



**UNIVERSIDAD EAFIT**

*Abierta a la investigación*

ISSN 1692-0694

**ARTÍCULOS  
DE LOS PROYECTOS DE GRADO  
REALIZADOS POR LOS ESTUDIANTES DE  
INGENIERÍA MECÁNICA  
QUE SE GRADUARON EN EL AÑO 2003**

**ESCUELA DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA  
UNIVERSIDAD EAFIT**



PRIMERA UNIVERSIDAD PRIVADA CON ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL EN ANTIOQUIA  
Resolución 2086 del 5 de septiembre de 2003





# TABLA DE CONTENIDO

• RESUMEN.....	1
• ABSTRACT .....	1
• AUTOR.....	1
• INTRODUCCIÓN.....	2
• DISPOSITIVO ANTI-RETORNO DE VEHÍCULOS EN PENDIENTE .....	3
• MONTAJE DE UN BANCO EXPERIMENTAL CON SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS ...E INTERFAZ COMPUTACIONAL PARA EL ANÁLISIS DE AISLANTES MECÁNICOS TIPO RESORTE METÁLICO, CAUCHO NATURAL Y NEOPRENO.....	11
• DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN REFRIGERADOR SOLAR POR ABSORCIÓN INTERMITENTE .....	21
• ANÁLISIS Y EFECTOS DEL COMBUSTIBLE CONTAMINADO EN EL FUNCIONAMIENTO DE UN MOTOR CATERPILLAR 3516B PARA CAMIONES DE MINERÍA.....	38
• DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA DE ENSAYOS DESTRUCTIVOS DE DIENTES POSTIZOS UTILIZANDO COMO MATERIALES DOS TIPOS DE POSTES PREFABRICADOS Y RESINA DE VIDRIO.....	49
• METODOLOGÍA INTERNACIONAL UNIFICADA PARA LA IMPLEMENTACIÓN INDUSTRIAL DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD.....	57
• REESTRUCTURACIÓN DEL ALMACÉN DE MANTENIMIENTO DE LA EMPRESA ALICO S.A....	67
• IMPLEMENTACIÓN DE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO A ESCALERAS ELÉCTRICAS TIPO J EN UNA EMPRESA DEDICADA AL SERVICIO DE TRANSPORTE VERTICAL .....	79
• DESARROLLO DEL NIVEL INSTRUMENTAL DEL MANTENIMIENTO EN LA EMPRESA ARTEXTIL LTDA. ....	89
• IMPLEMENTACIÓN DEL MANTENIMIENTO DE LA CALIDAD EN EL PROCESO DE	

ENSAMBLE DE UNA EMPRESA COMERCIALIZADORA Y ENSAMBLADORA DE PRODUCTOS PARA LA SUSTITUCIÓN ENERGÉTICA Y EL DESARROLLO DEL AGRO .....	95
• IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MEDICIÓN DE CONFIABILIDAD MANTENIBILIDAD Y DISPONIBILIDAD EN LA INDUSTRIA.....	103
• REDISEÑO DE UN TÚNEL DE SECADO PARA APLICACIONES EN EL SECADO DE CARTÓN .....	118
• ANÁLISIS DEL DISEÑO DE SECADORA PARA HENO.....	133
• MODERNIZACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL POR MEDIO DE UN PLC EN UNA EXTRUSORA-SOPLADORA DE PLÁSTICO DE LA EMPRESA TRUHER .....	135
• IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE MANTENIMIENTO DE CMD EN LA MÁQUINA ZIMMER 4 DE LA EMPRESA ARTEXTIL.....	137
• PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA SISTEMAS DE ACONDICIONAMIENTO DE AIRE POR ENFRIAMIENTO EVAPORATIVO CONTEXTUALIZADO PARA LA CIUDAD DE MEDELLÍN.....	139
• CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE TERMOSIFÓN BIFÁSICO PARA LA TRANSFERENCIA DEL CALOR Y LA GENERACIÓN DE POTENCIA.....	141
• DETERMINACIÓN DE COSTOS INTEGRALES DE EQUIPOS EN FUNCIÓN DE SU CICLO DE VIDA .....	143
• OPTIMIZACIÓN DE PARÁMETROS DEL PROCESO DE INYECCIÓN DE TERMOPLÁSTICOS PARA LAS BANDEJAS VEGETALES DE NEVERAS HACEB.....	145
• DISEÑO DE MÓDULOS SEMIAUTOMÁTICOS PARA LA PRODUCCIÓN DE CHURROS .....	147
• CONTROL DE FALLAS ESTRUCTURALES EN AERONAVES DE LA ALIANZA SUMMA.....	149



## 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 2003. La información de cada artículo, contiene el área de énfasis (Diseño, Mantenimiento y Proyectos de Sistemas Técnicos), el asesor principal del trabajo de grado, el sector beneficiado, el resumen en español y en inglés con las palabras claves en español e inglés 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 comunidad de 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 projects of the Department of Mechanical Engineering at EAFIT University in 2003. Each article contains information about the area of interest (Design, Maintenance and Projects of Technical Systems), the main adviser, institution who benefited from the project and the spanish and english summary with key words in english and spanish. Some of the articles are included in their full length version.

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



## AUTOR

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

## INTRODUCCIÓN

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

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

La aplicación de conocimiento de las áreas del diseño, mantenimiento y proyecto de sistemas técnicos, por parte de los egresados de la Carrera de Ingeniería Mecánica, habeneficiado el medio industrial. Entre otros, se han beneficiado empresas de diferentes regiones de Colombia como: Cerrejón Zona Norte, Alianza Summa, Alico S. A., SIFAP Tecnología Ltda. , TRUHER, CSL S.A., HACEB S. A., Melco de Colombia Ltda., Artexil Ltda., el sector automotriz y ganadero y CES. De igual manera, los proyectos de grado han contribuido al desarrollo de la denominada investigación formativa a través de las diferentes actividades de investigación de la Escuela de Ingeniería de la Universidad de EAFIT, mecanismo que fortalece la conexión del pregrado con los estudios de postgrados.

El hecho de obtener el primer puesto en la *Primera Feria de la Innovación e Invención Aplicada convocada por la Asociación Colombiana de Ingenieros (ACIEM)* en el año 2003, haber representado la Escuela de Ingeniería en el Concurso Nacional Otto de Greiff - Mejores Trabajos de Grado, durante los últimos tres años, y estar en los titulares de Ciencia, de los periódicos locales y nacionales, confirman, la calidad y el compromiso de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la universidad de EAFIT, en formar personas comprometidas con el desarrollo de la Comunidad.

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, cuentan 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 del Centro de Laboratorios y de los Grupos de Investigación de la Carrera de Ingeniería Mecánica.

**LEONEL FRANCISCO CASTAÑEDA HEREDIA**  
Coordinador de Proyectos de Grado  
Departamento de Ingeniería Mecánica



# DISPOSITIVO ANTI-RETORNO DE VEHÍCULOS EN PENDIENTE

ESCUELA DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA - 2003

PROYECTO PREMIADO CON MENCIÓN DE HONOR

***Primer puesto en la primera Feria de la Innovación e Invención Aplicada  
convocada por la Asociación Colombiana de Ingenieros (ACIEM)***

## AUTOR

CARLOS ANDRÉS CASTAÑO HENAO, [candresch@hotmail.com](mailto:candresch@hotmail.com)

## ÁREA DE ÉNFASIS

DISEÑO DE SISTEMAS TÉCNICOS

## ASESOR PRINCIPAL

Ing. IVÁN DARÍO ARANGO LÓPEZ

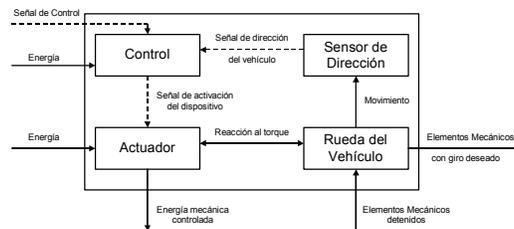
## SECTOR BENEFICIADO

Sector Automotriz

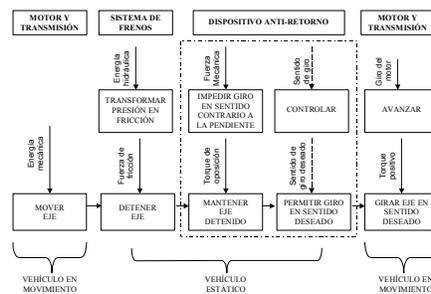
## RESUMEN

Los vehículos convencionales de calle para retomar suavemente la marcha en una cuesta pronunciada, obligan al conductor a operar simultáneamente los pedales de freno, acelerador y embrague en forma coordinada. Con este proyecto, se desarrolló un dispositivo que ayuda al conductor en esta situación de difícil manejo, de modo que sirve de asistente de freno, impidiendo el movimiento del vehículo en sentido contrario a la dirección de la pendiente, dejando al conductor solo la sincronización del acelerador y embrague necesaria para poner en marcha el vehículo, de manera similar a como lo haría en el terreno plano. De esta manera el dispositivo introduce seguridad y mayor confort a los usuarios del vehículo.

**FIGURA 1**  
**Análisis funcional del dispositivo**



**FIGURA 2**  
**Análisis funcional del dispositivo y su entorno**



## PALABRAS CLAVES

Frenos/Embragues/Anti-retorno de vehículos.

## 1. INTRODUCCIÓN

La coordinación de los movimientos por parte del conductor para mantener el vehículo controlado en superficies inclinadas, ha sido siempre un problema, pues si se genera mayor presión de frenado de la que realmente se necesita, el motor se apaga; al contrario, si la presión en el sistema de frenos no es la suficiente, el vehículo comienza a devolverse antes de arrancar. Por lo tanto, debe haber una sincronización entre acelerador, freno y embrague, que garanticen un arranque en pendiente satisfactorio. Es lógico entonces buscar métodos que faciliten esta operación sin necesidad de mayor experiencia.

En la actualidad existen sistemas que tratan de dar solución a este inconveniente, siendo escasos en nuestro medio y no adaptables a cualquier vehículo. Dentro de estos se encuentran:

### Volkswagen

En las versiones manuales, los frenos del Touareg realizan una función de ayuda a la hora de arrancar en pendiente, como si se tratara de un coche automático. Al embragar, el asistente de frenada reduce paulatinamente la presión sobre los discos hasta que el coche se ponga en movimiento en la dirección deseada. Igual que actúa en las subidas, también lo hace en las bajadas, controlando cada una de las ruedas para no perder el control<sup>1</sup>.

### Mercedes Benz

Para esto también ha encontrado una solución Mercedes Benz con la llamada "Ayuda a la Arrancada". Gracias a esta función, se evita que el coche se vaya hacia adelante o hacia atrás con sólo dar una pisada breve al freno, sin tener que mantener pisado este, o utilizar el freno de mano. Esta función se desactiva al volver a pisar el pedal del acelerador<sup>2</sup>.

**FIGURA 3**  
**Volante y panel de instrumentos BMW M3**



<sup>1</sup> <http://www.el-mundo.es/motor/2002/259/1033737937.html>

<sup>2</sup> <http://www.mercedes-benz.com.ar/automoviles/ML/seguridad.html>

Una función del BMW M3 facilita la arrancada en una rampa,. De tal forma, si el conductor pisa el freno y pulsa un mando en el volante unos segundos, después puede soltar el pedal del freno sin que el coche caiga hacia atrás cuando el vehículo está detenido en una pendiente<sup>3</sup>.

### Subaru Legacy

Cuando el vehículo esta parado en una pendiente, éste permanece detenido siempre y cuando se mantenga pisado el pedal del embrague, aún sin pisar el pedal del freno. Para su funcionamiento utiliza un mecanismo de poleas que acciona el freno de emergencia en el último tramo del recorrido del pedal de embrague<sup>4</sup>.

## 2. DESARROLLO

En el proceso de diseño del dispositivo anti-retorno, se tienen en cuenta tanto los requerimientos técnicos, como las opiniones de los usuarios potenciales (encuesta realizada al inicio del proyecto). También se hace énfasis en la búsqueda de una alternativa sencilla, que utilice componentes de fácil consecución y mínima inversión económica. Adicionalmente se establece, como principal condición de diseño, que el dispositivo pueda ser instalado en un vehículo con caja mecánica convencional y sistema de frenos hidráulico.

**Tabla 1**  
**Lista de requerimientos**

ITEM	DESCRIPCIÓN	REQUISITO	DESEO	SUGERENCIA
1	Universalidad	X		
2	Costo del dispositivo menor a US\$ 130			X
3	Facilidad para reproducirlo		X	
4	Intervenir mínimamente los elementos originales		X	
5	Funcionar en marcha adelante y en reversa	X		
6	Activación automática		X	
7	Operar con los comandos originales del vehículo		X	
8	Ser durable y confiable		X	

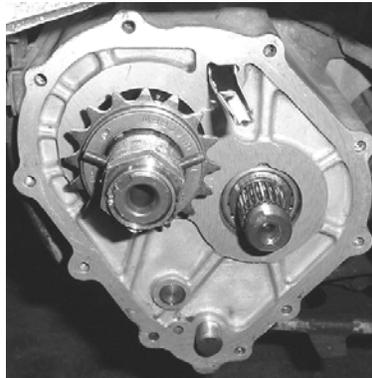
Después de analizar los resultados de la encuesta y evaluar las condiciones técnicas del vehículo, se desarrolla la tabla 1 con las características que debe cumplir el diseño, para que el dispositivo anti-retorno sea atractivo y no entorpezca otras funciones de manejo en el vehículo.

Utilizando el método de lluvia de ideas y adicionalmente, observando y analizando varios de los elementos y procesos que se llevan a cabo en el vehículo, se plantean once alternativas de solución al problema enunciado. Luego de analizar cada una de las alternativas y además teniendo en cuenta dos de los aspectos fundamentales en el desarrollo de productos como son: la posibilidad de fabricación y el costo de fabricación, se elige la alternativa correspondiente al giro unidireccional del propulsor para la construcción del prototipo.

<sup>3</sup> [http://km77.com/marcas/bmw/serie3\\_01/m3smg/texto.asp](http://km77.com/marcas/bmw/serie3_01/m3smg/texto.asp) [cited 29 nov., 2001]

<sup>4</sup> SUBARU. Sistema antirreculamiento. En : Subaru Legacy. Tokio : Fuji Heavy Industries Ltd., 1992. p.22.

**FIGURA 4**  
**Primer prototipo**



### **3. ENSAYOS REALIZADOS**

Utilizando una pendiente de poca inclinación, se sometió a prueba el funcionamiento del prototipo, quien efectivamente cumplió su objetivo. Dado que el vehículo se mantuvo detenido y arranco correctamente, sin necesidad de operar el freno. Se realizaron otras pruebas aumentando gradualmente la inclinación de la pendiente y en todos los casos el dispositivo cumplió con su función.

El desempeño del primer prototipo es satisfactorio, en cuanto facilita la puesta en marcha del vehículo en pendiente, validando de esta forma el principio de funcionamiento escogido para su construcción, pero, el inconveniente que presenta, es que una vez se encuentra soportando la carga impuesta por la pendiente, no es posible desengranar el cambio en la caja de velocidades.

Con el fin de solucionar el trabamiento de la caja de cambios, surge de la necesidad de desarrollar un nuevo prototipo para dar fin a los inconvenientes presentados en el primer modelo-solución.

**FIGURA 5**  
**Segundo prototipo**



Como uno de los componentes incluidos al dispositivo, se integró al sistema de frenos, se considera necesario verificar el funcionamiento de este sistema (ver tabla 2).

**TABLA 2**  
**Prueba de distancia de frenado**

Velocidad	DISTANCIA DE FRENADO		% de aumento
	Frenos Originales	Frenos con dispositivo	
20 Km/h	1.07 m	1.22 m	12.29 %
40 Km/h	6.70 m	8.24 m	18.68 %
50 Km/h	8.68 m	10.12 m	14.22 %
		PROMEDIO:	15.06 %

Del ensayo anterior se puede concluir, que efectivamente el elemento adicionado al sistema de frenos, reduce la eficiencia global del sistema.

Luego utilizando una pendiente de poca inclinación, se sometió a prueba el funcionamiento del segundo prototipo. Una vez detenido el vehículo en la pendiente, se engranó la marcha adelante, se liberó el pedal de freno y efectivamente el vehículo se mantuvo estático; seguidamente, liberando el embrague en conjunto con la acción del acelerador, arrancó sin ningún inconveniente.

Al igual que los ensayos con el primer prototipo, luego de comprobar su funcionamiento con baja carga, se incrementó ésta hasta condiciones extremas, comprobando su correcto funcionamiento.

Para verificar que el principal inconveniente presentado por el primer prototipo, si se solucionó; se ubica el vehículo sobre una pendiente, mientras el dispositivo mantiene estático el vehículo, y presionando el freno se hace posible retirar el cambio engranado, como se esperaba.

Luego que el dispositivo anti-retorno cumple favorablemente su función, sin perturbar las demás acciones del vehículo, se da fin al objetivo principal de este proyecto.

## CONCLUSIONES

- Los sistemas de ayuda a la arrancada en pendiente, son tan recientes, que solo están disponibles en vehículos de última generación y alta gamma, pero como arrancar con seguridad en una pendiente, es una necesidad de todos; existen grandes posibilidades para que estos elementos de seguridad se vayan incorporando cada vez a más vehículos.
- Durante el desarrollo del proyecto se resalta la importancia de construir prototipos de los diseños planteados, pues los modelos físicos cumplen una función muy importante, debido a que proporcionan

una mejor claridad del proceso de diseño y pueden detectar fallas que por otros medios o mediante modelos de cálculo son muy difíciles de hallar.

- Luego de evaluar el prototipo obtenido, resulta sumamente satisfactorio tener un nuevo dispositivo anti-retorno, que puede llegar a ser competitivo en la industria, demostrando que es posible desarrollar tecnología a partir de conocimientos mínimos, mucha investigación, trabajo y dedicación. Esta tecnología, lógicamente representa un comienzo, el cual tiene grandes perspectivas de éxito en futuros desarrollos.
- Los sistemas implementados en vehículos de producción en serie, facilitan retomar la marcha del vehículo en la pendiente, pero no le garantizan al conductor inexperienced que el vehículo no se devolverá; por lo tanto, la ventaja del nuevo dispositivo desarrollado es que a pesar de que no se inicie correctamente la marcha del vehículo éste permanece estático.
- Los dispositivos de arranque en pendiente actuales, existen gracias a que son funciones complementarias de los sistemas de seguridad activa implementados en los más modernos automotores. De modo que utilizan la plataforma de control de otros sistemas como el ABS, BASS, y ESP, para adoptar funciones de ayuda al arranque en pendiente, y así, poder economizar sensores y actuadores, que por sus funciones análogas, cumplen actividades conjuntas entre los sistemas.
- Revisando la definición de seguridad activa, se puede asociar el dispositivo anti-retorno como un elemento de seguridad activa, que brinda protección a los usuarios de los automotores que originalmente no poseen estos sistemas.
- El dispositivo anti-retorno, al aportar mayor seguridad y al disminuir el temor de detener el vehículo en una pendiente muy inclinada, aumenta el bienestar de los pasajeros y el confort al manejar.

## BIBLIOGRAFÍA

DAYTON. Equipment and supplies for industry, farm & home: Push or pull-type solenoids. New York : 1990. p 294 - 305

DEUTSCHMAN, Aaron D., Michels, Walter J. y Wilson, Charles E. Diseño de máquinas teoría y práctica. Naucalpan, México: Compañía editorial continental 1996. 973 p.

DÍAZ, Raúl. El automóvil y sus sistemas de seguridad. España : Centro: I.E.S. JAUME I SALOU. 2000.

Diversas revistas de Motor (Auto-Sport, Solo Moto, Motor 16, Auto-verde, Autopista, Autovía) de 1998, 1999 y 2000.

DIVISIÓN TÉCNICA INCOLBESTOS S.A. Diagnóstico rápido del sistema de frenos. En: Normas y Calidad. Bogotá, Colombia: ICONTEC., Vol. 9, No. 16, 1993. p. 48-50.

FAIRES, Virgil Moring. Diseño de elementos de máquinas. México: Limusa Noriega editores, 1997. p. 632 – 658.

- GERSCHLER, H. Tecnología del Automóvil. Barcelona, España: Editorial Reverte, 1985. 221 p.
- MAZDA MOTOR CORPORATION. Mazda 323 Workshop Manual. Hiroshima: 1986. p. 9-1 – 9-27
- SCHWOCH, Werner. Mecánico asistente: Curso de aprendizaje automotriz. Madrid, España: Editorial Reverte, 1983
- SEIFFERT, Ulrich. Automobile of the future. Commonwe Lth. D.W.: Society of automotive, 1991. 251 p.
- SUBARU. Sistema antirreculamiento. En: Subaru Legacy. Tokio : Fuji Heavy Industries Ltd., 1992. p.22.
- WANNER, Michael. Brake by Wire de Bosch: La evolución de los sistemas de frenado. En: Fluidos – Oleohidráulica – Neumática - Automatización. Barcelona : Baskum, S.L.. Vol. 28, No. 249 (marzo, 1999); p. 26.
- WARNER. Electric. Chutches, Brakes and Controls. En: Master Catalog. Estados Unidos: Print USA 1993.
- AUTOCITY [citado el 8 marzo, 2001]. Disponible en Internet <[www. Autocity.com/documentostécnicos-  
/manuales.htm](http://www.autocity.com/documentostécnicos/manuales.htm)>
- DAIMLERCHRYSLER [citado el 10 agosto, 2002]. Disponible en Internet <[www.daimlerchrysler.es.htm](http://www.daimlerchrysler.es.htm)>
- DJM NET LATINA S.L. BMW M3 SMG II : Mejor control electrónico y mandos en el volante [Online]. España. [citado el 29 nov., 2001]. Disponible en Internet <[http://km77.com/marcas/bmw/serie3\\_01-  
/m3smg/texto.asp](http://km77.com/marcas/bmw/serie3_01/m3smg/texto.asp)>
- EL MUNDO España [citado el 20 febrero, 2001]. Disponible en Internet <[www.el-mundo.es/motor/2002/259/  
1033737937.html](http://www.el-mundo.es/motor/2002/259/1033737937.html)>
- MERCEDES-BENS [citado el 30 septiembre, 2002]. Disponible en Internet <[www.mercedes-  
benz.com.ar/automoviles/ML/seguridad.html](http://www.mercedes-benz.com.ar/automoviles/ML/seguridad.html)>



ESCUELA DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA - 2003  
PROYECTO PREMIADO CON MENCIÓN DE HONOR

**AUTOR**

FRANCISCO JAVIER BOTERO HERRERA, [fboteroh@eafit.edu.co](mailto:fboteroh@eafit.edu.co)

**ÁREA DE ÉNFASIS**

MANTENIMIENTO DE SISTEMAS TÉCNICOS

**ASESOR PRINCIPAL**

Ing. LEONEL FRANCISCO CASTAÑEDA HEREDIA

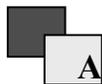
**SECTOR BENEFICIADO**

Universidad EAFIT



## RESUMEN

En este artículo se discute el montaje de un banco experimental computarizado para el análisis de aislantes mecánicos como resortes metálicos o soportes de neopreno. Se plantea el modelo matemático para un sistema masa-resorte-amortiguador que describa el comportamiento teórico y que permite definir las variables que intervienen en el desempeño del aislante. Se describe el montaje experimental, incluyendo el sistema de control y de adquisición de datos, el software desarrollado, los aislantes y sus propiedades, etc. Finalmente, se desarrolla una metodología para diseñar o seleccionar algunos tipos soportes para aislar sistemas técnicos.



