de Administración

Cuaderno 58 – 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

Cuaderno 59- Octubre 2007

DESARROLLO DE NUEVOS PRODUCTOS (DNP)

Jorge E. Devia Pineda, Ph.D.

Grupo de Investigación Desarrollo y Diseño de
Procesos y Productos -DDP-

Departamento de Ingeniería de Procesos

Cuaderno 60- Marzo 2008

***ARTÍCULOS DE PROYECTOS DE GRADO
REALIZADOS POR LOS ESTUDIANTES DE
INGENIERÍA DE DISEÑO DE PRODUCTO QUE SE
GRADUARON DESDE EL 2005-2 HASTA EL 2007-1***

Grupo de Investigación en Ingeniería de Diseño

Cuaderno 61- Marzo 2008

***MEMORIAS CÁTEDRA ABIERTA TEORÍA
ECONÓMICA***

Marleny Cardona Acevedo, Danny Múnera Barrera,
Alberto Jaramillo Jaramillo, Germán Darío Valencia
Agudelo, Sol Bibiana Mora Rendón

Cuaderno 62- Abril 2008

***PUBLICACIONES, PONENCIAS, PATENTES
Y REGISTROS - 2007***

Dirección de Investigación y Docencia

Cuaderno 63- Junio 2008

PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN 2006

Escuela de Ingeniería

Cuaderno 64- Junio 2008

PROYECTOS DE GRADO

INGENIERÍA DE SISTEMAS 2006-2007

Ingeniería de Sistemas

Cuaderno 65- Junio 2008

***APLICACIÓN DE LA ELECTROQUÍMICA EN
EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES***

Grupo de Investigación en Procesos Ambientales y
Biotecnológicos

Línea de Investigación: Procesos avanzados de
Oxidación

Cuaderno 66- Junio 2008

***COMPARATIVE ANALYSES OF POLICIES, LEGAL
BASIS AND REALITY OF SME FINANCING IN CHINA
AND COLOMBIA***

Marleny Cardona A., Isabel Cristina Montes G.,
Carlos Andrés Cano G., Bei Gao

Grupo de Estudios Sectoriales y Territoriales –ESYT–
Departamento de Economía

Cuaderno 67- Septiembre 2008

***ARTÍCULOS DE LOS PROYECTOS DE GRADO
REALIZADOS POR LOS ESTUDIANTES DE
INGENIERÍA MECÁNICA QUE SE GRADUARON EN
EL 2007***

Ingeniería Mecánica