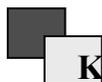
## ABSTRACT

This article discusses the mounting of a computerized experimental model to test mechanical isolators (vibroisolators) as springs and neoprene mounts. The mass-spring-damper system is assumed as the mathematical model that describes the theoretical behavior and shows the isolator performance variables. The experimental model is described including the control system, data acquisition system, the developed software, the isolators properties, etc. Finally, it is composed a methodology to design or select some kinds of mounts to isolate machines.



## PALABRAS CLAVES

Aislantes mecánicos, vibroaislamiento, vibroaisladores, resortes, vibraciones, transmisibilidad.



## KEY WORDS

Vibroisolators, isolators, vibrating mounts, spring, mechanical vibrations, transmissibility.



## PRESENTACIÓN

El estudio de vibraciones mecánicas de Sistemas Técnicos puede ser de especial interés si se consideran los efectos que pueden tener en estructuras, en equipos y especialmente en la salud humana.

Las máquinas utilizadas en edificios, por ejemplo compresores, ventiladores, o ascensores, trabajan a frecuencias que pueden hacer resonar columnas, vigas, paredes, ventanas, puertas, o demás componentes y poner en riesgo la integridad de la edificación. La vibración que se transmite por las estructuras (aunque no las haga resonar), pueden alcanzar equipos sensibles, como las máquinas de control numérico o los instrumentos de metrología y alterar su buen funcionamiento, disminuyendo la calidad de sus productos.

La vibración generada por una máquina también puede afectar personas, ya sea porque están en contacto con esta, o porque llegó a ellas a través del suelo o la estructura. La exposición prolongada a niveles severos de vibración puede provocar lesiones corporales como problemas de columna (a frecuencias entre 4 y 12Hz), trastornos del sistema digestivo (a frecuencias entre 4 y 5Hz) y daños cardiovasculares (a frecuencias menores a 20Hz), además de que puede generar fatiga y afectar los sentidos, como la visión, e interferir en el desarrollo de tareas. Por los efectos negativos enumerados, conviene evitar la propagación de las vibraciones mecánicas no deseadas. Este proyecto busca el desarrollo de un modelo experimental que permita estudiar la propagación de las vibraciones generadas por Sistemas Técnicos, cuando se varía la elasticidad y el amortiguamiento de sus descansos.

El modelo experimental, que guarda semejanza con algunos sistemas técnicos industriales como compresores, bombas centrífugas, etc, consta de una base de concreto que soporta un motor, un eje principal y un disco con una masa excéntrica variable y la posibilidad de hacer otros montajes. La base, permite la instalación de varios tipos de aislamientos y en localizaciones diferentes.

El control de la frecuencia de excitación (motor), la captura y el análisis de los datos experimentales se manejan desde una interfaz computacional que se programa para que el usuario pueda proceder ordenadamente. El programa también contiene herramientas, como las representaciones espectrales, que facilitan la formulación de diagnósticos del estado vibratorio del Sistema Técnico. El usuario puede configurar los parámetros de adquisición, filtrar señales, ventanear y medir la fase entre dos señales.

Se recopila la información pertinente al diseño de resortes metálicos y elastoméricos para fabricar cuatro tipos de descansos para el banco y estudiar su comportamiento. Los resortes son sometidos a pruebas estáticas y dinámicas de laboratorio para precisar sus propiedades.

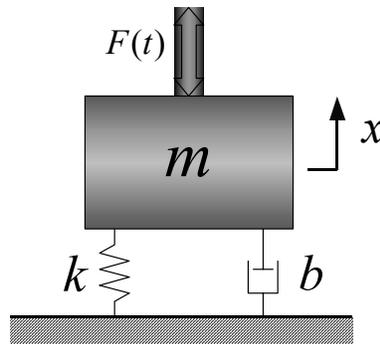
La conceptualización del modelo experimental se logró a partir del modelo simplificado de un sistema masa-resorte-amortiguador-fuerza excitadora con un solo grado de libertad, pues no es propio del proyecto profundizar en el modelamiento matemático. Este modelo permite explicar el comportamiento del sistema en estado transitorio y en estado vibratorio estable, suficiente para lograr una primera aproximación al modelo real.

Finalmente, se desarrolla una metodología para el aislamiento mecánico del banco experimental y que permita ser extrapolada a máquinas industriales.

## MODELO TEÓRICO

Se adoptó un sistema amortiguado forzado (figura 1) como una primera aproximación al modelo teórico del banco experimental.

**FIGURA 1**  
**Sistema amortiguado forzado**



En este modelo es posible analizar variables propias de los aislantes mecánicos como la constante de elasticidad  $k$  y la constante de amortiguación  $b$ .

Aplicando la segunda ley de Newton al sistema mostrado en la Figura 1, se tiene:

$$m\ddot{x} + b\dot{x} + kx = F_0 \sin \omega t$$

donde  $m$  es la masa del sistema,  $x$  el desplazamiento medido desde el punto de equilibrio,  $\dot{x}$  su velocidad y  $\ddot{x}$  su aceleración,  $F_0$  es la magnitud de la fuerza excitadora  $\omega$  es la frecuencia angular de la fuerza y  $t$  es el tiempo.

De acuerdo a las condiciones iniciales, el sistema puede comportarse subamortiguado, críticamente amortiguado o sobreamortiguado.

La solución del sistema para  $x$  es de la forma:

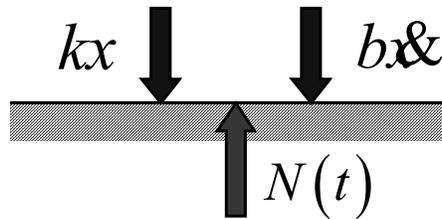
$$x = C \sin(\omega t + \phi)$$

donde  $\phi$  es el ángulo de fase entre la fuerza y el desplazamiento, y:

$$C = \frac{F_0}{\sqrt{(k - m\omega^2)^2 + (b\omega)^2}}$$

Si se sigue el mismo procedimiento para determinar la reacción normal que hace la base ( FIGURA 2), se llega a una solución similar:

**FIGURA 2**  
**Reacción normal  $N(t)$  de la base**



$$N(t) = C\sqrt{(b\omega)^2 + k^2} \cdot \text{sen}(\omega t + \phi + \theta)$$

Conocidas la fuerza excitadora y la reacción de la base, es posible definir la transmisibilidad ( $T_x$ ), como la relación que existe entre sus magnitudes:

$$T_x = \frac{|N(t)|}{|F(t)|} = \frac{\sqrt{(b\omega)^2 + k^2}}{\sqrt{(k - m\omega^2)^2 + (b\omega)^2}}$$

Si

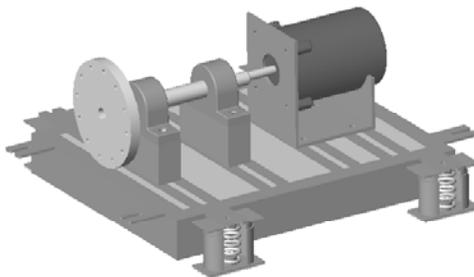
$T_x > 1$ : El elemento mecánico está trabajando como amplificador de la fuerza y no como aislante. La fuerza que recibe la base es mayor que la fuerza de excitación.

$T_x = 1$ : El elemento mecánico no está trabajando. La magnitud de la fuerza que se está transmitiendo a la base es igual a la magnitud de la fuerza de excitación.

$T_x < 1$ : El elemento mecánico está trabajando como aislante; la fuerza que se está transmitiendo a la base es menor que la fuerza de excitación.

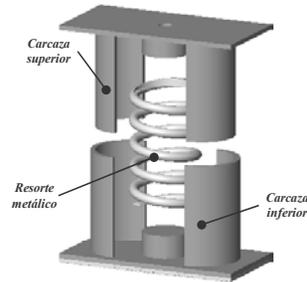
## MODELO EXPERIMENTAL

**FIGURA 3**  
**Modelo experimental**



El modelo experimental (FIGURA 3) consta de una plataforma en concreto que permite aumentar la masa del sistema (bloque de inercia), un motor eléctrico (actuador), un eje de transmisión y una volante desbalanceada.

**FIGURA 4**  
**Soportes**



Los elementos aislantes de tipo resorte metálico se montan sobre los soportes mostrados en la FIGURA 4, que a la vez les sirven de guías.

En el banco experimental  $F_0$  está dado por  $m_e e \omega^2$  donde  $m_e$  es la masa excéntrica,  $e$  es la excentricidad de la masa y  $\omega$  es la frecuencia angular que entrega el motor.

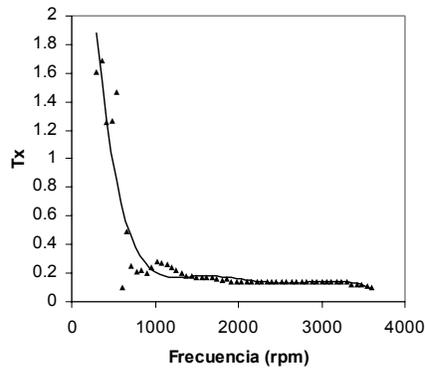
Se empleó un motor Leeson trifásico de 1Hp, controlado por un variador de frecuencia *SIEMENS Micromáster 420*.

Para sensar la aceleración del sistema se utilizaron 2 acelerómetros *KISTLER 8704B50* ubicados en la parte superior e inferior de los aislantes mecánicos.

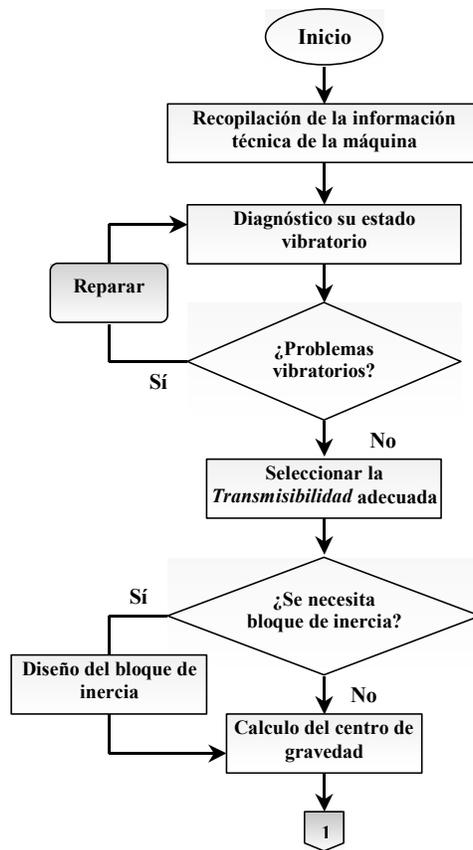
Tanto la señal de control dirigida hacia el variador, como las señales provenientes de los sensores fueron manejadas por una tarjeta de adquisición *National Instruments PCI-6014*.

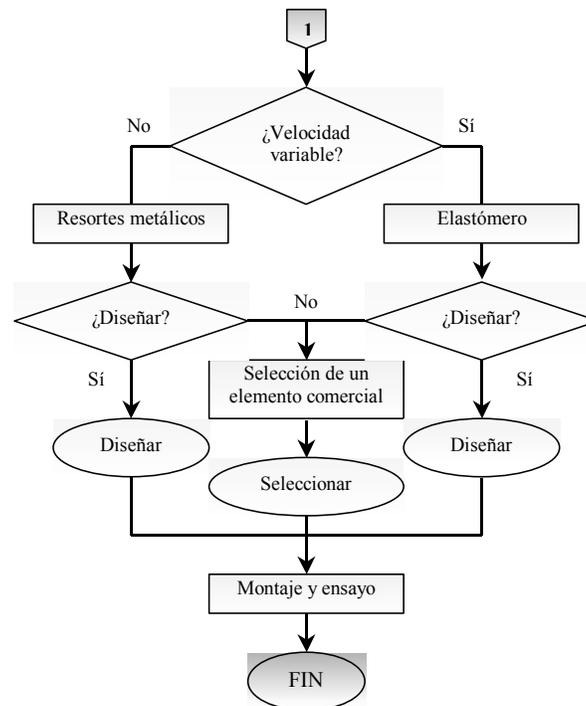
El software se escribió bajo el programador gráfico LabView. El programa se encarga de registrar la aceleración capturada de los dos acelerómetros y calcular la transmisibilidad a medida que incrementa la frecuencia angular del motor. Finalmente, el resultado es un gráfico de Transmisibilidad vs Frecuencia angular, en el que se pueden detectar las frecuencias en las que el resorte trabaja como aislante ( $T_x < 1$ ). En la FIGURA 5 se presenta uno de los gráficos obtenidos para un resorte metálico.

**FIGURA 5**  
**Gráfico de transmisibilidad para un resorte metálico**



## METODOLOGÍA PARA AISLAR UNA MÁQUINA ROTATIVA





## CONCLUSIÓN

Se montó un banco experimental de pruebas que permite diferentes configuraciones para el análisis de vibraciones mecánicas y que es análogo a varios sistemas técnicos industriales. Para el desarrollo del proyecto se consideró un módulo de balanceamiento, para inducir una fuerza excitadora en el sistema.

La instrumentación implementada permite la captura de señales de dos acelerómetros simultáneamente, de manera fácil, rápida y segura. El control de la frecuencia de excitación instalado permite la variación de la velocidad del motor de 0 hasta 60Hz de manera manual desde su panel de control, o de manera automática por medio de una estrada analógica.

Los apoyos fabricados para el modelo experimental se diseñaron siguiendo la metodología que se redactó para el aislamiento de sistemas técnicos. Las mediciones de transmisibilidad arrojaron resultados satisfactorios de la aplicación de la metodología. Se construyeron dos juegos de resortes metálicos, uno de resortes de caucho y uno de resortes de neopreno con propiedades relativamente estables y con anclajes que les permiten ser montados y desmontados en el banco. Los resortes de caucho natural y neopreno presentaron los niveles de transmisibilidad mas bajos, 0.05 en promedio, mientras que los resortes metálicos presentaron en promedio, niveles de transmisibilidad de 0.1.

El modelo experimental montado en este proyecto es una herramienta para la investigación del comportamiento vibratorio de sistemas técnicos similares, para el estudio de las propiedades elásticas y de amortiguamiento de diversos apoyos y para el desarrollo de prácticas de laboratorio de asignaturas como vibraciones mecánicas y mecánica experimental.

## BIBLIOGRAFÍA

- ANGULO, José. Microcontroladores PIC: Diseño práctico de aplicaciones. Madrid, España: McGraw-Hill, 1999. 2ª Ed. 295p. ISBN: 84-841-2496-0.
- BARNES GROUP. Design Handbook: Engineering Guide to Spring Design. Connecticut, USA: Headquarters, 1987. 116p.
- BUILES, Esteban. Implementación de un módulo para el paquete vibrafin que permita el análisis de vibraciones amortiguadas en ejes por medio del método de elementos finitos. Medellín, Colombia: Universidad Eafit, 2002. 158p.
- BEER, Ferdinand P. y Roussell Johnston Mecánica de Materiales. Bogotá, Colombia: McGraw-Hill, 1993. 2ª Ed. 738p. ISBN: 0-07-837340-9.
- CHUGANI, Mahesh; SAMANT y CERNA. LabView Signal Processing. New York, USA: Prentice Hall PTR, 1998. 1ª Ed. 634p. ISBN: 0-13-972449-4.
- CREDE, Charles. Conceptos Sobre Choque y Vibración en el Diseño de Ingeniería. México D.F, México: Herrero Hermanos, sucesores, S.A., 1965. 1ª Ed. 173p.
- DEUTSCHMAN, Aarón; MICHELS y WILSON. Diseño de Máquinas. México D.F., Mexico: Cecsa, 1985. 1ª Ed. 973p. ISBN: 968-26-0600-4.
- Foreman, John. Sound Analisis and Noise Control. New York, USA: Van Nostrand Reinhold, 1990. 1ª Ed. 461p. ISBN: 0-442-31949-5.
- GENT, Alan. Engineering with rubber: How to Design Rubber Components. New York, USA: Hanser, 1992. 1ª Ed. 334p. ISBN: 3-446-17010-3.
- HARRIS, Cyril. Shock and Vibration Handbook. New York, USA: McGRAW-Hill, 1989. 4ª Ed. 1640p. ISBN: 84-481-0306-8.
- HARRIS, Cyril. Manual de medidas acústicas y control del ruido. Madrid, España: McGRAW-Hill, 1995. 3ª Ed. 1640p. ISBN: 84-481-0305-X.
- HOLMAN, Jack. Métodos Experimentales para Ingenieros. México D.F, México: McGRAW-Hill, 1994. 4ª Ed. 559p. ISBN: 0-07029613-8.
- INMAN, Daniel. Engineering Vibration. USA: Prentice-Hall, 1996. 560p.
- Jensen, Jens. Vibraciones Mecánicas: Prevención, Manejo y Control. Medellín, Colombia: Universidad Eafit, 1989. 263p.

NASHIF, Ahid D.; JONES, David I.G. y HENDERSON, John P. Vibration Damping. Canadá: John Wiley & Sons, 1985. 453p.

MEIROVITCH, Leonard. Elements of Vibration Analysis. USA: McGraw-Hill, 1986. 2ª Ed. 560p.

SAAVEDRA, Pedro. Seminario Internacional, Vibraciones y Rotodinámica en Equipo Rotatorio. Calí, Colombia: Universidad de Concepción, 1997. 220p.

SAAVEDRA, Pedro. Análisis de Vibraciones de Máquinas Rotatorias Nivel I, bases del mantenimiento predictivo y del diagnóstico de máquinas rotatorias. Calí, Colombia: Universidad de Concepción, 2001. 200p.

SHABANA, Ahmed. Vibration of Discrete and Continuous Systems. Chicago, USA: Springer, 1996. 2ª Ed. 393p.

STEIDEL, Robert. An Introduction to Mechanical Vibrations. New York, USA: Wiley, 1979. 2ª Ed. 400p.

TECH PRODUCTS CORPORATION. Vibration and Noise Control Products. Dayton, USA. 2003. 1ª Ed. 113p.

THOMSON, William y DAHLEH, Marie. Theory of Vibration with Applications. New Jersey, USA: Prentice-Hall, 1998. 5ª Ed. 524p. ISBN: 968-880-099-6.

Internet:

Hiawatha Rubber Co. Shock & Vibration/isolators & mounts . [En línea]. [Citado en Febrero 4 de 2003]. Disponible en Internet: <http://www.hiawatharubber.com/>.

Karman Rubber. Selecting The Right Vibro-Insulator. [En línea]. [Citado en Marzo 8 de 2003]. Disponible en Internet: <http://www.karman.com/>.

SAAVEDRA, Pedro. Laboratorio de Vibraciones Mecánicas. [En línea]. 2002 [Citado en Noviembre 15 de 2002]. Disponible en Internet: <http://galileo.dim.udec.cl/lvm/index.html>

MASON. Neoprene Formwork System For Mechanical Equipment Rooms With Machinery Supported By The Floating Floor. [En línea]. [Citado en Mayo 26 de 2006]. Disponible en Internet: <http://www.mason-ind.com/masonanaheim/specs/acsc.doc>.



# **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN REFRIGERADOR SOLAR POR ABSORCIÓN INTERMITENTE**

ESCUELA DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA - 2003

## **AUTOR**

BEATRIZ ELENA GALLO AMAYA, [bgalloam@eafit.edu.co](mailto:bgalloam@eafit.edu.co)

## **ÁREA DE ÉNFASIS**

DISEÑO DE SISTEMAS TÉCNICOS

## **ASESOR PRINCIPAL**

Ing. LUIS SANTIAGO PARIS

## **SECTOR BENEFICIADO**

Universidad EAFIT – Área de Térmica



## RESUMEN

La refrigeración por absorción, descubierta por Michael Faraday en 1824, se basa en la afinidad de una sustancia para ser absorbida por otra; este hecho elimina la necesidad de un compresor mecánico, el que es reemplazado por una entrada de energía térmica. Lo anterior lleva a que en este tipo de refrigeración se puedan utilizar otras fuentes energéticas aparte de la electricidad, como son las energías térmicas residuales, los combustibles y la energía solar. Se diseñó y construyó un refrigerador por absorción intermitente, cuya fuente energética es la energía solar. Se experimentó el prototipo, primero separando colector y refrigerador, para luego ser probados juntos. Se muestran los resultados obtenidos con tres experimentos del refrigerador operado con gas propano, dos del colector solar y del refrigerador operado con energía solar. Se plantean las principales causas de error y se proponen las recomendaciones para mejorar el proceso.



## ABSTRACT

Absorption refrigeration was discovered by Michael Faraday in 1824, it is based in the affinity of a substance to be absorbed by other substance; this fact eliminates the necessity of a mechanical compressor, who is replaced by thermal energy. This makes possible the use of other kind of energy besides electricity in this type of refrigeration, like residual thermal, combustibles and solar energy. It was designed and built an intermittent absorption refrigerator, which is operated by solar energy. The machine was proved, in a first instance, by separating the collector and the refrigerator and then they where proved together. It was presented the results of three experiments operated with propane gas, two experiments of the collector and one experiment of the refrigerator working with solar energy. It was analyzed the principal error causes and it was proposed the recommendations to improve the process.



## PALABRAS CLAVE

Refrigeración por absorción, Refrigeración solar, Colector solar.



## KEY WORD

Absorption refrigeration, Solar refrigeration, Solar Collector.

## ARTÍCULO

En este proyecto se pretende diseñar y construir un prototipo funcional de refrigerador que sea activado por medio de la energía solar; para esto se utilizará un colector de placa plana que funcione con un sistema de circulación natural. Sus fines serán experimentales, más no comerciales. El refrigerador se diseña con una capacidad de congelar  $\frac{1}{2}$  kg de agua desde  $25^{\circ}\text{C}$  hasta  $-5^{\circ}\text{C}$  por cada ciclo; la experimentación se divide con el fin de poder analizar separadamente el funcionamiento del refrigerador y del colector solar, para luego ser probados juntos, lo que permite examinar el trabajo de cada dispositivo y los inconvenientes y ventajas presentados en cada uno de los dos procesos. Al finalizar los experimentos con el prototipo se pretende concluir la factibilidad del uso de la energía solar en sistemas de absorción, además de las ventajas y desventajas que puedan presentar estos dispositivos. Todo esto permitirá continuar con investigaciones realizadas en el pasado y ser un aporte más para quien pretenda realizar desarrollos en el campo de la refrigeración solar por absorción.

## LISTA DE TÉRMINOS

A: área del colector  
 COP: coeficiente de funcionamiento  
 Cp1: calor específico del agua líquida  
 Cp2: calor específico del hielo  
 D: diámetro exterior de la tubería  
 e: espesor de la placa absorbora  
 ER: efecto refrigerante  
 F: eficiencia de la placa absorbora  
 hl: entalpía del líquido  
 hg: entalpía del gas  
 hls: entalpía de congelación del agua  
 H: hora angular  
 H: radiación solar global promedio diario  
 k: conductividad térmica  
 L: latitud  
 m: masa  
 q: transferencia de calor por unidad de tiempo  
 QA: calor cedido por el absorbedor  
 QC: calor cedido por el condensador  
 QE: calor cedido al evaporador  
 QG: calor adicionado al generador  
 QR: calor cedido por el rectificador  
 S: brillo solar promedio diario  
 t: tiempo  
 TA: temperatura final de evaporación  
 TB: temperatura final de absorción

- TC: temperatura final de generación
- TD: temperatura final de condensación
- UL: coeficiente total de pérdidas de calor
- W: espaciamiento de la tubería en el colector
- xf: concentración final del amoníaco líquido
- xl: concentración de amoníaco líquido
- xg: concentración de amoníaco gaseoso
- $\delta$ : declinación solar
- $\eta$ : eficiencia del colector
- $\theta$ : ángulo de incidencia
- $\Delta T$ : incremento de temperatura
- $\Delta T_1$ : cambio de temperatura del agua líquida
- $\Delta T_2$ : cambio de temperatura del hielo

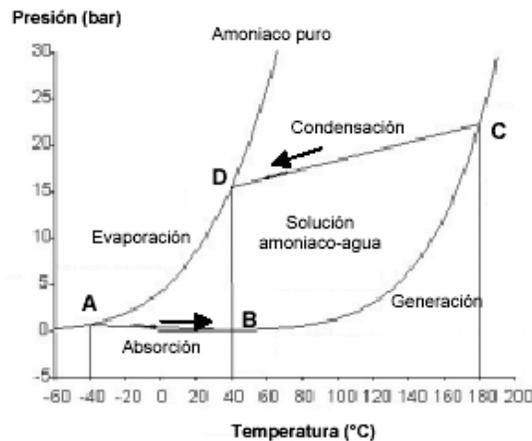
Diseño del refrigerador

La cantidad de calor Q, que se le debe extraer al agua para lograr el cambio de temperatura, produciendo hielo es:

$$Q = mCp_1\Delta T_1 + mh_k + mCp_2\Delta T_2 = 225,08 \text{ kJ}$$

Para un ciclo de refrigeración por absorción, compuesto por sus cuatro etapas, generación, condensación, evaporación y absorción, se indica como la solución aumenta su presión y temperatura durante la generación (BC); en la condensación se disminuye levemente su presión, mientras que baja su temperatura (CD); la evaporación se da para el amoníaco puro, es por esto que esta etapa se presenta según la gráfica de presión vs temperatura del amoníaco puro (DA); en la absorción se da un aumento en la temperatura sin cambios importantes en la presión (AB), (ver la figura 1).

**FIGURA 1**  
**Diagrama de Presión vs temperatura en la refrigeración por absorción**  
**(Rocky Research, 1995)**



**Selección de variables de trabajo del refrigerador**

$T_A = -10^\circ\text{C}$   
 $T_B = 25^\circ\text{C}$   
 $T_C = 90^\circ\text{C}$   
 $T_D = 30^\circ\text{C}$   
 $t_{\text{generación}} = 3 \text{ horas}$   
 $t_{\text{refrigeración}} = 4 \text{ horas}$   
 Pureza del amoníaco en la evaporación = 0,995

**Efecto refrigerante.** Es el cambio de entalpía del amoníaco durante la evaporación (Stoecker, 1982, 198p), la cual se da desde una temperatura de  $30^\circ\text{C}$  hasta  $-10^\circ\text{C}$ . En esta etapa el amoníaco está casi puro; para estas condiciones la entalpía es (Stoecker, 1965, 372p):

$T_D = 30^\circ\text{C}$  (amoníaco líquido puro, saturado)  
 $h_l = 322,42 \text{ kJ/kg}$   
 $P_{\text{abs,CD}} = 1.166,83 \text{ kPa}$  (169,23 psia)

$T_A = -10^\circ\text{C}$  (amoníaco gaseoso puro, saturado)  
 $h_g = 1.430,83 \text{ kJ/kg}$   
 $P_{\text{abs,AB}} = 290,67 \text{ kPa}$  (42,16 psia)

$$ER = h_g - h_l = 1.108,41 \text{ kJ/kg}$$

En el proceso de refrigeración, el calor absorbido por el refrigerante es igual a su masa por su entalpía durante la evaporación.

$$Q_{\text{refrigerante}} = m_{\text{refrigerante}} \times h_{\text{evaporación}}$$

Mediante esta expresión se puede conocer la cantidad de amoníaco necesaria para congelar el  $\frac{1}{2}$  kg de agua:

$$m_{\text{refrigerante}} = \frac{Q_{\text{refrigerante}}}{h_{\text{evaporación}}} = 0,2031 \text{ kg}$$

Es necesario evaporar 0,2031 kg de amoníaco para lograr el objetivo; pero hay que tener en cuenta que la cantidad total de amoníaco en el sistema es mayor, ya que durante la rectificación se está condensando parte de la mezcla, que vuelve al generador.

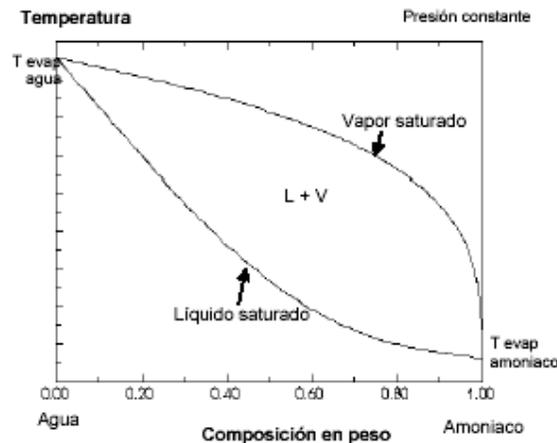
**Etapas de rectificación.** En sistemas de absorción donde el absorbente es volátil como el agua, es necesaria esta etapa, ya que no es deseable que llegue agua al evaporador, porque se congela y obstruye la tubería impidiendo el paso, y porque la presencia de cantidades de absorbente, por más pequeñas que sean, en la evaporación hacen incrementar el punto de ebullición de la mezcla, necesiéndose menores presiones de evaporación, para mantener la misma temperatura en el evaporador (Raber, 1945, 92p). La rectificación se lleva a cabo disminuyendo la temperatura de la solución generada, lo que produce una condensación del vapor de agua de la mezcla, incrementando la pureza del amoníaco gaseoso.

## Balance de masa del refrigerador

Debido a la intermitencia del sistema, los flujos másicos no son uniformes y lo más conveniente es analizar los puntos iniciales y finales de cada etapa. Para efectuarlo es necesario conocer las características de la mezcla amoníaco – agua.

Diagrama temperatura vs composición para una mezcla binaria. La mezcla amoníaco – agua es zeotrópica, también conocida como no azeotrópica, esto quiere decir, que las concentraciones de las fases líquido – vapor nunca son iguales; lo que crea una diferencia de temperaturas durante el cambio de estado, en el cual las calidades cambian continuamente (Atkinson, 1997). En la mezcla, para una temperatura y presión dadas, las dos sustancias tienen diferentes puntos de ebullición (ver la figura 2).

**FIGURA 2**  
**Mezcla zeotrópica de amoníaco – agua (Raber, Op. Cit. 91p)**



**Concentración inicial de la mezcla.** Se seleccionó un valor inicial de 0,5, porque con esta concentración la mezcla se encuentra en su estado de saturación, teniendo en cuenta las condiciones iniciales y finales de generación y la tabla de saturación para la mezcla amoníaco agua (Montoya, 1985, 36p).

**Determinación de la concentración en cada etapa.** Para cada etapa, se calculó en los puntos finales las entalpías y concentraciones (ver el cuadro 1), teniendo en cuenta que al final de la condensación la mezcla está toda líquida, al final de la evaporación está toda gaseosa y que:

$$\text{concentración NH}_3 \text{ líquido} + \text{concentración H}_2\text{O líquida} = 1$$

$$\text{concentración NH}_3 \text{ gaseoso} + \text{concentración H}_2\text{O gaseosa} = 1$$

**CUADRO 1**  
**Concentración en cada etapa**

Puntos	A	B	C	D	E
T (°C)	-10	25	90	30	49
P <sub>abs</sub> (kpa)	290.7	290.7	1.166.8	1.166.8	1.166.8
hl (kJ/kg)	134.4	51.2	240.2	322.4	111.7
hg (kJ/kg)	1.430.8	1.525.9	1.690.7	1.466.3	1.533.3
xl NH <sub>3</sub>	0	0.482	0.369	0.995	0.630
xg NH <sub>3</sub>	0.995	0.995	0.950	0	0.995
xl H <sub>2</sub> O	0	0.518	0.631	0.005	0.370
xg H <sub>2</sub> O	0.005	0.005	0.050	0	0.005

La cantidad total de mezcla en el sistema es 1,0316 kg compuesta por 0,5158 kg de agua y 0,5158 kg de amoniaco.

**Balance de energía en el sistema durante el ciclo completo.** Suponiendo que el sistema se encuentra en estado estacionario, el balance de energía es:

$$Q_G + Q_E = Q_R + Q_C + Q_A$$

Cuando el amoniaco es absorbido por agua, en donde la concentración en peso es menor del 59,4%, el calor liberado en la absorción, en Btu/lb, puede ser calculado por la ecuación empírica de Mollier (Raber, Op. cit., 93p):

$$Q_A = 345 \left( 1 - \frac{xf}{2} \right) - 133,3xf^2$$

$$Q_A = 270,4538 \text{ kJ}$$

$$Q_R = m(hl_g - hl) = 62,5751 \text{ kJ}$$

$$Q_C = m(hg - hl_g) = 223,2373 \text{ kJ}$$

$$Q_E = m(hg - hl) = 225,075 \text{ kJ}$$

Aproximadamente la misma cantidad de energía que se necesita para que el amoniaco se separe del agua, sería la que se libera durante la absorción, pero para obtener un valor más aproximado se efectúa el balance de energía para todo el sistema.

$$Q_G + Q_R = Q_C + Q_A + Q_E = 334,1912 \text{ kJ}$$

#### **Cálculo del coeficiente de funcionamiento**

El COP está definido como la relación entre el efecto de refrigeración y el calor adicionado al generador (Stoecker, 1982, 330p):

$$\text{COP} = \frac{q_e}{q_g} = \frac{225,075 / 14.800 \text{ kW}}{334,1912 / 10.800 \text{ kW}} = 0,51$$

**Transferencia de calor.** Las operaciones matemáticas se efectuaron en una hoja de cálculo, teniendo en cuenta las ecuaciones de transferencia de calor para una convección natural con aire.

La configuración seleccionada es:

Tubería de acero de 3/8", sch 80 para el rectificador, condensador, evaporador e intercambiador de calor del generador.

Aletas de hierro de área cuadrada de 5,3 cm de largo y 2 mm de espesor, soldadas cada 5 cm en la tubería del rectificador y condensador.

Las longitudes calculadas de los dispositivos son:

**Condensador con aletas: 1,93 m**

**Rectificador con aletas: 0,41 m**

**Evaporador: 3,20 m**

**Intercambiador de calor del generador: 2,05 m**

## **DISEÑO DEL COLECTOR DE PLACA PLANA**

Los datos de la ciudad de Medellín, lugar donde se llevarán a cabo los experimentos son (González, 1992, 54p):

Latitud: 6° 13' N  
H = 4,8 kWh/m<sup>2</sup> por día  
S = 5,3 h por día

El brillo solar es el tiempo durante el cual se tiene una irradiancia superior a 120 W/m<sup>2</sup> en un período determinado (Ibid, viii p); a pesar de que el brillo solar promedio de Medellín es 5,3 horas diarias, se trabajará con un valor de 8 horas, porque los experimentos con energía solar se pretenden realizar en este lapso de tiempo.

La potencia necesaria para calentar la solución de amoníaco – agua del generador es 30,94 W

Área de la placa colectora. **El área necesaria para la placa colectora es (Ristinen, 1999, 101p):**

$$A = \frac{q}{H\eta}$$

La eficiencia de la placa colectora se determina mediante la siguiente gráfica, teniendo en cuenta variables como el incremento de temperatura, la radiación solar y el tipo de recubrimiento (ver la figura 3).

En el eje X se determina el valor:

$$\frac{\Delta T}{H}$$

y en el eje Y, la eficiencia, dependiendo de una de la cuatro líneas: A, B, C y D, así:

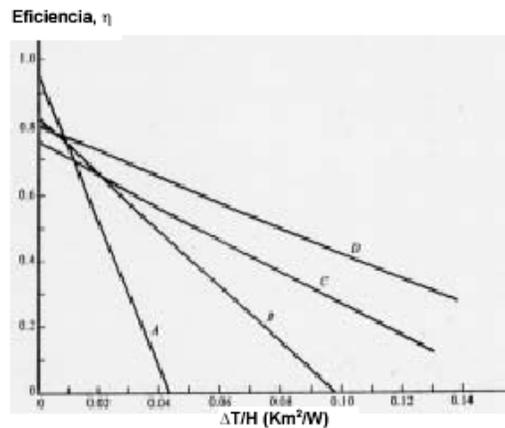
A: sin cubierta transparente con superficie absorbente no selectiva

B: una cubierta transparente con superficie absorbente no selectiva

C: doble cubierta transparente con superficie absorbente no selectiva

D: doble cubierta transparente con superficie absorbente selectiva

**FIGURA 3**  
**Eficiencia de un colector de placa plana (Stoecker, 1982, 389p)**



Se utilizará una sola cubierta y absorbente negro mate que corresponde a B.

Se tiene para el eje X:

$$\frac{\Delta T}{H} = 0,09 \text{ K x m}^2 / \text{W}$$

Al interceptar este valor con la línea B da una eficiencia del 7%.

El área necesaria de la placa colectora es: 6.097cm<sup>2</sup>, definida por un largo de 90 cm y un ancho de 70 cm.

**Configuración de la placa absorbente.** Para determinar la configuración geométrica de la placa absorbente es preciso calcular su eficiencia, la cual está dada por (Manrique, 1984, 136p):

$$F = \frac{\tanh m(W-D)/2}{m(W-D)/2}$$

donde:

$$m^2 = \frac{U_L}{ke}$$

Para un colector de placa plana que lleve una sola cubierta de vidrio las pérdidas térmicas están entre 6 y 7 W/m<sup>2</sup>K (Stoecker, Op. cit.).

Utilizando una hoja de cálculo, para variar los parámetros W, D y e, determinando que valores tienden a mejorar la eficiencia de la placa absorbora, se observa que mientras mayores sean k, e, D y menor W, se obtienen mejores eficiencias.

Se escogen los valores:

$$\begin{aligned}W &= 10 \text{ cm} \\D &= 12,7 \text{ mm} \\e &= 3 \text{ mm}\end{aligned}$$

El material de la placa absorbora será de aluminio.

k aluminio = 237 W/mK a 300 K (Incropera, 1999, 828p).

y tomando UL como 7 W/m<sup>2</sup>K se tiene que:

$$m = \sqrt{\frac{7 \text{ W/m}^2\text{K}}{237 \text{ W/mK} \times 0,03 \text{ m}}} = 3,14$$

$$F = \frac{\tanh 3,14 (0,1 - 0,0127)/2}{3,14 (0,1 - 0,0127)/2} = 0,99$$

**Inclinación del colector solar.** La mayor radiación solar sobre la superficie del colector está dada cuando el ángulo de inclinación es perpendicular a los rayos solares; este es el ángulo de incidencia. Para calcularlo se debe conocer la latitud del lugar, la hora angular y la declinación solar, la cual depende de la época del año. La latitud es la distancia angular norte o sur desde el ecuador; la hora angular es el ángulo a través del cual la Tierra debe girar para traer el meridiano al punto directamente en línea con los rayos solares. La hora angular está expresada con respecto a la media noche; una hora equivale a 360°/24 ó 15° (Stoecker, 1982, 381p).

Debido a la latitud del lugar y a la época en que se realizarán los experimentos, se calculó un ángulo de incidencia de 8,4°.

### **Materiales y configuración del colector**

Placa colectora de aluminio con dimensiones de 90 x 70 cm y 3 mm espesor .

Recubrimiento superficial con pintura negra mate.

Tubería de circulación del fluido de cobre de diámetro 3/8" tipo k, en paralelo con 5 tramos verticales de 95 cm y 2 tramos horizontales de 55 cm.

Aceite como fluido intercambiador de calor con un volumen de 0,5 litros.

Cubierta transparente de vidrio templado con dimensiones de 106 cm de largo por 82 cm de ancho, de 5 mm de espesor.

Aislante térmico de fibra de vidrio de 5 cm espesor con una conductividad térmica de 0,043 W/mK (Incropera, Op. cit., 834p).

Carcaza de madera con unas dimensiones interiores de 105 cm de largo, 80 cm de ancho y 11 cm de profundidad.

Sellante para el vidrio, silicona transparente, aplicado en la unión del vidrio y la madera.

## Construcción del prototipo

El refrigerador se construyó teniendo en cuenta las normas de seguridad para el trabajo con amoníaco. Todas las uniones son soldadas para evitar cualquier fuga, excepto las del manómetro y válvulas. Se le adaptó un sistema para evacuar el agua que no alcance a ser rectificada, el cual se compone de una tubería que va desde la parte más baja del condensador hasta el tanque generador; con un válvula que impide el paso durante la operación y sólo se abre cuando termina el ciclo completo para que el agua retorne al generador y no obstruya el paso en la evaporación (ver la figura 4).

**FIGURA 4**  
**Refrigerador**



El colector solar fue construido de acuerdo a los parámetros de diseño (ver la figura 5).

**FIGURA 5**  
**Colector solar**



Se ensambló el colector al refrigerador por dos mangueras que comunican el fluido del colector al intercambiador de calor en el tanque generador, aisladas térmicamente con fibra de vidrio (ver la figura 6)

**FIGURA 6**  
**Refrigerador solar**

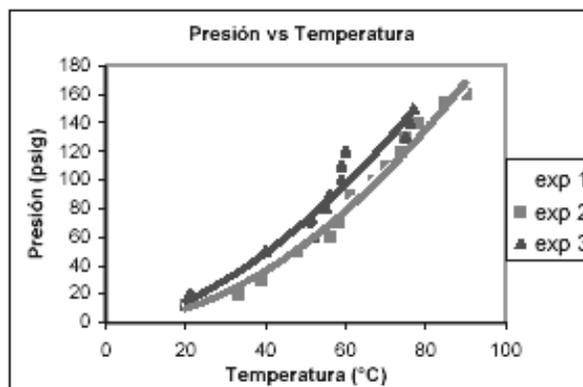


**Experimentación del prototipo**

Se realizaron los experimentos para el prototipo, tomando las mediciones de presión vs temperatura en el refrigerador, temperatura vs tiempo en el colector y presión vs tiempo en el refrigerador operado con energía solar.

**Experimentación del refrigerador.** Se muestran los resultados de 3 experimentos realizados con el refrigerador operado con gas propano. En la gráfica 1 se muestra como varía la presión con la temperatura en la etapa de generación. En el cuadro 2 se presentan los resultados del experimento, el tiempo de generación, de refrigeración, la temperatura mínima del evaporador y la concentración inicial y final de generación.

**GRÁFICA 1**  
**Presión vs temperatura de generación**



**CUADRO 2**  
**Resultados de los experimentos del refrigerador**

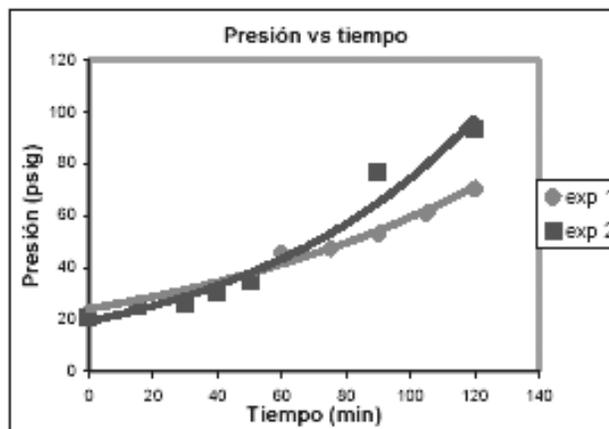
Exp	t gen (min)	t ref (min)	T evap (°C)	xI inicial NH <sub>3</sub>	xI final NH <sub>3</sub>
1	110	90	14	0,445	0,414
2	80	160	12	0,445	0,404
3	95	100	5,5	0,445	0,421

Al poner a trabajar el prototipo con convección natural no produjo refrigeración; en el experimento 1 y 2 se trabajó con un ventilador y en el 3 con chorros de agua leves y no uniformes. Se observa que no fue posible alcanzar la temperatura de diseño del evaporador,  $-10^{\circ}\text{C}$ , y que la concentración final de amoniaco fue muy alta en comparación con la que se había calculado de 0,3689; con lo que se concluye que muy poco amoniaco se generó y que no se produjo una buena destilación presentándose cantidades de agua considerables en la evaporación.

**Experimentación del colector.** El colector solar se puso a trabajar con agua, en lugar que con el fluido de diseño, aceite, por su bajo costo y fácil obtención. En la gráfica 2 se muestra la variación de la temperatura en el tiempo en 2 experimentos realizados. En el experimento 1 se trabajó el colector en un día parcialmente nublado, mientras que en el experimento 2 se presentó un día totalmente despejado, que al final se nubló.

En el cuadro 3 se presentan los resultados obtenidos. Se observa que el máximo incremento de temperatura para un día soleado fue de  $72^{\circ}\text{C}$ , es decir que el agua se calentó hasta  $92^{\circ}\text{C}$ , iniciándose el cambio de fase a vapor.

**GRÁFICA 2**  
**Temperatura vs tiempo del colector**



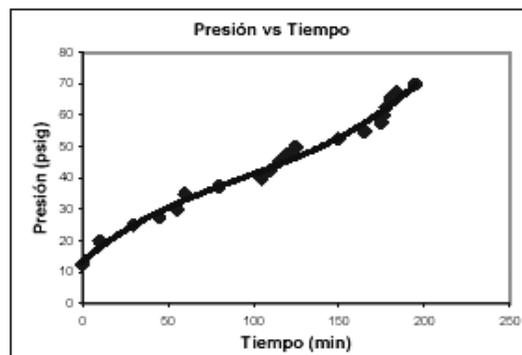
**CUADRO 3**  
**Resultados de los experimentos del colector**

Exp	t (min)	$\Delta T$ (°C)
1	120	47
2	120	72

**Experimentación del refrigerador solar.** En esta prueba inicialmente se calentó agua por radiación en el colector solar de manera estática; luego de alcanzar una temperatura de 93°C se conectó en un extremo al intercambiador de calor del tanque generador y en el otro a un tanque de agua en una posición alta para que le entregara la presión necesaria de circulación a través del sistema, fluyendo un total de 10 litros a lo largo del experimento. Se tomó la presión del tanque a medida que se iba calentando la solución y la temperatura a la salida del intercambiador de calor del generador.

En la gráfica 3 se presenta la evolución de la presión en el tiempo. En tres horas se obtuvo una presión máxima de 70 psig; la necesaria para lograr el efecto refrigerante era 157 psig. El incremento se presentó de una forma muy poco uniforme, debido a que el flujo de agua caliente en el sistema fue discontinuo.

**GRÁFICA 3**  
**Presión vs tiempo en el sistema completo**



La temperatura del agua a la salida del intercambiador de calor fue de 55°C en promedio. Con esto se concluye que el intercambio térmico fue muy deficiente, y que no se logró entregar a la solución de amoníaco – agua una buena cantidad de calor que le permitiera alcanzar los niveles de presión necesarios para refrigerar.

**CUADRO 4**  
**Resultados del experimento del refrigerador**

t (min)	T agua (°C)	P (psig)
195	93	70

## CONCLUSIONES

En el diseño de colectores solares para los sistemas de refrigeración por absorción se hace indispensable maximizar las condiciones de operación, mediante el uso de superficies selectivas, debido a las altas temperaturas de trabajo, del orden de 90°C; para el colector construido en este proyecto una placa colectora con recubrimiento selectivo habría representado un incremento en la eficiencia del 40%, es decir, 6 veces mayor que el dado por la pintura negro mate.

No fue posible cumplir el objetivo de congelar ½ kg de agua debido al limitado desempeño del refrigerador en sus diferentes etapas y a la baja transferencia de calor en el ensamble colector – refrigerador.

Aunque los cálculos fueron realizados para una convección natural con aire fue indispensable el uso de ventiladores y agua en la rectificación y condensación; al aumentar la convección fue posible obtener menores temperaturas en el evaporador. Los factores responsables de este hecho fueron, entre otros, que las aletas no quedaron bien adheridas a la tubería por falta de soldadura; además, la tubería se oxidó exteriormente en un grado muy alto, al estar sometida a la humedad del medio ambiente y a la convección forzada con agua, este óxido le rebajó considerablemente su transferencia de calor por conducción imposibilitando la condensación para las condiciones de diseño.

Otros factores responsables de la baja eficiencia fueron una rectificación insuficiente, la que condujo a una condensación y evaporación incompletas. Ésta también debió haber producido una ligera oxidación en el interior de la tubería del condensador y evaporador, ya que el amoníaco en presencia de humedad, ataca levemente al acero; las escorias producidas por la oxidación, además de las presentes al inicio en las tuberías y accesorios, contribuyen a que se disminuya la pureza del refrigerante, la cual debe ser mínimo de 99,95% para producir buenos efectos.

El haber construido el colector solar en una unidad aparte del generador fue muy crítico para el proceso 7 de refrigeración, puesto que las pérdidas térmicas en el intercambio calórico fueron tan grandes que imposibilitaron alcanzar la presión máxima de generación.

La configuración del intercambiador de calor en el tanque generador llevó a que se diera una transferencia térmica muy deficiente, imposibilitando alcanzar la presión de trabajo, lo que se comprobó porque la temperatura del agua a la salida del sistema era muy alta en comparación con la entrada, indicando que no se produjo una transferencia adecuada.

En los cálculos no se tuvo en cuenta el calor que se le debía retirar a la tubería del evaporador para enfriarla, lo que llevó a tener una cantidad de amoníaco menor a la necesaria para producir el efecto refrigerante; de acuerdo con las condiciones de trabajo, el calor que se le debe retirar a la tubería de acero es 44 kJ, correspondientes a 40 g de amoníaco, que representa el 8% de la masa total de refrigerante.

Durante la carga del amoníaco, 16 cm<sup>3</sup> de aire, aproximadamente, presentes en los accesorios y racores entraron al sistema, y se sabe que al ser este gas un fluido no condensable, se hace más difícil la

condensación del amoníaco, lo que llevó a que no se alcanzara a lograr completamente el proceso de refrigeración, por no contarse con todo el refrigerante necesario en estado líquido.

Los sistemas de absorción ofrecen coeficientes de funcionamiento mucho más bajos que los de compresión; un sistema de compresión que trabaje con las mismas temperaturas de evaporación y condensación que las de este proyecto, presentaría un COP 9 veces mayor. Este hecho es debido a que la potencia dada por el compresor es mucho mayor que la que puede dar una entrada de energía térmica; pero también se debe tener en cuenta que los compresores consumen mucha más energía para poder trabajar con altas eficiencias. Para trabajo con energía solar, es conveniente seleccionar menores temperaturas de generación, por ejemplo 70°C, para hacer más factible la utilización de colectores de placa plana; el único efecto que produce menores temperaturas de generación es un poco más de amoníaco en la unidad, para el mismo efecto refrigerante.

## **SUGERENCIAS**

Diseñar un dispositivo para acumular la energía térmica, con el fin de permitir al refrigerador trabajar satisfactoriamente en días muy nublados y por la noche; o alternar el uso de energía solar con combustibles para garantizar la continuidad en el proceso de refrigeración.

Tener un estricto cuidado en la carga del amoníaco para evitar que entre hasta la más mínima cantidad de aire, debido a las consecuencias negativas que trae para el sistema; esto se puede lograr, si en lugar de purgar la manguera se le realiza un vacío, lo que garantizaría totalmente la ausencia de aire; este proceso también minimizaría los riesgos de exposición al amoníaco.

Galvanizar la tubería exteriormente ayuda a evitar la oxidación que disminuye la transferencia de calor por conducción.

Realizar una convección forzada con agua, adaptando recipientes en el rectificador y condensador para este propósito, en los cuales el agua no fluya, sino que permanezca estancada retirando el calor, y como es un proceso intermitente, durante la absorción se enfriaría el agua que se calentó en la generación de una forma natural. No es conveniente utilizar ventiladores, ya que la idea es no tener que hacer uso de la electricidad.

Colocar un dispersor al final de la tubería que conduce el amoníaco ya evaporado al tanque generador; este hecho mejoraría el proceso de absorción, ya que se presenta un burbujeo que permite aumentar el área de contacto entre el refrigerante y el absorbente.

Evaluar el uso de otro tipo de intercambiadores, como tubos de calor, que ofrezcan mayores eficiencias, permitiendo una mejor transferencia térmica para alcanzar las presiones máximas de trabajo.

## BIBLIOGRAFÍA

- ATKINSON SCHAEFER, Laura (1997). Heat exchanger mean temperature differences for refrigerant mixtures. The George W. Woodruff School of Mechanical Engineering. <http://www.me.gatech.edu/energy/laura/node4.html>
- GONZÁLEZ B., Fabio y RODRÍGUEZ M (1992). Humberto. Manual de radiación solar en Colombia. Departamento de Física de la Universidad Nacional de Colombia. <http://sky.net.co/energia/frame.htm>
- INCROPERA, Frank P. y DE WITT, David P (1999). Fundamentos de transferencia de calor. México: Prentice Hall. p 828.
- MANRIQUE, José A (1984). Energía solar: fundamentos y aplicaciones fototérmicas. México: Harla. p 136.
- MONTOYA JARAMILLO, León A. y TRUJILLO JARAMILLO, Carlos A. (1985). Refrigerador por absorción intermitente. Medellín. Trabajo de grado 8 (Ingeniero Mecánico). Universidad Pontificia Bolivariana. p 36
- RABER, B. F. and HUTCHINSOR, F. W (1945). Refrigeration and air conditioning. New York: John Wiley & Sons. p 91, 92, 93.
- RISTINEN, Robert, A. and KRAUSHAAR, Jack J (1999). Energy and the environment. New York: John Wiley & Sons. p 101.
- ROCKY RESEARCH (1995). Background of complex compound technology. Rocky Research. <http://www.rockyresearch.com/>
- STOECKER, W. F. (1965). Refrigeración y acondicionamiento de aire Madrid. España: Castilla. p 372.
- STOECKER, W. F. and JONES, J. W (1982). Refrigeration and air conditioning. New York: McGraw Hill. p 198, 330, 389, 381.

# **ANÁLISIS Y EFECTOS DEL COMBUSTIBLE CONTAMINADO EN EL FUNCIONAMIENTO DE UN MOTOR CATERPILLAR 3516B PARA CAMIONES DE MINERÍA**

ESCUELA DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA - 2003

## **AUTOR**

SILVANA EUGENIA AROCHA GONZÁLEZ, [sarochag@eafit.edu.co](mailto:sarochag@eafit.edu.co)

## **ÁREA DE ÉNFASIS**

MANTENIMIENTO DE SISTEMAS TÉCNICOS

## **ASESOR PRINCIPAL**

Ingeniero LEONARDO SALCEDO SALGADO

## **SECTOR BENEFICIADO**

Cerrejón Zona Norte – Departamento de Mantenimiento.



## RESUMEN

El combustible diesel es una de las principales fuentes generadoras de energía en el mundo, con el trabajo de máquinas, aparatos y diferentes tipos de maquinaria en toda clase de industrias, posee ciertas características que lo hacen único en su tipo y que no puede ser reemplazado por otro. Si estas características se alteran de alguna forma y el combustible se contamina, el funcionamiento del equipo en el que está trabajando se verá seriamente afectado, sus componentes por más insignificantes que sean sufrirán consecuencias drásticas que pueden incluir el paro del equipo y eso conlleva a una disminución en los niveles de productividad de la empresa, un aumento en los costos de reparación, una baja significativa en la vida útil del equipo y en algunos casos al paro inmediato de la producción dependiendo obviamente de que tipo de empresa sea.

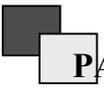
Para analizar el efecto de la contaminación del combustible diesel en las componentes de un motor, se seleccionó una empresa colombiana dedicada a la minería de carbón donde uno de los principales equipos dentro del proceso productivo corresponde a camiones de minería. En el caso que se analiza se escoge más precisamente un camión CATERPILLAR 793C que posee un motor diesel 3516B.



## ABSTRACT

Diesel fuel is one of the main generating sources of energy in the world, many machines, devices and different types of machinery in all class of industries, it has certain characteristics that make it only in its type and that cannot be replaced. If these characteristics are alter in some way and the fuel is contaminated, the operation of the equipment in which it's working will be seen seriously affected, its components by more insignificant than they are will undergo drastic consequences that can incur on the unemployment of the equipment and that entails to a diminution in the levels of productivity of the company, an increase in the repair costs, a significant drop in the service life of the equipment and in some cases to immediate shut-down of the production depending obviously in the type of company.

To analyze the effect of the contamination of diesel fuel in the components of an engine, a Colombian mining company dedicated to the extraction of coal was selected to examine there equipment, where one of the main machines within the productive process corresponds to mining trucks. In the case that is analyzed a CATERPILLAR 793C truck was picked because it has a diesel engine from the serial 3516B.



## PALABRAS CLAVES

combustible diesel, contaminación en el combustible, motores diesel, efectos por contaminación, modos de falla.

## KEY WORDS

diesel fuel, contamination in the fuel, diesel engine, impact from contamination, failure modes.

## INTRODUCCIÓN

El carbón se encuentra en casi todas las regiones del mundo, en América Latina la operación minera más grande se encuentra en El Cerrejón en la península de la Guajira al norte de Colombia, que se viene explotando desde hace 27 años.

En este complejo minero la operación se realiza por el método de tajo abierto que consiste en la apertura de un cráter, formando un contorno controlado principalmente por la disposición estratigráfica de los mantos de carbón y por las condiciones de estabilidad de las rocas presentes en la excavación. Cada uno de estos bancos conforma el tajo donde se llevan a cabo las operaciones de descapotado, extracción del carbón y acarreo de materiales, los cuales se encuentran conectados por diferentes vías de acceso a los botaderos, a los beneficiaderos y otras instalaciones.

Los camiones analizados se utilizan en la última etapa de la operación para llevar material estéril y carbón desde el tajo hasta el punto destinado para su disposición final, transitan por un terreno bastante complejo donde además de la geografía influyen las pendientes que se crean cuando se excava un manto nuevo, el inclemente clima de esta región del país y las condiciones de operación del equipo, por que la mina funciona las veinticuatro horas del día los siete días de la semana durante todo el año.

Debido a la importancia de esta etapa del proceso es necesario mantener los equipos que se encargan de ella en buenas condiciones de operación, asegurando su disponibilidad durante todo el tiempo. Para ello es necesario programar los mantenimientos teniendo en cuenta el tiempo de servicio y las recomendaciones del fabricante, así como las tareas que ya el usuario-mantenedor realice.

Los camiones en su gran mayoría, trabajan con motores de combustión interna cuya función se basa en un ciclo termodinámico, en el cual el calor que produce la compresión se encarga de encender el combustible. La secuencia de sus procesos es:

- Admisión: en la carrera de admisión de un motor diesel penetra una carga completa de aire a cada cilindro.
- Compresión: durante la carrera de compresión, se eleva la temperatura del aire a causa de la alta relación de compresión. El combustible es atomizado en la cámara de combustión poco antes de llegar al punto muerto superior en la carrera de compresión.

- Adición de calor: se obtiene a partir de la quemada del combustible producida casi en el mismo instante en el que se introduce, debido a la alta temperatura del aire.
- Expansión: se expanden los productos de la combustión para producir potencia.
- Escape: salen los productos de la combustión después de expandirse para concluir el ciclo (McGraw-Hill, 1991).

En su creación trabajaban consumiendo carbón pulverizado como combustible, pero por la problemática que genera la quema de recursos su creador Rodolphe Diesel (1858-1913) busca combustibles que puedan sustituir al original y encuentra que algunos aceites derivados del petróleo satisfacen las necesidades del motor. Así, nace con la máquina el combustible que hoy en día se conoce en la industria petrolera como Diesel, en honor al descubridor de tan revolucionario invento que cambia drásticamente el desarrollo del mundo.

Los motores diesel han tenido a lo largo del tiempo una serie de modificaciones significativas, a partir de 1970, como resultado de la restricción aplicada en los Estados Unidos de Norteamérica a los vehículos diesel, en lo relativo a la opacidad de los humos que emitían las máquinas, hasta llegar a las actuales que satisfacen normas ambientales estrictas.

Los motores de reciente desarrollo muestran entre sus innovaciones, modificaciones al diseño de los pistones y anillos, incorporación de turbo cargadores, modificaciones del diseño de los inyectores, incorporación de dispositivos anticontaminantes (trampas de partículas y convertidores catalíticos). Toda esta serie de cambios en la tecnología del motor han dado como resultado los vehículos actuales, con niveles de emisión notoriamente inferiores a los que se tenían en los años setenta (Cultural, 2000).

El motor analizado cuenta con un sistema de inyección electrónica. Los inyectores son mecanismos de precisión, que producen una presión de inyección de más de treinta mil (30000) libras por pulgada cuadrada (psi) y realizan el ciclo de inyección en aproximadamente 5/1000 ths de un segundo. Entregan cantidades de combustible precisas en el tiempo exacto para diez mil (10000) horas o más, o medio billón de ciclos. Su habilidad para mantener el desempeño luego de cientos de millones de ciclos requiere de un combustible extremadamente limpio y muy bien filtrado (Caterpillar, 2000, p.4).

## **1. Combustibles Diesel**

Los combustibles diesel están compuestos por los aceites pesados que se destilan entre doscientos (200) y trescientos ochenta (380) grados centígrados, se incluyen también los destilados intermedios que se usan en la industria petroquímica, los mejores combustibles diesel son los derivados por simple destilación del petróleo crudo.

La destilación del petróleo es el primer paso para la obtención del combustible diesel que se utiliza en motores y otras máquinas, el paso siguiente antes de su venta y distribución es la mezcla de aditivos que lo conforman y cuidan que no se degrade, ni se ensucie, y que sirva para lo que está diseñado.

La selección de un combustible apropiado para motores diesel depende de varios factores de los cuales los más importantes son: tamaño y diseño del motor, rangos de velocidad y cargas de funcionamiento, frecuencia de los cambios de carga y velocidad, condiciones atmosféricas, precio del combustible y disponibilidad del mismo y las consideraciones de mantenimiento.

## **1.1. Propiedades del combustible diesel**

Las propiedades controlan el desempeño de las etapas por las que pasa el combustible e influyen particularmente en la combustión y en la resultante extracción de energía. La calidad del combustible puede afectar de forma significativa el rendimiento y mantenimiento de cualquier motor diesel. Algunas de las propiedades son: viscosidad, densidad específica, destilación, punto de enturbamiento, punto de chispa, azufre, índice de cetano, oxidación, entre otras.

### **1.2.1. Aditivos en el combustible diesel**

Son usados en una variedad de propósitos, aunque se pueden agrupar en cuatro grandes categorías: desempeño del motor, estabilidad del combustible, manejo del combustible y control de contaminación. Sirven para neutralizar algunas propiedades indeseables de los combustibles y para realzar otras.

## **1.3. Contaminantes del combustible**

Son elementos extraños que pueden introducirse en el combustible y causar problemas, sea por los aditivos adicionados al combustible para identificarlo de otros compuestos o por elementos que durante el proceso de transporte, almacenamiento, filtrado, combustión o cualquier otro donde se vea involucrada la manipulación del combustible. Dejados sin atender estos contaminantes pueden causar daños serios y costosos a muchos componentes del sistema.

Puede presentarse de muchas formas como agua, sedimentos, fango, cera, residuos de carbón, cenizas, etc.

Se puede establecer que la contaminación genera contaminación, para reducir ese fenómeno se hace uso de elementos primordiales dentro del sistema de combustible, que incluso dentro del proceso de transporte y manejo se utilizan como lo son los filtros de combustible y todo el proceso de filtrado.

Para medir la limpieza o contaminación en los fluidos la **International Organization for Standardization (ISO)** ha determinado la Norma ISO 4406 que consiste en un código de tres números que determina el número de partículas contaminantes de un fluido. Mide partículas de 2/5/15 micrones que se encuentran en el fluido.

El código especifica, los fabricantes de maquinaria, los vendedores y suministradores de fluidos han acordado internacionalmente para cada fluido un número diferente del código para diagnosticar cuando se puede considerar sucio o limpio, por ejemplo, se considera un sistema hidráulico limpio cuando el R5 o en su defecto el código nuevo (R6) muestre un valor de 18 o menor, para el aceite en la misma referencia se considera limpio con un valor menor o igual a 16 y así para todos los tipos de fluidos.

En la Tabla 1 se encuentran los estándares de calidad ISO 4406 para cualquier fluido, ya depende de los fabricantes de fluidos, los usuarios del fluido y de los equipos, determinar cual es el código que se debe utilizar para garantizar el correcto funcionamiento del equipo y del sistema por el que fluye el fluido.

Por ejemplo CATERPILLAR como fabricante de los motores del estudio determina un código ISO de 18/16/13 para el combustible que corresponde a las partículas de 2/5/15 micrones.

Si ese código no se cumple posiblemente el combustible que se está utilizando en está contaminado por partículas que están produciendo fallos que no se han identificado.

Otra herramienta que se utiliza para asegurar la calidad del combustible es la filtración, es un tratamiento que se le hace al combustible para reducir el número de partículas que pueden llegar hasta el inyector. Se debe utilizar durante todo el proceso de transporte y almacenamiento del combustible, por si hay agentes externos queden retenidos por los filtros, dentro del mismo sistema de combustible del motor hay varios filtros, uno primario que se encuentra a la salida del tanque de combustible del camión y otros secundarios que se encuentran entre la bomba de transferencia de combustible y los inyectores, estos últimos son los que deben garantizar que no haya ningún elemento ajeno que contamine el motor.

Un filtro debe controlar los niveles de contaminación de todas las partículas de tamaños críticos para el sistema operativo. Si el filtro falla al proveer el control necesario para las partículas dañinas, entonces la presencia de estas en el sistema llevará a una reacción en cadena donde el desgaste en muchos de los casos será el resultado.

Los hay de diferentes materiales desde malla de alambre trenzado hasta fibra vidrio, que dependiendo de la geometría del trenzado y de la porosidad de la malla dará el nivel de filtración, para medir la eficiencia de la filtración se ha diseñado una prueba que deben realizar todos los proveedores de filtros para la satisfacción de los clientes.

**TABLA 1**  
**Estándares de calidad ISO 4406**

NÚMERO DE PARTÍCULAS POR MILILITRO		NÚMERO
Más de	Hasta e incluyendo	
80	160	24
40	80	23
20	40	22
10	20	21
5	10	20
2.5	5	19
1.3	2,5	18
640	1,3	17
320	640	16
160	320	15
80	160	14
40	80	13
20	40	12
10	20	11
5	10	10
2.5	5	9
1.3	2.5	8
0.64	1.3	7
0.32	0.64	6
0.16	0.32	5
0.08	0.16	4
0.04	0.08	3
0.02	0.04	2
0.01	0.02	1
0.005	0.01	0
0.0025	0.005	0

ISO, 2003

Existen dos clasificaciones representativas, la primera es la que clasifica los filtros por micras, que significa que la partícula esférica de suciedad más grande que puede atravesar el filtro es del número de micras que se especifiquen, desafortunadamente no asegura que todas las partículas mayores al número determinado sean filtradas, esta clasificación entonces se puede decir que no describe de forma total ni adecuada la eficiencia ni la capacidad del filtro para retener partículas contaminantes. Un filtro clasificado como de “X micras”, necesita además describir el tipo de prueba y los estándares que se usan para determinar la clasificación X.

La segunda los clasifica por un determinado valor de  $\beta$ -ratio, esta clasificación es la más común comercialmente y es una manera de especificar tres tasas de eficiencia  $\beta$ , para tres tamaños de partículas (generalmente 5/10/15 micras) a menos que se especifique un tamaño diferente. Por ejemplo si  $\beta_X = 2/20/75$ ,

significa que tiene un  $\beta(5) = 2$ ,  $\beta(10) = 20$  y  $\beta(15) = 75$ , los  $\beta$ 's de 5 y 15, representan la estructura nominal y absoluta. De esta estructura se puede observar que los filtros con un factor  $\beta$  mayor, suministrarán un mejor control de las partículas y por consecuencia, una mejor protección al sistema. La eficiencia de estos filtros se designa en función del factor  $\beta$  mediante la fórmula  $\%Eficiencia = (1 - (1 - \beta)) \times 100$ . O sea que, un filtro con  $\beta=2$ , de cada 2 partículas que entran deja pasar 1, tendrá una eficiencia del 50% (GI&T, 2003).

## 2. Recorrido del combustible

El combustible pasa por varias etapas principales antes de ser consumido en el equipo al que está dirigido, desde el momento de su explotación el petróleo como tal va cumpliendo el mismo ciclo hasta que se convierte en combustible: refinería, transporte, almacenamiento y consumo.

Para ser consumido en los camiones del estudio, el combustible atraviesa varias veces las últimas tres etapas, sale de la refinería en buque tanques que llegan a un puerto donde se saca del buque por medio de pasantes que atraviesan una tubería hasta llegar a los tanques de almacenamiento, donde serán luego transportados por medio de vagones férreos hasta La Mina y allí se vuelve a almacenar en tanques que abastecen por medio de camiones cisterna las islas de combustible donde los camiones llenan sus tanques de combustible.

En el mismo camión atraviesa otro proceso de transporte dentro del sistema de combustible del motor, llega al tanque de combustible, pasa por el filtro primario, luego por la bomba de transferencia hacia los filtros secundarios hasta llegar a los inyectores donde se atomiza y se convierte en energía mecánica que se representa en la actividad que realiza diariamente el camión, todo el proceso se hace por medio de tuberías.

Para analizar la limpieza del combustible se hizo un análisis tomando muestras de combustible en diferentes puntos dentro del proceso de transporte y almacenamiento desde su llegada al puerto hasta el momento preciso antes de la entrada al motor.

Además se analizó dentro del sistema de información de mantenimiento de el complejo carbonífero, algunos casos particulares de camiones para determinar a cuales se les haría el análisis de conteo de partículas. Las variables que se tuvieron en cuenta fueron la vida del motor, la frecuencia de mantenimiento del tanque de combustible, el último cambio de filtros o de componentes del sistema de combustible y el último relleno de combustible, con eso se tomaron muestras en algunos camiones y se promediaron los resultados para determinar como llega el combustible al motor.

### 2.1. Resultados

Del análisis realizado se determina que el combustible no está llegando con la limpieza que CATERPILLAR como fabricante determina, esto puede ser por varias causas como la distancia que hay desde el punto de llegada hasta el punto de recibo, el mantenimiento que se le hace a los tanques de almacenamiento de combustible en todo el proceso, la utilización de filtros inadecuados, en fin al parecer el

tipo de contaminación que presenta puede ser “añadida”, creada durante la fabricación y el montaje del sistema, “ingerida” penetra dentro del sistema, por un mal funcionamiento o ausencia de filtros de aire, (filtros no adecuados), estanqueidad defectuosa en los depósitos, vástagos de los cilindros rayados, pueden ser la causa de una contaminación no deseada dentro del sistema, “generada” por deterioro o desgaste, de los propios elementos del sistema, o presente por que el combustible nuevo no tiene ninguna garantía de que este limpio.

## **CONCLUSIONES**

### **Modos de Falla**

Son teóricamente descripciones de un sistema o fallas de las funciones de un equipo o producto. Una técnica analítica utilizada como medio de asegurar, en lo máximo posible, los modos de falla potencial y que sus causas asociadas hayan sido consideradas y señaladas es lo que se conoce como el modo potencial de falla y el análisis de efectos, entonces si lo que se busca es determinar por medio de análisis una causa por la que sucede la falla se utiliza la evidencia que se encuentra y que se ha documentado en la historia del equipo.

Es una herramienta que utilizan ingenieros, analistas, técnicos, operarios que conocen los equipos y saben el momento exacto en que se unen ciertos factores que hacen que falle de una misma manera

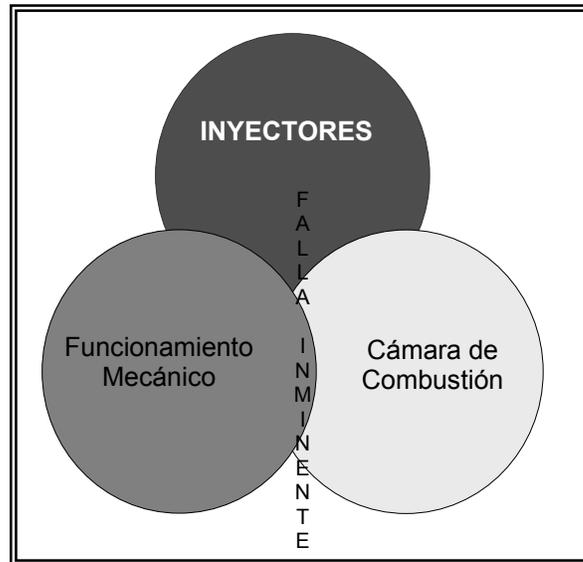
En el caso de la contaminación por combustible los fabricantes de los equipos han desarrollado programas que le permiten por medio de factores como ruido, análisis de partículas, análisis químico, el mismo desempeño del equipo, generación de humo, por medio de los sensores y visores que este posea, saber cual es el modo de falla más probable del motor y cuando se va a presentar, y aunque en la función que realiza el sistema de combustible la falla no es evidente para los operarios en circunstancias normales, se debe buscar la falla oculta, por medio de un mantenimiento predictivo que permita conocer la condición del combustible y del equipo antes de que se produzca la falla y se puede aplicar tanto para funciones evidentes como ocultas, esto es buscar la falla funcional que lleve al deterioro del combustible y en su defecto del motor.

### **Posibles Modos de Falla**

El inyector es el parámetro del que se parte para determinar como es el análisis de los posibles modos de falla con los casos particulares que se analizan, por que es la terminación de la línea de combustible y el inicio de la combustión o sea el funcionamiento del motor.

## ILUSTRACIÓN 1

### Posibles modos de falla



En la Ilustración 1, se muestra como se presenta un modo de falla posible para el motor, si el combustible se encuentra contaminado si el inyector sufre puede presentar 2 problemas, uno en el funcionamiento mecánico, por que el inyector se tapona y deja de funcionar como lo hace normalmente y de allí se desencadenan una serie de reacciones que terminan en el desgaste de la leva en el puesto donde precisamente se tapona el inyector.

El segundo es en la cámara de combustión donde se realiza todo el ciclo que termina en el funcionamiento del motor, cuando se produce la combustión el inyector entrega el combustible pulverizado al pistón y este se encarga de hacer toda la carrera por la camisa haciendo que se mueva todo el mecanismo que va a producir movimiento. Si el combustible que el inyector entrega está contaminado se producen una serie de consecuencias que van desde el rompimiento de los anillos hasta el rompimiento de las coronas de los pistones que generan un paro inmediato del equipo que puede desembocar en una baja en la producción, una disminución de los índices de productividad de la empresa, una baja rotunda en la vida del equipo y obviamente un aumento en los costos de mantenimiento.

Es necesario controlar la contaminación del combustible por medio de un análisis periódico, del monitoreo del combustible puede depender la vida de operación de muchos de los camiones, si se aumenta la vida de los equipos se establece un patrón de ahorro en costos de mantenimiento, en satisfacción por el trabajo de estas máquinas, un aumento potencial de la producción por que los equipos estarán trabajando más tiempo del esperado, haciendo simples rutinas y estableciendo controles que no cambien lo habitual, se puede corregir y las correcciones siempre son para mejorar.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- CATERPILLAR. *Improving Fuel System Durability*: Publicación SENR9620. Peoria-Illinois, USA. Diciembre de 2000. pp. Completo.
- CULTURAL S.A. *Camiones y Vehículos Pesados, Reparación y Mantenimiento*. ED. Cultural S.A. Tomo I., México DF, México. 2001. p. 120-133
- ENCICLOPEDIA MCGRAW-HILL de Ciencia y Tecnología. Tomo 1. Ed. McGraw-Hill. New York, USA- 1991.
- GECOLSA, General de Equipos de Colombia S.A. Entrevistas con los Ingenieros Mauricio Güiza y Hugo Mercado, CRC. Barranquilla, Colombia- Noviembre de 2003.
- GECOLSA General de Equipos de Colombia S.A. Entrevistas con los Ingenieros Iván Osorio y Cristian Jiménez. Albania, Colombia- Noviembre de 2003.
- GI&T: Grupo De Inspección & Tecnología, Cerrejón-Dpto. de Mantenimiento. Publicaciones Quincenales. Albania-Colombia - 2003.
- GI&T: Grupo De Inspección & Tecnología, Cerrejón-Dpto. de Mantenimiento. Entrevista con Ingeniero Juan Cepeda. Fotografías. Albania-Colombia - 2003.
- ISO: International Organization for Standarization: *ISO 4406 Cleanliness Codes*. Ginebra, Suiza. 2000 (En línea). Octubre 3 de 2003. Disponible en <http://www.iso.org>.



# **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA DE ENSAYOS DESTRUCTIVOS DE DIENTES POSTIZOS UTILIZANDO COMO MATERIALES DOS TIPOS DE POSTES PREFABRICADOS Y RESINA DE VIDRIO**

ESCUELA DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA - 2003

## **AUTOR**

YOVAN RAMIRO SEPÚLVEDA PIMIENTA, [ysepulve@eafit.edu.co](mailto:ysepulve@eafit.edu.co)

## **ÁREA DE ÉNFASIS**

DISEÑO DE SISTEMAS TÉCNICOS

## **ASESOR PRINCIPAL**

Ingeniero FABIO ANTONIO PINEDA BOTERO

## **EMPRESA**

Universidad CES - Universidad EAFIT



## RESUMEN

Debido a la necesidad que en este momento existe para ensayar experimentalmente los diferentes materiales utilizados en la reconstrucción de dientes en conjunto (poste-muñón), se diseñó una máquina que simula la masticación humana para dar solución a dicho problema.

Después de utilizar las herramientas que brinda el diseño metódico para la obtención del modelo mas óptimo se concluyó que la máquina mas apropiada es aquella que utiliza una leva para retirar y aplicar la fuerza presente en los contactos dentarios de los incisivos y un resorte que aplica dicha fuerza.

La máquina fue diseñada para simular los contactos dentarios sin tener en cuenta la deglución y con capacidad de probar 5 dispositivos (dientes) a la vez, esta máquina cuenta con un contador capaz de informar el número de ciclos antes de la ruptura (falla).

Después de la construcción de la máquina se realizo una prueba piloto, con 5 dispositivos; en la cual se pretendía observar dos aspectos fundamentales, el comportamiento de los elementos mecánicos de la máquina y las posibles fallas que pueden presentar los dispositivos (dientes) con sus respectivos tiempos.

De la prueba piloto se concluyó que entre algunos elementos mecánicos de la máquina es necesaria una lubricación constante y además garantizar una mayor rigidez de los elementos. Los dispositivos ensayados se comportaron según lo esperado (tipo de falla y duración)



## ABSTRACT

Due to the need that in this moment exists to test experimentally the different materials used in the reconstruction of teeth as a whole (post - core), a machine was designed that simulates the human chewing to give solution to the above mentioned problem.

After using the tools that the methodical design offers for the obtaining of the most ideal model, was concluded that the most appropriate machine is that one that uses a cam to apply and to withdraw the actual force in the dental contacts of the anterior teeth and a spring that applies the mentioned force.

The machine was designed to simulate the dental contacts without considering the swallowing and with capacity of testing five (5) devices (teeth) simultaneously, this machine has a device able to report the number of cycles before the rupture (failure).

After the assembly of the machine a pilot test was carried out, with five (5) devices, in which intended observe two (2) fundamental aspects: the behaviour of the mechanical elements of the machine and the possible failures that could display the devices (teeth) with its respective times.

Of the pilot test was concluded that between some mechanical elements of the machine a constant lubrication was necessary and besides to guarantee a greater inflexibility of the elements. The tested devices behaved according to it expected (type of failure and duration).

## PALABRAS CLAVES

Incisivo superior, Deglución, Odontólogo,  
Poste, Muñón    Ciclo masticatorio, Ensayo destructivo

## KEY WORDS

Anterior teeth, Deglution, Dentist, Post, core, Masticator circle, Destructive test

## CONTENIDO

### **Introducción:**

El objetivo de este proyecto es diseñar una máquina para probar experimentalmente en ella la cohesión y resistencia de las diferentes combinaciones de materiales usados en la reconstrucción de dientes. **“Esta máquina simulara las distintas cargas presentes en un incisivo superior debido a la masticación (no simulara deglución)** en condiciones normales y estará en capacidad de contar en que ciclo sucederá la ruptura”. Con esta máquina se espera poder aclarar muchas dudas sobre la calidad de los materiales usados y así dejar que los odontólogos escojan la mejor pareja (poste-muñón) de materiales y con una confiabilidad suficiente para los futuros pacientes.

Para los odontólogos encontrar restauraciones que sean compatibles con la apariencia de los dientes naturales y de buena calidad ha sido fundamental. Es importante resaltar que siempre la conservación de la estructura dentaría ha sido esencial para la apariencia humana. El uso de un poste y muñón, cuando los dientes se encuentran altamente destruidos es la mejor alternativa para sostener la posterior restauración.

Al valorar el efecto de los contactos dentarios en las estructuras del sistema masticatorio, deben considerarse dos factores: la magnitud y la duración de los contactos. Para un incisivo superior se ha estimado que durante cada movimiento de masticación los dientes están cargados 0.3seg llegando a una fuerza máxima de 98N y retirando la fuerza 0.5seg, teniendo un total de duración de ciclo de 0.8seg. Teniendo en cuenta que la cantidad de ciclos masticatorios por día son aproximadamente 1800 movimientos a razón de 0.8seg por movimiento, por lo tanto el tiempo de actividad masticatoria en un día para una función normal de masticación es de 1440seg/día (24 min./día). Durante la masticación, la mandíbula se desplaza fundamentalmente en dirección vertical, cuando se cierra y se llevan a cabo los contactos dentarios en este caso el de los incisivos, los dientes tienen un contacto y aplicación de la fuerza a 45 grados del eje del incisivo superior (OKENSON, 1995, Pág. 347).

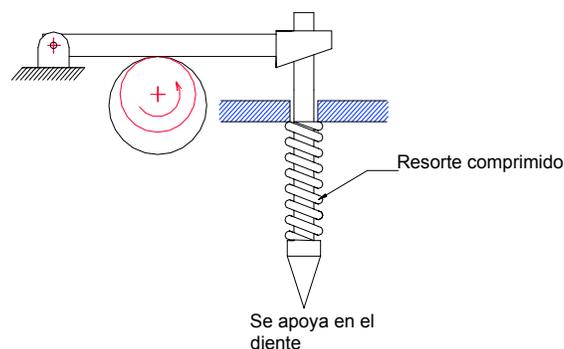
Los materiales utilizados en esta investigación son dos tipos de poste prefabricados los cuales fueron importados de las marcas mas representativas del mercado mundial (*BISCO* y *Coltène whaledent*) y se utilizó para material del muñón resina de vidrio.

### Desarrollo del tema:

Para llegar al diseño más acertado de este prototipo, se va hacer uso del diseño metódico, una herramienta de análisis y solución de problemas. El diseño metódico es una serie de simples, pero significativos pasos que a través de los cuales se llega a conclusiones de diseño, las cuales según el estudio realizado serán las más acertadas. Posteriormente se procederá a escoger una, que será la mejor de todas según una evaluación integral.

La máquina debe estar en capacidad de contar el número de ciclos en el cual ocurre la fractura de los dispositivos a ensayar (dientes), trabajar continuamente (día y noche) y debe ensayar 5 dispositivos a la vez.

Del diseño metódico, se encontró que la mejor solución, y la que satisface todos los requerimientos y cumple con la función principal es la siguiente:



### Autoría propia

Sin embargo, los elementos que intervienen en la solución global, no están dimensionados, lo que se debe proceder a hacer ahora para cada uno de ellos.

## Resortes

Los resortes serán utilizados como fuentes de energía, para aplicar la fuerza de 98N a los dispositivos. Conociendo esta fuerza se diseñará el resorte adecuado.

De los cálculos realizados (Sepúlveda, 2003, Pág. 36) y utilizando acero AISI 1085, se obtuvo que **para obtener la fuerza antes mencionada, es necesario comprimir el resorte una distancia de 20mm.**

## Eje

El eje transmitirá movimiento y potencia a las levas, esta máquina contará con 5 levas para probar 5 dispositivos simultáneamente. Las cargas presentes en este son cargas dinámicas (fatiga).

El eje estará cargado por momentos estacionarios de flexión y torsión por lo tanto se presentarán esfuerzos de flexión completamente invertida, debido a la rotación del árbol, pero el esfuerzo torsional permanecerá estable.

El material utilizado para el eje será acero AISI 4140 y **el diámetro mínimo del eje es de 6.8mm** según los cálculos realizados (Sepúlveda, 2003, Pág. 40).

## Leva

Una leva es un elemento mecánico que sirve para impulsar a otro elemento, llamado seguidor para que desarrolle un movimiento específico, por contacto directo. Para este caso se utilizará una leva de disco con un seguidor oscilante, el material a utilizar para la fabricación de las levas será bronce fosforado.

La función de la leva en esta máquina es la de cumplir con el ciclo masticatorio. Un factor determinante en el diseño de la leva es su simplicidad.

La leva estará separada del seguidor inicialmente 1mm, pues en este momento la barra que aplica la fuerza de 98N al diente estará actuando durante un lapso de 0.3 seg. Después la leva entrará en contacto con el seguidor oscilante y retirará la fuerza aplicada al diente por un período de 0.5 seg. Para cumplir con los intervalos de tiempos mencionados **la leva debe dar un giro cada 0.8 seg. (75 RPM).**

## Chaveta

La cuña o chaveta utilizada para transmitir momento de rotación del eje a las levas será una chaveta cuadrada de acero AISI 8150, este material ofrece buena dureza y gran tenacidad.

Según la tabla 8-15 (Shigley, 1990, Pág. 416), para un eje de 7 a 11mm de diámetro se debe utilizar una chaveta cuadrada de 3/32 pulgadas (2.38125mm) de lado con una profundidad del chavetero de 3/64 pulgadas (1.19mm)

## **Barra y seguidor**

La barra que contiene el resorte tendrá un diámetro de 8.3mm y su material de fabricación será acero 4140

El seguidor tendrá un diámetro de 8mm, excelente acabado superficial y lubricación constante de este con la leva.

## **Buje**

Este elemento será fabricado en bronce, pues tiene muy buenas propiedades de lubricación, además se comporta muy bien cuando hay lubricación al límite (dos superficies sólidas deslizando una sobre otra con una sola película parcial de lubricación) el diámetro interno del buje deberá tener muy buen ajuste con la barra.

## **Rodamiento**

Los rodamientos a utilizar son rodamiento de bolas (8x22x7 y 15x28x7). Estos rodamientos están diseñados para soportar cargas puramente radiales. En nuestro caso las cargas presentes son radiales, muy bajas.

Dispositivo golpeador.

Este dispositivo tendrá la función de golpear al diente en la posición correcta y simulando a un incisivo inferior. El material a utilizar será aluminio pues este presenta propiedades mecánicas parecidas a las del muñón. Además será intercambiable por su posible desgaste.

## **Chasis**

El chasis de la máquina será de aluminio por su excelente relación entre resistencia y peso. Este contendrá los distintos elementos mecánicos y contará de 5 piezas que son: la pared, el piso, la mesa y dos apoyos.

Además proporcionará lubricación a las levas, con depósitos de aceite en la mesa.

Esta máquina contará con un sistema capaz de contar el número de ciclos de masticación en cada diente (5), registrara el número de ciclos en que ocurra la ruptura y la posibilidad de reiniciar el conteo en el momento en que se vaya a montar un nuevo diente.

## **Construcción de la máquina y problemas posteriores**

La mayoría de los elementos mecánicos de la máquina fueron maquinados en el laboratorio de modelos de la universidad EAFIT. Otros elementos mecánicos, por ser de mayor precisión fueron maquinados en un taller externo a esta. El dispositivo contador de la máquina, será montado cuando esta este funcionando para así poder ponerlo a punto.

La máquina quedo instalada en el laboratorio de mecánica experimental de la universidad EAFIT, los principales problemas presentes en la máquina, evidenciados después de su puesta en marcha fueron:

- Las diferentes alturas de los dientes postizos, aumenta o disminuye el tiempo de aplicación de la fuerza a estos (a mayor altura mayor el tiempo de aplicación de la fuerza y por lo tanto menor el tiempo de retirada).
- La máquina presentó problemas de desgaste en el sistema leva-seguidor-
- El ruido por la máquina es mucho mayor al esperado.

A continuación el análisis de cada uno de los problemas y solución más sencillas pero no la menos eficaz.

- Al problema de las diferentes alturas de los dientes postizos, se les informa a las odontólogas Clara Osorio y Patricia Ortiz de las consecuencias de estas diferencias.
- El desgaste del sistema leva-seguidor, se debió a la puesta en marcha de la máquina sin ningún tipo de lubricación y además del mal acabado superficial de los elementos mecánicos involucrados en el desgaste. La solución a este problema fue sistema de lubricación donde las levas se encuentran sumergidas constantemente en aceite y además darle un mejor acabado superficial a los elementos mecánicos involucrados.
- El ruido presente en la máquina se debe a la gran cantidad de elementos mecánicos sueltos (con movimientos relativos y poco ajuste) y por supuesto a la falta de lubricación. El problema de la lubricación ya fue resuelto y la solución ya fue mencionada. Los elementos sueltos, no se pueden cambiar pues estos son parte de la solución global (objetivo principal), pero en la parte del ajuste es donde se ha hecho el mejor esfuerzo para solucionar este problema.

A pesar de los problemas presentes, las primeras 5 muestras fueron probadas satisfactoriamente, y con las fallas esperadas por las odontólogas. De los 5 dientes 4 sufrieron fracturas en el poste (fractura esperada) y el último sufrió fractura en el muñón.

Es importante mencionar que un día en la máquina equivale a 2 meses de masticación normal. La máquina a pesar de los problemas que se presentaron, no se detuvo hasta que el último dispositivo (diente) no se fracturo. En los días de ensayo se trato de solucionar en su mayoría los problemas, sin intervenir con su funcionamiento.

Después de las primeras pruebas los resortes fueron probados experimentalmente, pues estos son los elementos encargados de una de las tareas importantes en los objetivos de este proyecto (fuerza aplicada). Para corroborar su correcto funcionamiento y corroborar su efectivo diseño mecánico. Esta prueba fue llevada a cabo en el laboratorio de materiales de la universidad EAFIT, en la máquina de ensayos universal, el ensayo mostró que los resortes no presentan ningún tipo de desgastes ni de deformación.

## CONCLUSIONES

A continuación se darán las conclusiones y recomendaciones para que la máquina probadora de dientes trabaje en óptimas condiciones y no presente ningún tipo de inconvenientes en su funcionamiento.

- El sistema leva-seguidor a pesar de su constante lubricación, podría presentar desgastes, debido al tiempo de contacto y a la fuerza normal presente entre ellos.
- Estos dos elementos deberían ser templados superficialmente para garantizar su correcto funcionamiento.
- Los resortes que aplican la fuerza de mordida en la máquina, después de probar los primeros dientes, no presentaron ningún tipo de deformación.
- Estos resortes fueron diseñados para tener una vida útil infinita, pero por su seguridad y para garantizar la veracidad de los resultados estos deben ser probados experimentalmente cada vez que se monten una nueva muestra de dientes.
- Otra causa de la gran cantidad de ruido presente, es la poca rigidez de la máquina probadora de dientes.
- La base en que se monto la máquina y el motor es poco rígida (el motor es demasiado robusto). Lo recomendable es cambiar dicha base, o poner el motor y la máquina en bases diferentes.
- El eje de la máquina presenta flexión debido a que la distancia entre sus apoyos es demasiado grande.
- Es recomendable acortar esta distancia, Poniendo un apoyo intermedio.
- El poner y quitar los dientes, requiere de un gran esfuerzo, debido a que se tiene que vencer la fuerza de 98N ejercida por cada resorte.
- Esta tarea resulta un poco incomoda y difícil de realizar, incorporar algún tipo de palanca en la máquina para realizar esta tarea sería la mejor solución.

## **BIBLIOGRAFIA**

BEER, Ferdinand. RUSELL, Johnstan. Mecánica De Materiales. 2 Ed. Santa fe De Bogota, Colombia. Mcgraw-Hill., 1993. 740p

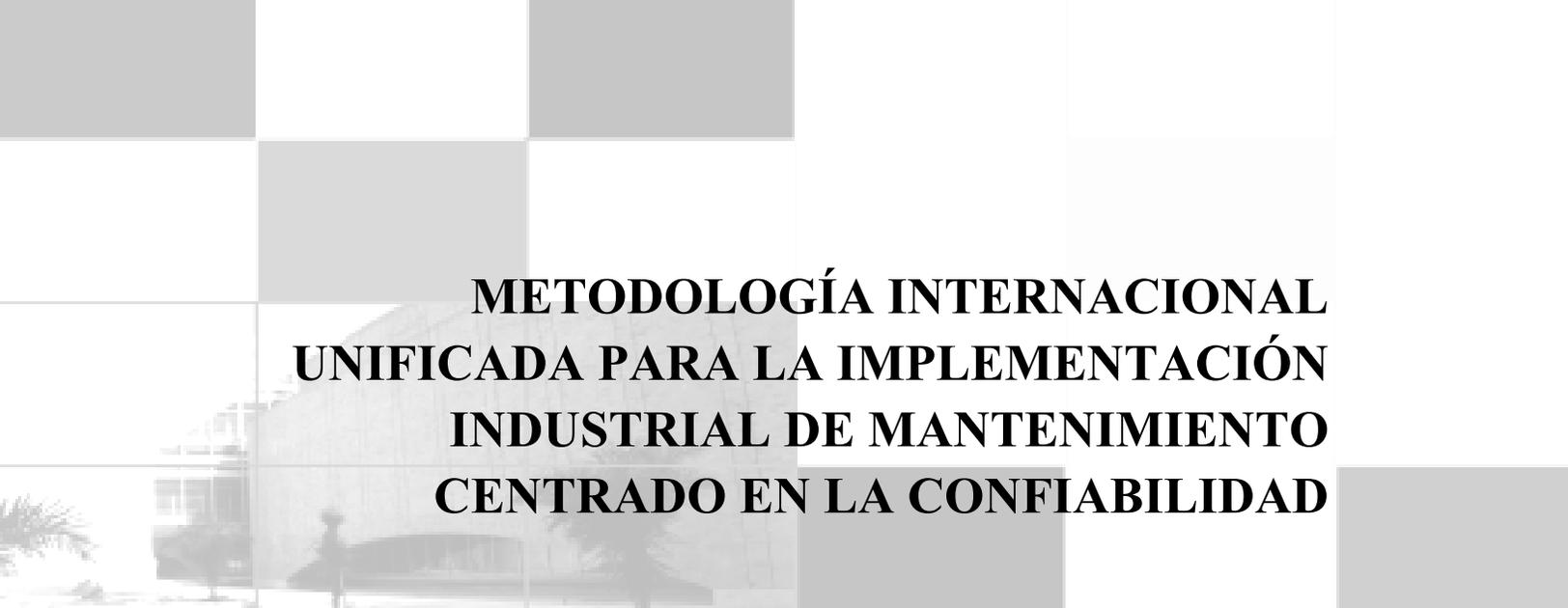
FAIRES, virgil. Diseño de elementos de maquinas. Ed. Limusa S.A. México, 1997.

OKENSON, Jeffrey. Oclusión y afecciones temporomandibulares. Madrid, España, 1995, 616 p

SEPULVEDA PIMIENTA, Yovan. Diseño y construcción de una máquina de ensayos destructivos de dientes postizos. Medellín, 2003, 78 p. Trabajo de grado (Ingeniería mecánica). Universidad EAFIT. Escuela de Ingeniería. Área de diseño.

SERWAY, Raymond A. Física. 2 ed. Santafé de Bogotá: Mc Graw-Hill, 1996 740p

SHIGLEY, Josep Edward. Diseño en ingeniería mecánica. Ed. Mc Graw-Hill. Mexico, 1990



# **METODOLOGÍA INTERNACIONAL UNIFICADA PARA LA IMPLEMENTACIÓN INDUSTRIAL DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD**

ESCUELA DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA - 2003

## **AUTORES**

LEONARDO POSADA HURTADO, [lposada@sinteticos.com.co](mailto:lposada@sinteticos.com.co)  
NICOLÁS SANTA MARÍA VELÁSQUEZ, [nsanta@epm.net.co](mailto:nsanta@epm.net.co)

## **ÁREA DE ÉNFASIS**

MANTENIMIENTO DE SISTEMAS TÉCNICOS

## **ASESOR PRINCIPAL**

Dr. Ing. LUIS ALBERTO MORA GUTIÉRREZ

## **SECTOR BENEFICIADO**

Universidad EAFIT



## RESUMEN

El mantenimiento centrado en confiabilidad es un proceso que identifica las políticas que deben llevarse a cabo para manejar los modos de fallo que podrían causar el fallo funcional de cualquier recurso físico en un contexto operacional dado. El estudio hace un análisis de las diferentes propuestas existentes de implementación del MCC para las industrias y luego hace una evaluación de cada una de estas para plantear un modelo exhaustivo y excluyente para la implementación a partir del análisis contextual realizado. La metodología hecha describe los pasos, las etapas, los elementos, las actuaciones empresariales, las responsabilidades y tareas de las personas y todo aquello que requiere la adecuada implementación del MCC a partir del modelo planteado.



## ABSTRACT

The reliability centered maintenance is a process that identifies the politicians that should be carried out to manage the failure ways that could cause the functional failure of any physical resource in a given operational context. The study makes an analysis of the different existent proposals of implementation of the RCM for the industries and then makes an evaluation of each one of these to outline an exhaustive and excluding model for the implementation starting from the carried out contextual analysis. The methodology describes the steps, the stages, the elements, the managerial performances, the responsibilities and people's tasks and everything that that requires the appropriate implementation of the RCM starting from the outlined pattern.



## PALABRAS CLAVES

Confiabilidad / Metodología / Implementación / Mantenimiento / Modelo



## KEY WORDS

Dependability / Methodology / Implementation / Maintenance / Model

## **1. INTRODUCCIÓN**

El área de mantenimiento cambiante prueba las actitudes y habilidades en todas las otras ramas de la industria. Las personas de mantenimiento tienen que adoptar una nueva forma de pensar y de actuar tanto como ingenieros como administradores. Al mismo tiempo, las limitaciones de los sistemas de mantenimiento son cada vez más aparentes, sin importar cuánto estén sistematizadas (Moubray, 1992, 10).

La información recopilada incluye la consulta de libros de gestión de mantenimiento, libros sobre la implementación del RCM, normas internacionales, publicaciones de grupos de trabajo especializados en la administración del mantenimiento, como es el caso del grupo Esreda, y también información encontrada en páginas de Internet.

Las técnicas, normas y documentos utilizados en las dos partes del proyecto no solo incluyen la recopilación de la bibliografía más relevante a nivel mundial que existe sobre este tema, sino también el material más reciente en el medio del mantenimiento industrial internacional como es el caso de las normas de la SAE.

El modelo se hace con la unión de todos los conceptos que son identificados en las fuentes bibliográficas para construir una metodología coherente que cumple con un orden lógico para facilitar la implementación, usando como principal herramienta diagramas de decisión, unificándolos en una presentación audiovisual elemental para simplificar la metodología.

Los pasos de implementación se enfatizan en los recursos que deben estar disponibles. Esto es de vital para que los encargados de las ejecuciones cuenten con presupuestos e inventario de recursos y elementos claves para el desarrollo de la implementación.

## **2. ANÁLISIS Y RESUMEN DE MÉTODOS EXISTENTES**

La metodología que ofrece más ventajas es la de SAE JA1012, la cual está basada en fuentes bibliográficas importantes. Ésta ofrece al usuario todos los pasos y etapas necesarios para la exitosa implementación, por lo que debe ser la primera a ser considerada cuando se quiere comenzar un proceso RCM. Aunque es completa ésta tiene falencias en ciertos pasos como el de la evaluación de tareas que si se quiere profundizar la adecuada fuente de consulta es la norma MIL 2173 que describe este paso de una forma clara y completa.

El libro RCM II de John Moubray introduce las nociones básicas y es un adecuado soporte para la concepción global del proceso. Guías como el curso público de Aladon, la SAE JA1011 ó el documento de Rausand son adecuadas como textos auxiliares pero no como patrones a seguir.

## **3. DESARROLLO DEL MODELO DE IMPLEMENTACIÓN**

La ejecución de una metodología supone el seguimiento de pasos o etapas específicos para lograr una forma de instalación coherente, estos pasos se describen a continuación de una forma ordenada y resumida.

### 3.1. Consideraciones del RCM

El mantenimiento evoluciona considerablemente desde hace aproximadamente 20 años, quizás más que cualquier área administrativa y estos cambios son originados por el constante incremento en el número y la variedad de los recursos físicos (plantas, equipos y edificaciones) los cuales deben ser mantenidos. Diseños más complejos, nuevas técnicas de mantenimiento, el cambio en la visión de la organización y el cambio en las responsabilidades del mantenimiento son muestra de esto (Moubray,1992,1).

Las organizaciones de mantenimiento generalmente llevan a cabo planes de mantenimiento preventivo: Estas son actividades periódicas de mantenimiento que incluyen inspección y pruebas de sistemas presurizados y de protección. Dado que las industrias tienen gran cantidad de equipos y componentes que requieren atención periódica se hace necesaria la definición de tareas con períodos apropiados para cada uno.

El concepto de la confiabilidad en este punto comienza a ser utilizado introduciendo tantas filosofías de confiabilidad como de mantenimiento. Sin embargo, todas comparten una cierta concordancia, tal como usar técnicas del análisis de la falla para descubrir las causas raíz de problemas. Éstas técnicas de análisis de falla se centran no solamente en qué errores ocurrieron, sino también en el porqué de estos. Se examinan también las causas humanas las cuales incluyen: procedimientos mal elaborados por los trabajadores, carencia de tiempo para realizar una tarea con precisión, y pobre comunicación (Terrence@,2002)5.

La misión de cualquier dispositivo es cumplir su demanda operativa a través de su vida útil en servicio de una forma segura y efectiva. El aprovechamiento del componente genera un beneficio para el usuario, éste debe ser expresado como la diferencia entre el valor obtenido por su operación y el costo asociado con su uso (Esreda,2001,12).

Los aspectos específicos de la instalación de una metodología RCM son elementos analizados a la luz de la falla de los equipo que han ocurrido y que pueden potencialmente aparecer (Esreda,2001,28). Se fundamenta en:

- Evaluación de los componentes de los equipos, su estado y función.
- Identificación de los componentes críticos.
- Aplicación de las técnicas de mantenimiento proactivo y predictivo.
- Chequeo en sitio y en operación del estado corpóreo y funcional de los elementos mediante permanente revisión y análisis.

La conceptualización de los conceptos sobre sus estándares de funcionamiento se hace de esta forma (Sierra,1999,42).

La instalación de los anteriores fundamentos es una forma de organizar los recursos físicos y una forma de gerenciar la organización. Tiene en cuenta como las funciones del sistema pueden fallar; se basa

primordialmente en la seguridad y en los bajos costos que caracterizan las tareas de mantenimiento, haciéndolas aplicables y efectivas (Latino@, 1996) (Higuita,1999,45).

#### **1.4. Requerimientos Generales**

El RCM analiza cada sistema y cómo puede fallar funcionalmente. Los efectos de cada falla se analizan y clasifican de acuerdo al impacto en la seguridad, operación y costo. Estas fallas son estimadas para tener un impacto significativo en la revisión posterior, para la determinación de las raíces de las causas (Murillo,2002,5).

Los medios para identificar las políticas que expone este mantenimiento deben ser implementadas para manejar los modos de falla que pueden causar fallas funcionales de algún elemento físico en un contexto de operación dado (JA1011,1999,5).

Las políticas de manejo para fallas de los elementos físicos o sistemas deben ser definidos (MIL2173,1986,17). Es necesario también conocer que tipo de elementos físicos existen en la empresa, y decidir cuales son los que deben estar sujetos al proceso de revisión. En la mayoría de los casos, esto significa que se debe realizar un registro de planta completo si no existe uno (Aladon,1998,4).

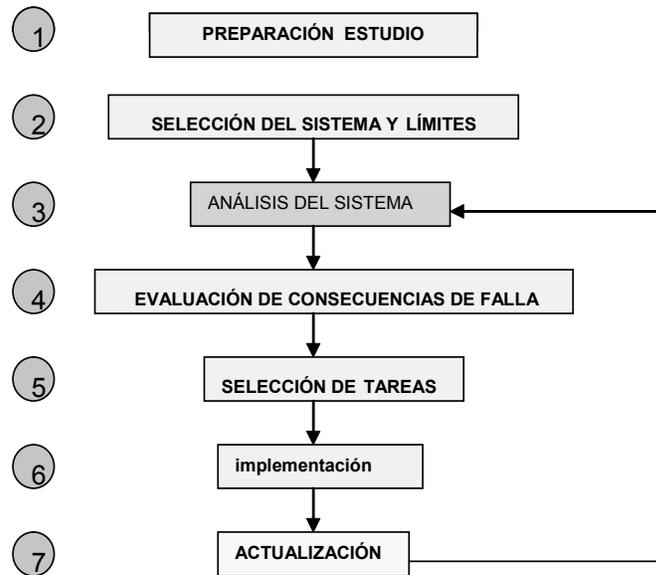
El proceso de análisis requiere desarrollar los elementos significativos, determinar modos de falla y análisis de efecto, evaluar consecuencias de falla y tareas de mantenimiento, para realizar estos requerimientos es necesario contestar siete preguntas básicas que al desarrollarlas arrojaran estos análisis (JA1012,2002,8).

El Proceso es realizado con una secuencia de actividades. Algunas de éstas sobrepuestas en el tiempo como se muestra en la figura 1. El proceso de RCM esta compuesto por los siguientes pasos.

1. Preparación del estudio
2. Selección del sistema y de sus limites
3. Análisis del sistema.
4. Evaluación de consecuencias de falla
5. Selección de tareas
6. Implementación
7. Actualización

Los puntos anteriores concluyen satisfactoriamente al ser esta información recopilada y algunas decisiones tomadas. Se documenta toda la información y decisiones de un modo en el cual este totalmente disponible y aceptada por el dueño o usuario del los activos (JA1011,1999,3)

**FIGURA 1**  
**Esquema de análisis del proceso RCM**



Fuente: Autoría propia

### 3.2.1 Preparación del estudio

La fase inicial es de gran importancia para asegurar el éxito del proceso. Su propósito es el de clarificar los objetivos que quieren ser logrados y la metodología que será usada para tal fin.

Si la empresa cuenta con un programa de mantenimiento, el resultado del uso de un análisis de RCM será la eliminación de tareas innecesarias. Para esto es necesario tener en claro los siguientes recursos:

- Recursos asignados.
- Grupo de personal que estará envuelto en el proceso.
- Implementación de acciones recomendadas con el fin de optimizar el sistema.
- Recursos computacionales.

La etapa de preparación del estudio esta conformado de los siguientes pasos:

- Establecimiento del grupo de personal
- Determinar funciones del grupo
- Definir actividades a realizar
- Recopilar la información necesaria

### 3.2.2 Selección del sistema y sus límites

El objetivo fundamental de esta etapa es la selección de los sistemas candidatos a ser objetos de análisis y la identificación de sus límites físicos en las plantas. (Esreda,2001,26).

Un componente catalogado como crítico supone la exigencia de establecer alguna tarea eficiente de mantenimiento preventivo o predictivo que permita impedir sus posibles causas de fallo (Gestiopolis@,2001).

Antes de realizar una decisión de análisis de RCM en una planta, se deben considerarse dos preguntas:

1. ¿Haciendo un análisis de RCM en qué sistemas es mas beneficioso usar, si se compara con el mantenimiento tradicional?.
2. ¿A que nivel de profundidad en la planta, en el sistema y en el subsistema el análisis debe dirigirse? (Rausand,1998,6).

### 3.2.3. Análisis del sistema

Los elementos que conforman una máquina cumplen una función específica dentro de los sistemas o subsistemas de los equipos, los que a su vez operan basándose en un estándar de funcionamiento para así lograr un fin determinado de operación.

La falla hace que un componente trabaje fuera de los estándares establecidos por los fabricantes, por ello es importante utilizar herramientas de manejo de fallas, con previa identificación de las mismas (Sierra,1999,62).

Para el análisis del sistema se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- La identificación de las funciones del sistema.
- La identificación de fallas funcionales y sus efectos.
- Fallas funcionales y orden jerárquico por criticidad.
- Determinación de componentes críticos.

### 3.2.4. Consecuencias de falla

Las empresas que utilizan un determinado activo se afecta de alguna forma cuando ocurre una falla. Algunas de estas fallas afectan tanto la calidad del producto como el servicio al cliente, otras amenazan la seguridad o el medio ambiente, incrementan los costos de operación por los altos consumos de energía y otras tienen algún impacto en todas o algunas de estas áreas.

Las fallas de este tipo presentan problemas cuando no son prevenidas ya que el tiempo que se destina en corregirlas afecta a las empresas, debido a que estos recursos que se consume la falla se podrían utilizar mejor en otra parte (Smith@,1993).

La naturaleza y severidad de estos efectos gobierna las consecuencias de la falla. Los efectos de la falla nos indican que es lo que pasa cuando ocurre una falla y las consecuencias nos indican como y que tan importante son. Por lo tanto si se puede reducir los efectos de falla en términos de frecuencia y/o severidad se esta reduciendo también las consecuencias asociadas (JA1012,2002,21).

### **3.2.5. Evaluación de tareas propuestas**

El paso de evaluación de tareas es usado para guiar el análisis a través de un proceso de preguntas y respuestas. La información suministrada para aplicar la lógica de decisiones RCM son los modos de falla dominantes encontrados en los pasos anteriores (Sierra,1999,98).

Las tareas de mantenimiento para eliminar cada modo de falla son evaluadas por su aplicabilidad y efectividad. El criterio usado para determinar la aplicabilidad depende del tipo de tarea preventiva mientras que la efectividad depende de las consecuencias de falla (MIL2173,1986,44).

Las tareas de mantenimiento preventivo desarrolladas por RCM están basados en la características de confiabilidad de los equipos. Estas tareas son también inspecciones o cambios con unas frecuencias establecidas. Las tareas de mantenimiento pueden ser ejecutadas en cualquier nivel de mantenimiento. El proceso lógico de RCM determina requerimientos e intervalos iniciales para las siguientes tareas preventivas: (MIL2173,1986,45).

- Lubricación
- Por condición
- Tareas por vida limite
- Combinaciones
- Búsqueda de falla

### **3.2.6 Implementación y evaluación**

Una vez iniciado el proceso de RCM se tienen valores que son obstáculo para la gestión de mantenimiento que exista en la organización, pero lo que realmente importa es cuanto se esta mejorando en realidad con la implantación del RCM, para esto nos es de gran ayuda indicadores como:

- Tiempo Medio entre Fallas.
- Disponibilidad.
- Mantenibilidad.

Los indicadores miden cuanto en realidad cuanto se mejora en la planta con la implementación del RCM. Además de cuantificar las mejoras obtenidas se debe evaluar el cambio en la forma de pensar de la gente de la planta ya que la base fundamental del RCM es el rompimiento de paradigmas y barreras que impidan el desarrollo continuo de la organización; es por ello que se debe evaluar el proceso de implementación y hacer la respectiva retroalimentación para poder adquirir las mejoras deseadas (Higuita,1999,72).

## CONCLUSIONES

La fuente bibliográfica que más ventajas ofrece para consultar para la implementación del mantenimiento centrado en confiabilidad es la JA1012, ya que es una de las más completas al ofrecer muchos de los pasos necesarios para una exitosa implementación.

El complemento necesario para llegar a una profunda comprensión del RCM es el uso de los dos proyectos de grado de la universidad EAFIT, los cuales son una excelente herramienta para conocer las nociones básicas del RCM.

El uso de la bibliografía actual disponible es herramienta fundamental en la implementación de este tipo de mantenimiento, de la combinación de ellas se pueden obtener guías útiles a la hora de realizar una implementación

El mantenimiento centrado en la confiabilidad es una filosofía de mantenimiento que lidera un proceso de análisis de sistemas para desarrollar y optimizar los programas de mantenimiento preventivo en las instalaciones industriales.

La ejecución de una metodología supone el seguimiento de pasos o etapas específicos para lograr una forma de instalación coherente, estos pasos se describen a continuación de una forma ordenada y resumida.

Los pasos de implementación siguen un diagrama de flujo en el cual se plantean actividades necesarias para realizarla. Cuando se sigue paso por paso los lineamientos descritos en el diagrama se obtienen un análisis centrado en confiabilidad de los diferentes sistemas.

## BIBLIOGRAFÍA

ALADON. Curso de formación de tres días en mantenimiento centrado en confiabilidad: Introducción al mantenimiento centrado en confiabilidad. En: Curso público. Versión 2. (agosto 1998); 1-25p.

Cano Y, Adolfo León, Sierra R, Juan F. RCM: Proyecto de grado de ingeniería mecánica. Medellín Colombia: Universidad EAFIT. 1999,100p.

Esreda Working group report. Handbook on maintenance management. Statistical series No 5, Hovick Noruega: DNV, 2001. 4-52p. ISBN 82 515 02705.

Higuera C, Camilo. RCM: Mantenimiento Confiable. Proyecto de grado de ingeniería mecánica. Medellín, Colombia: Universidad EAFIT.1999. 183 p.

MIL. STD 2173(AS): Mantenimiento centrado en confiabilidad, Requisitos de Mantenimiento para aviones, sistemas de armas y equipos de Apoyo: Norma militar departamento de defensa. Washington, Estados Unidos. 1980, 3-214p.

Moubray, John. Reability centered maintenance: Edición 1. New York, Estados Unidos : Industrial press, 1992, 2-70p.

SAE. JA1011: Evaluación de criterios del proceso de mantenimiento centrado en confiabilidad, agosto 1999. 2-13p.

Terrence Óhanlon. Para el lanzamiento inmediato, En: acercamientos Confiabilidad-basados al mantenimiento [en línea] 2002 disponible en internet <http://www.reliabilityweb.com>

SAE. JA1012: Guía para el mantenimiento centrado en confiabilidad, enero 2002. 4-50p.

Rausand M. y Vatn J. Reliability Centered Maintenance. En: Risk and Reliability in Marine Technology., Balkema, Holanda: Soares editor. 1998, 5-27p.

Gestiopolis. Plan de implantacion rcm [en línea] 2003 disponible en internet <http://www.gestiopolis.com/recursos/documentos/fulldocs/ger/implercm.htm>



# **REESTRUCTURACIÓN DEL ALMACÉN DE MANTENIMIENTO DE LA EMPRESA ALICO S.A**

ESCUELA DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA - 2003

## **AUTOR**

JUAN FERNANDO LONDOÑO ARROYAVE, [jflondo@yahoo.com](mailto:jflondo@yahoo.com)

## **ÁREA DE ÉNFASIS**

MANTENIMIENTO DE SISTEMAS TÉCNICOS

## **ASESOR PRINCIPAL**

Ing. NELSON MAZO

## **SECTOR BENEFICIADO**

Alico S. A.



## RESUMEN

La gestión de materiales era considerada antes como un proceso secundario en el engranaje productivo de las organizaciones empresariales. Actualmente se ha adquirido verdadera conciencia por parte de la gerencia moderna de la crucial importancia de esta gestión en los resultados económicos de cualquier empresa. Los avances tecnológicos actuales en el campo de la manutención, así como la aplicación extensiva de la informática, han creado un ambiente suficientemente sustancioso como para hacer que los almacenes constituyan una de las áreas más productivas dentro de la cadena logística de una empresa.

El proyecto se enfoca en la reestructuración tanto física, como funcional del almacén de mantenimiento de la empresa Alico S.A, con base en la información recopilada en el medio sobre métodos de almacenamiento, distribución física, codificación, normatividad, etc, siempre teniendo en cuenta las necesidades, deseos y requerimientos de almacenamiento del departamento de mantenimiento en la empresa ALICO S,A y mediante la utilización de herramientas como la simulación de sistemas.



## ABSTRACT

The materials management was considered before as a secondary process in the productive gearing of the organizations. Nowadays, there is real conscience of the great importance this activity has for the modern management in terms of economic results at any company. The technological developments at the storage field, and the extensive application of the data processing have built a good environment to make the warehouse one of the most productive areas inside the supply chain of any company.

The project is focused on the physical and functional change of the maintenance - warehouse in Alico S.A company, based on the collected information in the media about storage methods, physical distribution, codification, storage procedures etc, taking always into consideration the necessities, wishes and requirements of storage that the maintenance department of ALICO S,A company demands, and through the use of tools such as the systems simulation as well.



## PALABRAS CLAVES

Gestión de materiales/  
Almacén de mantenimiento/  
Simulación de sistemas



## KEY WORDS

Materials management/ Maintenance Warehouse/ Systems Simulation

## 1. INTRODUCCIÓN

La administración de una instalación de almacenamiento implica la realización de actividades distintas y relacionadas con el procesamiento de los repuestos. Las tareas abarcan desde recibir, inspeccionar y almacenar repuestos, hasta empacar, etiquetar y remitir los pedidos.

El objetivo fundamental del almacenamiento es guardar y proteger los productos almacenados contra pérdidas causadas por robo, uso no autorizado y deterioro por clima, humedad, manejo impropio y desuso.

Además facilitar un medio de recuento de materiales, control de su cantidad, calidad y tipo en cuanto a la recepción de materiales comprados y asegurar mediante el control de materiales que las cantidades requeridas de los mismos se encuentren a mano cuando se necesiten.

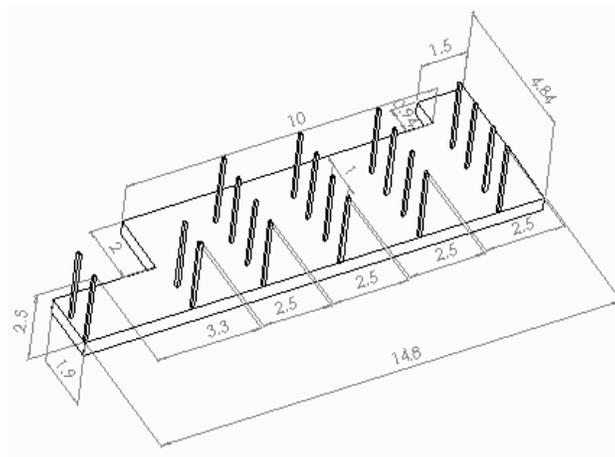
El proyecto busca la reestructuración tanto física, como funcional del almacén de mantenimiento, con base en la información recopilada en el medio, teniendo en cuenta las necesidades, del departamento de mantenimiento en la empresa ALICO S,A .

## 2. DISEÑO DEL ALMACÉN Y SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO

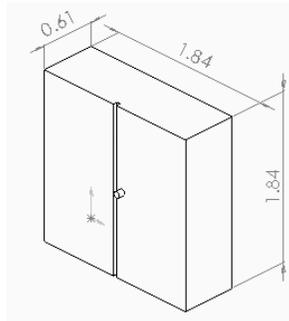
La modelación del almacén requería la utilización de un software de dibujo. Para el caso de este proyecto se decidió trabajar con el Solid Works.

El procedimiento desarrollado para el diseño de la disposición física del almacén consiste de los siguientes pasos:

- Toma de medidas de los pisos del almacén y el espaciamiento entre columnas.



- Toma de medidas de cómodas del almacén eléctrico.



- Cálculo de volúmenes y formas de los repuestos.

---

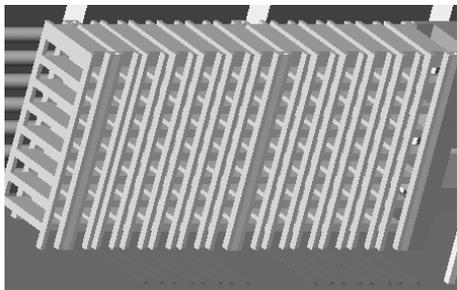
LISTA DE REPUESTOS A ALMACENAR

---

<i>Nombre del repuesto</i>	<i>Volumen aprox del conjunto(m³)</i>	<i>Dimensiones aprox del conjunto</i>		
		<i>L(cm)</i>	<i>A(cm)</i>	<i>H(cm)</i>
Tanques de aceite	0,58	50	50	100
Tornillos y machuelos	0,6	40	140	100
Hta especializada	0,86	20	178	244
Correas	1	35	150	196
Piñones cadena	0,5	32	90	200
Piñones	0,8	36	100	220
Poleas	0,5	32	90	200
Cilindros neumáticos	0,6	32	90	200
Aros	0,8	45	90	200
Boquillas	0,8	30	80	110
Pinturas, pegas, sellantes	0,38	16	100	240
Pines, racores, o-rings	0,7	30	100	240
Repuestos mecánicos	3	240	100	125
Empaques, accesorios neumáticos	0,6	25	98	250
Rptos máquinas de impresión	2,5	220	90	125
Rptos máquinas de sellado	3	240	100	125
Rptos máquinas de extrusión	2,5	220	90	125
Rptos otras máquinas	2	220	100	80
Mangueras	2	220	100	80
Genéricos electricos	3,5	100	153	218
Rptos plantas diesel	1	100	100	100
Cables	3	100	300	100
Tubería	4	500	100	80
Lámparas	1,25	250	50	100
Motores	2,4	800	100	30
teléfonos y cableado	1,6	50	153	218
Resistencias	3,2	282	61	183
Rodillos	10	1300	30	250
<b>Volumen Total a almacenar</b>	<b>53,67</b>			

- Fusión del almacén eléctrico y mecánico.
- Identificación de recursos y necesidades.
- Planteamiento de los sistemas de almacenamiento

**GRÁFICO 1**  
**Sistema Estantería con anaqueles**



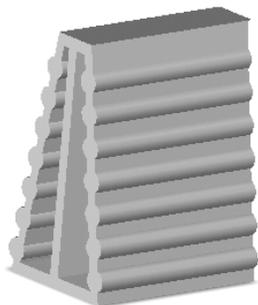
Elaboración propia.

**GRÁFICO 2**  
**Sistema Estantería rodante**



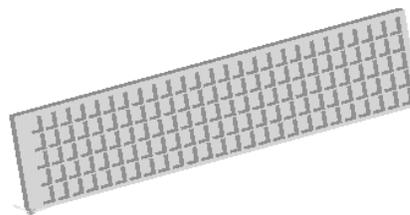
Elaboración propia.

**GRÁFICO 3**  
**Sistema Almacenamiento rodillos**



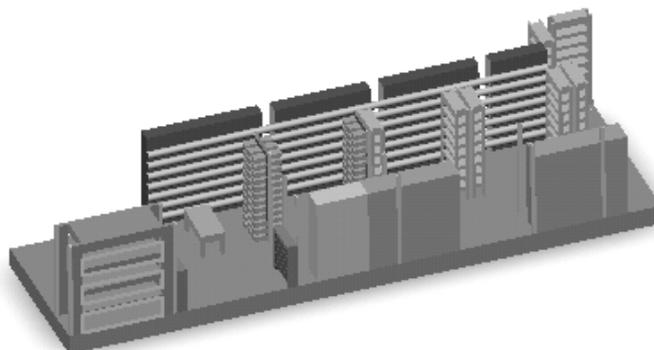
Elaboración propia.

**GRÁFICO 3**  
**Sistema Estante grande**



Elaboración propia.

**GRÁFICO 3**  
**Distribución de los estantes**



Elaboración propia.

**TABLA 1**  
**Evaluación de las alternativas**

Criterios de evaluación	Ponderación	Estantería Rodante		Anaqueles removibles		Estante grande	
Acceso	20%	1	0.2	5	1	5	1
Mantenimiento	10%	1	0.1	5	0.5	5	0.5
Costo	30%	3	0.9	1	0.3	5	1.5
Capacidad	20%	4	0.8	3	0.6	5	1
Desplazamiento	10%	1	0.1	3	0.3	5	0.5
Aprovechamiento altura	10%	5	0.5	5	0.5	4	0.4
Totales	100%		2.6		3.3		4.9

Elaboración propia.

### 3. CODIFICACIÓN

En el desarrollo del proyecto se diseñaron códigos tanto para la identificación de los productos, como para su ubicación en el almacén.

**TABLA 2**  
**jemplos de codificación de identificación**

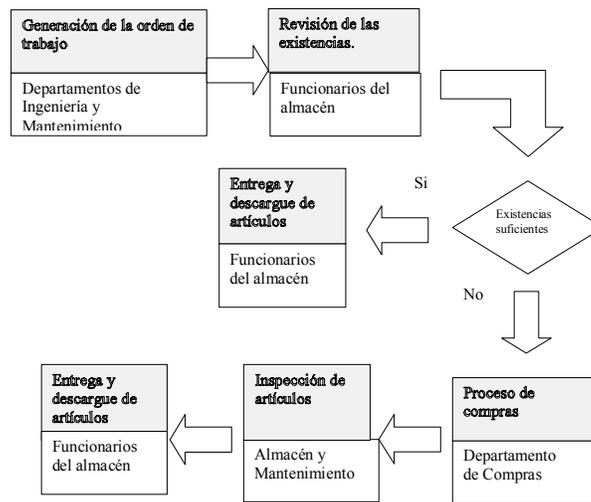
EJEMPLO	FF	GG	SG	CODIGO EXTERNO
EJEMPLO 1	EU	TS	NC	101
EJEMPLO 2	EU	TS	NC	102
EJEMPLO 3	ST	BA	B-	223

Elaboración propia.

### 4. DISEÑO DE PROCEDIMIENTOS PARA EL ALMACÉN

Como parte del proyecto también se contemplo diseñar procedimientos para la realización del las actividades dentro del almacén.

- Procedimiento para el pedido de materiales.



- Procedimiento para recepción de materiales.

Una vez la orden de compra sea diligenciada al proveedor, una copia de la misma será enviada al área de recepción de materiales, quienes en el momento de recibir el pedido deben confrontar los ítems, las cantidades y el valor. En caso que el artículo deba cumplir con especificaciones especiales, el personal de mantenimiento se encargará de la inspección del mismo y dará la aprobación para su recepción.

## 5. FORMULACIÓN DE INDICADORES DE GESTIÓN

La utilización de indicadores de gestión surge como una herramienta de control de los procesos productivos y como un instrumento de gestión que apoyara la toma de decisiones.

Dentro de los índices propuestos para implementar en el almacén se tienen:

- Satisfacción de clientes.
- Clientes atendidos/día.
- Tiempos perdidos de los clientes.
- Tiempo de despacho.
- Exactitud de inventario.
- Costo de almacenamiento por unidad.
- Costo por m<sup>2</sup>.
- Número de pedidos despachados/número de pedidos atendidos.

## 6. RESULTADOS OBTENIDOS

A lo largo del proyecto, el almacén fue sometido a muchos cambios tanto físicamente, como a nivel de procedimientos internos y de utilización de herramientas tecnológicas.

Después de la transformación del almacén surge la necesidad de conocer en que medida las necesidades de almacenamiento que tenía la empresa fueron satisfechas.

Es de esta forma como se desarrollaron diferentes indicadores que mostraron la evolución del almacén.

El índice de utilización de espacio se construyo como se muestra a continuación:

$$IndUtilización = \frac{VolRptos}{CapAlm} \times 100$$

Donde:

IndUtilización: Índice de utilización de espacio.

VolRptos: Volumen de los repuestos a almacenar.

CapAlm: Capacidad máxima de almacenamiento del almacén.

El índice de utilización del almacén antes de la reestructuración es:

$$IndUtilización(antes) = \frac{31.72m^3}{275.8m^3} \times 100 = 11.5\%$$

El índice de utilización del almacén después de la reestructuración se desarrolla a continuación

$$IndUtilización(después) = \frac{53.67m^3}{275.8m^3} \times 100 = 19.5\%$$

Como se puede observar, la utilización del espacio después de la reestructuración se incremento al pasar de un 11.5% al 19.5%.

## CONCLUSIONES

- El desarrollo de los nuevos procesos tecnológicos, administrativos y logísticos en las empresas, deben contar con un compromiso serio de la alta gerencia, de forma que la implementación de los mismos se dé en los períodos de tiempo presupuestados y se realice la adecuada asignación de recursos con el fin de que se pueda cumplir con los objetivos para los cuales fueron diseñados.

- Los almacenes deben contar con un sistema para identificar el lugar de los artículos almacenados de tal forma que se facilite la ubicación y se disminuyan los tiempos para el despacho de los mismos.
- El uso de un sistema de codificación para la identificación de cada una de las referencias del almacén, se hace necesario para poder realizar un control y manejo más eficiente de la información de cada artículo por parte del almacén y las demás áreas de la empresa.
- La utilización de un sistema de información computarizado, facilita la gestión de materiales en la medida que el acceso a la información se generaliza y se cuenta con diversas funciones que sirven de ayuda para el manejo y control de los repuestos.
- Las técnicas de modelación por computador se imponen sobre las técnicas convencionales, debido a que éstas últimas consumen mucho tiempo y los cambios son costosos. Por el contrario mediante el computador la modelación es más flexible y los cambios se pueden realizar sin que se incurra en altos costos.
- Uno de los factores más importantes para que un proceso, llámese logístico o de producción se lleve a cabo con éxito, es la implementación de un sistema de indicadores para medir la gestión de los mismos.
- La implantación de un sistema de control eficaz, exige asociar a las actividades unos indicadores de control que traduzcan los objetivos que inspiran la estrategia en objetivos a nivel de actividades, para encontrar puntos críticos y determinar variaciones en el rendimiento esperado.
- El diseño de sistemas de almacenamiento debe partir de un conocimiento claro de los objetivos que se persiguen con el desarrollo de los mismos. Es de esta forma como la selección de una de las soluciones propuestas se debe llevar a cabo bajo parámetros acordes a los objetivos trazados inicialmente.
- La planeación de un almacén implica el aprovechamiento racional y práctico del espacio, de aquí que el objeto primordial de la planeación de un almacén consiste en el máximo y mejor aprovechamiento del espacio disponible. Para este proyecto se pasó de una utilización del espacio del 11.5% al 19.5%, al tiempo que se mejoró la facilidad de transporte en el primer piso.
- Mediante la utilización del indicador de gestión de clientes atendidos por turno, se puede realizar una asignación de los recursos de acuerdo a las diferentes jornadas de trabajo en el almacén.
- Los procesos de mejora logísticos y tecnológicos deben llevar consigo la capacitación del personal a cargo, con el fin de poder obtener los resultados esperados.
- Durante la implementación de un sistema de trabajo, pueden surgir ideas u obstáculos con los que no se contaba en la etapa de diseño del mismo. Es de esta forma como, en la puesta en marcha de una propuesta se puede cambiar el rumbo de la misma y terminar por ejecutarse otra que puede o no, ser similar a la inicialmente planteada.

- Una alternativa para distribuir los espacios de almacenamiento de una forma eficiente, consiste en medir el volumen y las longitudes máximas de los elementos a almacenar, de esta forma se adquieren unas pautas para la ubicación de los mismos.
- La recuperación de la inversión por parte de la empresa se dará en un periodo de siete meses a partir de la implementación, teniendo en cuenta que solo se tuvieron en cuenta los beneficios obtenidos por aprovechamiento del espacio. Mediante un análisis de recuperación de la inversión, los proyectos se pueden vender más fácilmente a las personas encargadas de la toma de decisiones en la empresa.
- El máximo aprovechamiento de los recursos con los que contaba la empresa, hacia parte de los objetivos del proyecto. Debido a esto la inversión para la realización del proyecto se redujo considerablemente y por otra parte se produjeron limitantes para la innovación y desarrollo de nuevas propuestas.
- Una alternativa para seleccionar entre varias propuestas la que más se acomode a los requerimientos de un proyecto, es realizar un análisis de ponderamiento, donde se califiquen cada una de las propuestas de acuerdo con unos criterios de evaluación previamente definidos.
- Mediante la fusión del almacén mecánico y eléctrico se obtuvo una concentración de las actividades, que repercutió en una organización más eficiente de la gestión de almacenamiento, disminución de los tiempos de operación y el desarrollo de actividades de control sobre todo el inventario.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- ANAYA TEJERO, Julio. (1998). La gestión operativa de la empresa. Primera edición. Madrid: Esic, 195 p.
- ARIZMENDI ARANGO, Gustavo. (1991). Modulo de organización y administración de talleres. Primera edición. Medellín: Instituto Tecnológico Pascual Bravo, 240p.
- BADENAS, Víctor. (1994). Almacenes: la estrategia japonesa de almacenamiento. En: Manutención y Almacenaje. No. 283; 51 p.
- BADENAS, Víctor. (1993) Almacenes: la importancia del picking. En:Manutención y Almacenaje. No. 278; p. 71-74.
- BADENAS, Víctor. (2000) Almacenes: un universo muy complejo. En: Manutención y Almacenaje. No. 345; p. 41.
- TOBALINA,Felíx. (2000) Almacenamiento: la formación logística, factor diferencial. En: Manutención y Almacenaje. No. 345; p. 86-87.
- BALLOU, Roland H. (1992) Business logistics management. Cuarta edición. New Jersey: Prentice Hall,. 681 p. ISBN 0-13-795659-2.

- CEMUSCHI, Cesare. (1989). Almacenamiento La reducción del almacén. Como y cuando es posible. En: Manutención y Almacenaje. No. 232; p 19-23.
- COYLE, Jhon, BARDI, Edward, LANGLEY, Jhon. (1996) The Management of Business Logistics. Sexta edición. West Publishin Company, U.S.A.. 190p
- HERAGU, Sunderesh (1997). Facilities Design. Primera edición, PWS Publishing Company Boston, U.S.A. 656 p.
- LAFUENTE, Carmina. (2000) Almacenamiento: La radiofrecuencia extiende sus redes, En: Manutención y Almacenaje. No. 345); p. 64.
- MORA, Aníbal (2001). Los indicadores de gestión logística. En: Zona logística. No. 003; p. 24-25-26-27.
- MULCAHY, David. (1994) Warehouse distribution and operation handbook. Primera edición. Estados Unidos: MacGraw Hill. 13 p.
- NAVARRO, Luis, PASTOR, Ana, MUGABURU, Jaime. (1997). Gestión integral de mantenimiento. Primera edición. Barcelona: Marcombo, 83 p.
- PALACIOS, Sergio. (1984). Almacenamiento: ¿Qué sistema le da a usted el mejor aprovechamiento del volumen? En: Manutención y Almacenaje. No. 938; p. 57-62.
- RJ. (1993) Almacenes: un almacén automático se puede poner a punto en menos de un mes. En: Manutención y Almacenaje. No. 279; p.37-39.
- RINCON, Rafael (1998). Los indicadores de gestión organizacional: una guía para su definición. En: Revista Universidad Eafit. No. 111; p. 41-58.
- RODRIGUEZ, Antonio (1972). Organización de almacenes. Primera edición. Medellín: Universidad de Antioquia,. 1 p.
- TOBALINA, Félix (2000). Almacenamiento: la formación logística, factor diferencial. En: Manutención y Almacenaje. No. 345; p. 86-87.
- VELEZ, Jovany (1997), Optimización de los procesos de administración del inventario de repuestos del complejo industrial de Barrancabermeja. Medellín, 12 p. Trabajo de grado (Ingeniero Industrial). Universidad Antioquia. Departamento de Ingeniería de Industrial.
- VELEZ, Raúl y VELEZ, Maria (2001), Distribución física y caracterización funcional de un centro semi-automatizado de almacenamiento y distribución. Medellín, 5 p. Trabajo de grado (Ingeniero Industrial). Universidad Nacional. Facultad Nacional de minas. Departamento de Ingeniería Industrial.
- ENTREVISTA con Nelson Mazo Giraldo, Jefe de mantenimiento mecánico en Alico S.A, Medellín, 09 de Septiembre del 2002.

ENTREVISTA con Luis Mora Gutiérrez, Profesor en la Universidad Eafit, Medellín, 09 de Septiembre del 2002.

ENTREVISTA con Orlando Londoño Mira, Ingeniero Mecánico de EEPMM, Medellín, 10 de Mayo del 2003.

Alfonso Wolf S.A [en línea]. Santiago de Chile. 1998- [citada 10 octubre 2002]. Disponible en Internet <http://www.awolf.cl/>

Crown Equipment Corporation [online]. Asia Pacific Region. 2000-. [citada 11 octubre 2002]. Available from Internet: <http://www.crown.com>

V2K. La tienda del futuro. [en línea]. 2000- [citada 2 septiembre 2002]. Disponible en Internet ([www.ver2000.com.mx/Asp/Tecnologia/inter.asp](http://www.ver2000.com.mx/Asp/Tecnologia/inter.asp))

Esmena, almacén inteligente para MIIRALANZA (Venecia). Puntolog Actualidad [en línea], mar 1999 [citada 12 septiembre 2002]. Disponible en Internet: <http://www.puntolog.com/actual/evolu/esmena/venetex.htm>.

CANEPA, Gustavo. Transmisión de datos por radiofrecuencia. Asociación civil Argentina de codificación de productos comerciales [en línea], boletín 14. [citada 13 septiembre 2002]. Disponible en Internet: [http://www.codigo.com.ar/boletines/boletin\\_14/b\\_14\\_07.htm](http://www.codigo.com.ar/boletines/boletin_14/b_14_07.htm)

Identificación y comunicación empresarial. IAC Colombia [en línea]. Bogotá –Colombia, [citada 26 octubre 2002]. Disponible en Internet: [http://www.iacolombia.org/web/index\\_flash.asp](http://www.iacolombia.org/web/index_flash.asp)

IVAN organización, S.A. de C.V. [en línea]. México D.F, [citada 26 marzo 2001]. Disponible en Internet: <http://www.codigodebarras.com/>

Leuter, Gestión de almacenes por medio de radiofrecuencia. Puntolog Actualidad [en línea], jun 1998 [citada 12 septiembre 2002]. Disponible en Internet: <http://www.puntolog.com/actual/evolu/esmena/leut.htm>

Asti, Evolución de los sistemas de preparación de pedidos sin papel en ASTI, S.A. Puntolog Actualidad [en línea], oct 1997 [citada 13 septiembre 2002]. Disponible en Internet: <http://www.puntolog.com/actual/evolu/pickasti/pickcf.htm>



**IMPLEMENTACIÓN DE UN PROGRAMA DE  
MANTENIMIENTO PREVENTIVO A ESCALERAS  
ELÉCTRICAS TIPO J EN UNA EMPRESA  
DEDICADA AL SERVICIO DE TRANSPORTE  
VERTICAL**

ESCUELA DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA - 2003

**AUTOR**

JONNY GÓMEZ GALLEGO, [jgomezg2@eafit.edu.co](mailto:jgomezg2@eafit.edu.co)

**ÁREA DE ÉNFASIS**

MANTENIMIENTO DE SISTEMAS TÉCNICOS

**ASESOR PRINCIPAL**

Dr. Ing. GUSTAVO VILLEGAS LÓPEZ

**EMPRESA**

Melco de Colombia Ltda.



## RESUMEN

Actualmente la empresa Melco de Colombia brinda el servicio de mantenimiento a más de 100 escaleras eléctricas en el área metropolitana, por lo tanto, este servicio se constituye en una actividad importante y fuerte dentro de la compañía.

Para garantizar la calidad en el servicio de estos equipos se debe contar con un grupo numeroso de personal calificado para abarcar todos los sectores donde se encuentran instaladas las escaleras eléctricas y también se debe seguir un programa de mantenimiento con el fin de prevenir fallas en los equipos para que la disponibilidad de operación de estos sea la más alta posible.

El proyecto tiene como objetivo desarrollar un programa de mantenimiento especificando claramente las actividades del mismo y definiendo los parámetros de las inspecciones para estructurar debidamente la administración del mantenimiento basado en técnicas preventivas.

Para esto se definirán las actividades y procedimientos de mantenimiento con su frecuencia, el manejo de los recursos tanto humano como material y se extraerá la información pertinente como resultado del seguimiento a los equipos como por ejemplo a la hoja de vida de cada equipo, reporte de defectos o reparaciones a los equipos, etc. El programa de mantenimiento preventivo reúne información como frecuencias, tiempos, habilidades y conocimientos que el personal debe poseer para realizar las actividades.

El proyecto pretende revisar y diseñar el programa de mantenimiento preventivo adecuado para las escaleras eléctricas tipo J que sea costo eficaz tanto para la empresa que es la que ofrece el servicio como para el cliente.



## JUSTIFICACIÓN

Melco de Colombia Ltda. es una empresa dedicada a brindar el servicio de transporte vertical por medio de ascensores, andenes móviles y escaleras eléctricas en Colombia y algunos países de Latinoamérica por lo tanto debe programar una serie de actividades de mantenimiento en todos los equipos con el fin de prevenir fallas en los mismos para que así, estos brinden el servicio para el que fueron creados.

Es misión de la empresa velar porque todos los equipos suministrados por Melco de Colombia Ltda. estén siempre en perfecto estado de funcionamiento, satisfaciendo de esta manera las necesidades de sus clientes. Además, es política de la compañía buscar ante todo la completa satisfacción de los clientes acentuando la seguridad, la calidad, la estética y excelente fabricación con materiales, procesos de fabricación, instalación, servicio y mano de obra del mejor nivel.

Mediante estas actividades de mantenimiento se logra alargar la vida útil de los equipos, se disminuyen las fallas repentinas y paradas imprevistas con el fin de ofrecer un servicio de alta calidad y que el cliente tenga una excelente percepción de los equipos suministrados por la empresa. Todo esto se logra con un programa de mantenimiento bien definido y planeado y un sistema de información de mantenimiento que ayude a disminuir los costos de mantenimiento generando mayores utilidades para la compañía.

## **INSPECCIÓN DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO ACTUAL UTILIZADO EN MELCO DE COLOMBIA LTDA.**

El programa actual de mantenimiento está sustentado sobre el tipo de mantenimiento preventivo programado que tiene ciertas ventajas como que permite reducir fallas que no pueden ser detectadas con anticipación, intervalos fijos de las labores de mantenimiento con lo que se puede balancear la demanda de equipos que requieren mantenimiento y el recurso disponible de personal que se posee para satisfacer la misma y se puede programar según los requerimientos de operación que imponga el usuario o cliente en este caso.

Este programa fue diseñado con respecto a información suministrada por el departamento técnico en Japón para escaleras eléctricas de otras series anteriores a las de tipo J que es la que se ha venido suministrando a partir de los años noventa y representan una mayoría de los equipos a los que se les presta el servicio de mantenimiento en la actualidad.

De este punto parte la necesidad de crear un programa actualizado que se acople a las necesidades actuales y al contexto local y soportado en un manual de mantenimiento que reúna frecuencias de actividades, tiempo de las actividades, parámetros establecidos de medición, habilidades y procedimientos basada en nuevos catálogos suministrados por Melco de Japón y la experiencia del personal que ha estado involucrado en las labores de mantenimiento y que han adquirido experiencia en las mismas debido a la naturaleza repetitiva de este tipo de mantenimiento.

El objetivo de Melco de Colombia es brindar la mayor disponibilidad posible de sus productos mediante una serie de visitas programadas de mantenimiento en la cual se busca detectar problemas potenciales y hacer un seguimiento a la vida de algunos componentes que en caso de fallar generarían un paro no deseado en las escaleras eléctricas las cuales son utilizadas para el transporte masivo de personas en sitios como centros comerciales, aeropuertos, supermercados, etc. Creando insatisfacción en el usuario ya que este por lo general en estos sitios se moviliza con objetos pesados como maletines, paquetes y en estos sitios el flujo de personas es alto y rápido.

En la actualidad se realizan las labores de mantenimiento basado en un programa de mantenimiento preventivo que fue suministrado por el fabricante de las escaleras eléctricas desde la casa matriz de Mitsubishi Electric Corporation en Japón.

Este programa se encuentra descontextualizado para la carga de trabajo a que están sometidas en Colombia; como se mencionó anteriormente las escaleras eléctricas son utilizadas en lugares donde hay un flujo masivo de personas como en aeropuertos y centros comerciales sin embargo la actividad diaria en un aeropuerto o

centro comercial en Japón es mucho mayor que en Colombia; el tiempo de uso de una escalera eléctrica en una ciudad Suramericana por lo regular no supera las 80 horas semanales mientras que en países desarrollados como Estados Unidos o Japón la utilización supera fácilmente las 100 horas semanales, por tal motivo es necesaria una inspección a las frecuencias de mantenimiento formuladas en los programas suministrados por el fabricante las cuales deben ser mas bajas para que queden mas aplicadas al contexto Colombiano.

## **PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PROPUESTO**

El programa actual de mantenimiento está sustentado sobre el tipo de mantenimiento preventivo programado que tiene ciertas ventajas como que permite reducir fallas que no pueden ser detectadas con anticipación, intervalos fijos de las labores de mantenimiento con lo que se puede balancear la demanda de equipos que requieren mantenimiento y el recurso disponible de personal que se posee para satisfacer la misma y se puede programar según los requerimientos de operación que imponga el usuario o cliente en este caso.

Este programa fue diseñado con respecto a información suministrada por el departamento técnico en Japón para escaleras eléctricas de otras series anteriores a las de tipo J que es la que se ha venido suministrando a partir de los años noventa y representan una mayoría de los equipos a los que se les presta el servicio de mantenimiento en la actualidad.

De este punto parte la necesidad de crear un programa actualizado que se acople a las necesidades actuales y al contexto local y soportado en un manual de mantenimiento que reúna frecuencias de actividades, tiempo de las actividades, parámetros establecidos de medición, habilidades y procedimientos basada en nuevos catálogos suministrados por Melco de Japón y la experiencia del personal que ha estado involucrado en las labores de mantenimiento y que han adquirido experiencia en las mismas debido a la naturaleza repetitiva de este tipo de mantenimiento.

El objetivo de Melco de Colombia es brindar la mayor disponibilidad posible de sus productos mediante una serie de visitas programadas de mantenimiento en la cual se busca detectar problemas potenciales y hacer un seguimiento a la vida de algunos componentes que en caso de fallar generarían un paro no deseado en las escaleras eléctricas las cuales son utilizadas para el transporte masivo de personas en sitios como centros comerciales, aeropuertos, supermercados, etc. Creando insatisfacción en el usuario ya que este por lo general en estos sitios se moviliza con objetos pesados como maletines, paquetes y en estos sitios el flujo de personas es alto y rápido.

En la actualidad se realizan las labores de mantenimiento basado en un programa de mantenimiento preventivo que fue suministrado por el fabricante de las escaleras eléctricas desde la casa matriz de Mitsubishi Electric Corporation en Japón.

Este programa se encuentra descontextualizado para la carga de trabajo a que están sometidas en Colombia; como se mencionó anteriormente las escaleras eléctricas son utilizadas en lugares donde hay un flujo masivo de personas como en aeropuertos y centros comerciales sin embargo la actividad diaria en un aeropuerto o

centro comercial en Japón es mucho mayor que en Colombia; el tiempo de uso de una escalera eléctrica en una ciudad Suramericana por lo regular no supera las 80 horas semanales mientras que en países desarrollados como Estados Unidos o Japón la utilización supera fácilmente las 100 horas semanales, por tal motivo es necesaria una inspección a las frecuencias de mantenimiento formuladas en los programas suministrados por el fabricante las cuales deben ser mas bajas para que queden mas aplicadas al contexto Colombiano.

## **PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO CONTEXTUALIZADO PROPUESTO PARA ESCALERAS TIPO J INSTALADAS EN COLOMBIA**

El programa de mantenimiento propuesto para escaleras eléctricas tipo J está sustentado en un manual de mantenimiento enfocado en esta serie de escaleras; en este programa de mantenimiento se puede ver un listado con las actividades las cuales se encuentran codificadas para poder ser identificadas dentro del manual y están agrupadas por la zona física del componente al que se le va a realizar la inspección.

## **SISTEMAS DE EVALUACIÓN DE LA GESTIÓN Y OPERACIÓN DEL MANTENIMIENTO**

El programa propuesto está fundamentado en el tipo de mantenimiento preventivo programado, basado en la condición y monitoreo de condición y esto lo podemos evidenciar al definir una frecuencia de las actividades de mantenimiento a intervalos fijos de tiempo con el fin de prevenir fallas en los componentes antes de que ocurran.

Se han determinado estándares y parámetros para que durante las inspecciones de mantenimiento se detecte cuando un límite ha sido excedido y debe realizarse una acción correctiva por ejemplo cuando se menciona cual debe ser el rango de tensión de las cadenas, como se debe medir, como corregir el problema en caso de no tener el rango de tensión adecuada, como se debe verificar que el problema no sea de elongación de la cadena, que herramienta debo utilizar para tal fin, hasta que punto puedo utilizar la cadena y que parámetro debo utilizar para saber cuando debo hacer reposición de la misma.

Estos criterios son definidos para los componentes críticos de la escalera eléctrica para no desgastar el tiempo disponible efectivo para las labores de mantenimiento en hacer reparaciones de componentes que están en buen estado el cual es el fundamento del tipo de mantenimiento basado en la condición; el desmontaje de un componente se debe realizar solo cuando el problema es detectado bajo inspección o monitoreo.

Todas estas actividades, parámetros, frecuencias, tiempos, etc. vienen soportadas en un manual de las actividades de mantenimiento para el programa de mantenimiento propuesto y se presenta como la herramienta necesaria para realizar las labores de mantenimiento preventivo posee una estructura diferente para conservar el formato de Melco de Colombia Ltda.

También se creó una hoja de verificación de las actividades del mantenimiento preventivo con el fin de hacer un seguimiento constante a los parámetros establecidos y poder definir el desgaste o desajuste de algunos componentes y poder prever una reparación o el cambio de estos. En esta hoja también se debe registrar si alguna actividad programada no se dio a lugar para poder reprogramarla y ejecutarla durante la siguiente rutina de mantenimiento preventivo. Esta hoja de registro debe elaborarse mensualmente así no se hallan presentado anomalías durante las labores de mantenimiento.

Este tipo de verificación permite redefinir parámetros, frecuencia y tiempos de mantenimiento en caso que sea necesario debido a que esta hoja de verificación se va a convertir en un historial de la escalera eléctrica.

## **PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO ACTUAL VS PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PROPUESTO**

**TABLA 1**  
**Paralelo entre programas de mantenimiento**

<b>Programa de mantenimiento preventivo actual</b>	<b>Programa de mantenimiento preventivo propuesto</b>
Actividades sin respaldo de un manual que me indique los parámetros de las inspecciones que se están realizando.	Actividades codificadas y sustentadas bajo un manual de mantenimiento en el cual se indican los parámetros relevantes a la hora de realizar las inspecciones.
El programa no me informa cual es la duración de cada actividad con lo cual algunas inspecciones se hacen de manera deficiente por parte del tiempo que tengo disponible para realizar el mantenimiento y el tiempo que en realidad destino a estas actividades.	El programa me informa cual es la duración de cada una de las actividades y cada cuanto debe realizarse por lo tanto me facilita agrupar las actividades con el fin de lograr una duración de la inspección similar en cada uno de los meses del año optimizando de esta manera el recurso humano.
Programa genérico para todas las series de escaleras eléctricas.	Programa diseñado para escaleras eléctricas tipo J.

Elaboración propia

## CONCLUSIONES

El programa de mantenimiento preventivo permite:

- Mayor disponibilidad de equipos: El mantenimiento preventivo aunque demanda una gran cantidad de horas de mantenimiento, los equipos se desempeñan adecuadamente y con mucha mas disponibilidad cuando son requeridos ya que este tipo de mantenimiento previene que un pequeño imperfecto en algunos de los componentes del equipo exceda el límite permisible por el mismo y produzca un para del equipo. El mantenimiento preventivo realizado propiamente, continuamente detectará fallas que de otra manera no hubieran podido ser detectadas a menos que el equipo fuera necesitado para un trabajo.
- Estandarización: La manera correcta de realizar las labores de mantenimiento preventivo deben ser determinadas. El proceder de las actividades de mantenimiento preventivo se irán mejorando a medida que las habilidades de las personas se incrementen debido a la naturaleza repetitiva de este tipo de mantenimiento. Un gran nivel de aprendizaje y capacitación deben establecerse inicialmente si el mismo personal va a conformar el equipo de mantenimiento preventivo.
- Como cualquier labor realizada frecuentemente con una guía, el mantenimiento preventivo puede alcanzar un nivel muy alto de productividad. Esto permite una planeación más exacta debido a que los tiempos programados evolucionaran a unos rangos relativamente más pequeños. Los costos como una de las políticas más restrictivas son usualmente predeterminadas en bajos límites.

## BIBLIOGRAFÍA

- ARENAS, Alexandra María, y GUISAO, Juan Carlos. Metodología de mantenimiento basado en la confiabilidad. Medellín, Colombia. 1999. Trabajo de grado (Ingeniería Mecánica) Universidad Nacional. Facultad de minas. Área de mantenimiento.
- ARSENAULT, J. E. Y ROBERTS, J. A., Reliability and maintainability of electronic systems. Potomac, Maryland, USA. Computer Science Press, Inc. 1980.
- AVILA, Rubén. Fundamentos de mantenimiento: Guías Económicas, Técnicas y Administrativas. México D.F., México. Ed Limusa S.A. 1992.
- BARLOW, Richard E.; PROSHAN, Frank y HUNTER, Larry C. Mathematical Theory of Reliability. New York, NY, USA. John Wiley and sons. Inc. 1965.
- BLANCHARD, Benjamín S. Ingeniería Logística. Madrid, España. Isdefe. 1995.
- BLANCHARD, Benjamín S; VERMA, Dinesh y PETERSON, Elmer. MAINTAINABILITY: A Key to Effective Serviceability and Maintenance Managment. New York, NY, USA. John Wiley and sons. Inc. 1995.

- BOLAÑOS, Gilberto. Disponibilidad de los Equipos de Producción y la Utilización de las Ventajas de Mantenimiento. En: Revista del Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica. No. 6. 1987.
- BOTERO, Camilo. Manual de mantenimiento parte I: Qué es el mantenimiento?. En: Informador Técnico. (1993) p. 35-37
- BOTERO, Camilo. Manual de mantenimiento parte V: Mantenimiento preventivo. En: Informador Técnico. (1995) p. 21-36
- CALABRO, S.R. Rliability principles and practices. New York, NY, USA. Editorial McGraw Hill Companies, Inc. 1962.
- CARDENAS, Carlos Andrés. Programa de mantenimiento preventivo para equipos de refrigeración de empresas de servicios hoteleros e implementación de dicho programa en el hotel Intercontinental de Medellín. 1 ed. 1999.
- DÍAZ MATALOBOS, Ángel. Confiabilidad en mantenimiento. Caracas, Venezuela. Ediciones IESA. 1992.
- EBELING, Charles E. An Introduction to Reliability and Manteniability Engineering. New York, NY, USA. Editorial McGrawHill Companies, Inc. 1997.
- FORCADAS, Jorge. Confiabilidad en los Sistemas. En: Revista SAI. No4. Vol.1. 1983.
- GARCIA, Luis Fernando y ALZATE, Luz Estela. Mantenimiento Preventivo sistematizado con el PMC. 1 ed. Medellín. 1995.
- KAPUR, K.C. y LAMBERSON E.R. Reliability in Engineering Design. New York, NY, USA. John Wiley and Sons. Inc. 1977.
- KECECIOGLU, Dimitri. Maintainability, Availability and Operational Readings Engineering. Upper Saddle River, NJ, USA. Editorial Prentice Hall Inc. 1995.
- KELLY, A. Y HARRIS M.J. Gestion del Mantenimiento Industrial. Madrid, España. Fundaciones REPSOL. 1998.
- KNEZEVIC, Jezdimir. Mantenimiento. 1 ed. España. 1996. 16p.
- KNEZEVIC, Jezdimir. Mantenibilidad. 1 ed. España. 1997. 24p.
- KOPETZ, H. Software Reliability. Londres, Inglaterra. The Macmillan Press Ltd. 1979.

- LEWIS, E.E. Introduction to Reliability Engineering. New York, NY, USA. John Wiley and Sons, Inc. 1987.
- LYU, Michael R. Handbook of Software Reliability Engineering. Los Alamitos. CA. USA. Editorial McGraw Hill Companies. Inc. 1996.
- MONSALVE, Juan David. Gestión Gerencial de l mantenimiento (1ª parte). En: Acotepac. México. (1994) p. 11-17
- MORA, Luis 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.
- NAGAYA, Naomi; SARAI, Nishira. Manual C60 de instalación y mantenimiento a escaleras eléctricas. Departamento técnico Mitsubishi Electric Corporation. Inazawa, Japón. 2002.
- NACHLAS, Joel A. Fiabilidad. Madrid, España. Isdefe. 1995.
- NEWBROUGH, E. T. Administración de mantenimiento industrial. México D.F., México. Editorial Diana. 1974.
- O'CONNOR, Patrick D.T. Practical Reliability Engineering. New York, NY, USA. John Wiley and Sons, Inc. 1989.
- OLWELL, David H. Reliability Leadership. Philadelphia, PA, USA. Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. 2001.
- ORDOÑEZ, Hector Danilo. Análisis estadístico para medir la confiabilidad de un equipo. En: Ingeniería de mantenimiento. Colombia. (1992) p. 9-20
- PATTON, Joseph D. Preventive Maintenance. 2 ed. Estados Unidos. 1995.
- RAMAKUMAR, R. Engineering Reliability: Fundamentals and Applications. Englewood Cliffs, NJ, USA. Editorial Prentice Hall, Inc. 1993.
- REY Sacristán, Francisco. Hacia la Excelencia en Mantenimiento. Madrid, España. Editorial TGP Hoshin, S.L. 1996.
- ROJAS, Jaime. Introducción a la Confiabilidad. Bogotá, Colombia. Universidad de los Andes. 1975.
- SANIN, Federico y VÉLEZ, Fernando. Confiabilidad de los Sistemas Eléctricos y Electrónicos. Medellín, Colombia. 1972. Trabajo de grado (Ingeniería Electrónica). Universidad Pontificia Bolivariana. Facultad de Ingeniería Electrónica.

TORO, Juan Carlos y CESPEDES, Pedro Alejandro. Metodología para medir Confiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad en Mantenimiento. 2001. Trabajo de grado (Ingeniería Mecánica). Universidad EAFIT. Facultad de Ingeniería Mecánica.

WEIBULL, W. A Statistical Distribution Function of Wide Applicability. En: Journal of Applied Mechanics No.293. Septiembre 1951.

ULPGC@, Tutorial de fiabilidad y sus aplicaciones en ingeniería de telecomunicaciones [en línea]. Junio 2002 [citado en septiembre de 2002] disponible en Internet <<http://ingenet.ulpgc.es/~ablesa/fiabilidad/fiabindex.html>>

Maintainability. [en línea]. Febrero 199. [citado en 28 de mayo de 2003]. Disponible en Internet. <<http://wmeng.co.uk/wmeng/wmrem/rem.htm#toc404493934>>

Barringer@, Disponibilidad, confiabilidad, mantenibilidad y capacidad (II parte) [en línea]. Febrero 1997. [citado en septiembre de 2002] disponible en Internet: <<http://www.soporteycia.com.co/documentos/Disponibilidad,%20Confiabilidad,%20Mantenibilidad%20y%20Capacidad,%20Parte%20II.PDF>>



# **DESARROLLO DEL NIVEL INSTRUMENTAL DEL MANTENIMIENTO EN LA EMPRESA ARTEXTIL LTDA.**

ESCUELA DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA - 2003

## **AUTORES**

CARLOS ANDRÉS RIVERA JARAMILLO, [criveraj@eafit.edu.co](mailto:criveraj@eafit.edu.co)  
CAMILO RAMOS CUESTA, [cramoscu@eafit.edu.co](mailto:cramoscu@eafit.edu.co)

## **ÁREA DE ÉNFASIS**

MANTENIMIENTO DE SISTEMAS TÉCNICOS

## **ASESOR PRINCIPAL**

Dr. Ing. LUIS ALBERTO MORA GUTIÉRREZ

## **EMPRESA**

Artextil Ltda.



## RESUMEN

Este proyecto surgió por la necesidad de mejorar la estructura de mantenimiento en la empresa Artextil Ltda. con lo cual se decidió realizar un estudio preliminar para conocer los puntos débiles y el estado en que se encontraba. En base a esto, el proyecto se realizó en dos partes fundamentales, una teórica y otra práctica; en la primera se utilizó diferentes fuentes de libros actuales en lo relacionado básicamente con los niveles de mantenimiento, las relaciones entre producción, mantenimiento y maquinaria, y algo relacionado con los índices de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad. La segunda parte se desarrolló al interior de la empresa con un estudiante vinculado, realizando el estudio y recopilando toda la información necesaria para llegar a la implementación y establecimiento del nivel instrumental.



## ABSTRACT

This project arose for the necessity of improving the maintenance structure in the company Artextil Ltda. with that which decided to carry out a preliminary study to known the weak points and the state in that it was. Based on this, the project was carried out in two fundamental parts, a theoretical one and another practice; in the first one it was used different sources of current books in that related basically with the maintenance levels, the relationships among production, maintenance and machinery, and something related with the indexes of reliability, maintainability and availability. The second part developed to the interior of the company with a linked student, carrying out the study and compiling all the necessary information to arrive to the implementation and establishment of the instrumental level.



## PALABRAS CLAVES

Mantenimiento/ Nivel instrumental/ Auditoría.



## KEY WORDS

Maintenance/ Instrumental level/ Audit.



## INTRODUCCIÓN

Las empresas en su búsqueda de aumentar la rentabilidad y competitividad requieren de equipos confiables y disponibles para realizar su producción, con el fin de atender oportunamente sus mercados, pudiendo de esta manera disminuir sus inventarios al mínimo posible y reducir drásticamente los costos de producción y mantenimiento; esto se logra mediante la implementación de adecuadas políticas y estrategias de mantenimiento, que alarguen la vida útil de la maquinaria, disminuyan los fallos repentinos y las paradas imprevistas (Aristizábal,1989), ( Dounce,1998).

Los procedimientos se logran mediante la estructuración de un sistema eficiente de mantenimiento soportado en: la motivación y capacitación del recurso humano de mantenimiento y producción; en un adecuado sistema de información de mantenimiento y en un proceso de costeo en tiempo real, lo que conduce a disminuir los valores de producción, de mantenimiento, lo cual por ende contribuye a aumentar la productividad de la empresa (Mora,2001).

La gestión de mantenimiento permite la creación de una dinámica de trabajo enfocada al mejoramiento continuo dentro de la empresa. Los métodos prospectivos son métodos científicos, pero por estar influenciados por la motivación y estado anímico de las personas al realizarlos, son susceptibles de estar sujeto a errores y no ser completamente infalibles, mas sin embargo, estos dan una perspectiva de cómo podrían ser las cosas para poder tomar decisiones a futuro (Molina,1995), (Blanco,1998), (Santana@,2000).

## CONCEPTOS BÁSICOS Y RECIENTES DEL MANTENIMIENTO

El área de mantenimiento pertenece al sistema fabril en general, y está estrechamente relacionado con el subsistema de producción, compartiendo un objeto con ésta, la máquina o equipos, se acepta universalmente que el cliente más relevante de mantenimiento es producción. A partir de este principio se definen sus acciones de servicios más relevantes (Aristizábal,1989).

La gestión de mantenimiento de quinta generación terotecnológica implica el desarrollo secuencial de cuatro niveles, (1) instrumental, (2) operacional, (3) táctico y (4) estratégico (Mora,2001).

La confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad son prácticamente las únicas medidas técnicas y científicas, fundamentadas en cálculos matemáticos, estadísticos y probabilísticos, que tiene el mantenimiento para su análisis (Mora y otros,2001).

## ESTUDIO DEL ESTADO ACTUAL DEL MANTENIMIENTO EN LA EMPRESA ARTEXTIL LTDA.

Un estudio preliminar exige una constante atención y vigilancia sobre los siguientes elementos administrativos: planes y objetivos, estructura orgánica, políticas y prácticas, sistemas y procedimientos,

métodos de control, formas de operación, recurso material y humano. Ésta debe manejar los siguientes parámetros de control:

**Economía:** condición sobre la cual se adquiere para la entidad recursos financieros, humanos y físicos, logrando de ello adquirirlos de excelente calidad, en una medida justa y con un costo adecuado.

**Eficiencia:** condición que se refiere a la relación de los bienes que se producen y los recursos que se utilizaron en pro de generarlos adecuadamente, buscando maximizar la producción con un conjunto dado de insumos.

**Eficacia:** efecto en el cual un programa logra sus objetivos, independiente de los recursos consumidos para lograr dicha meta. La eficacia se determina por el grado de cumplimiento de los objetivos, por lo que es necesario para poder determinarla, conocer un plan detallado de actividades donde exista una identificación clara y cuantificada de los logros. El proceso de control de la efectividad no es fácil, ya que éste varía de programa a programa, pero en cualquier caso se da como un porcentaje (%) de cumplimiento, midiendo, sea hechos o resultados (Koontz,1998), (Taylor,1987), (Quinto,1990).

El estudio preliminar cuenta con los siguientes pasos: planeación, ejecución e informe final. Esta herramienta de control es el fiel reflejo del cambio que ha venido sufriendo las empresas en un entorno competitivo, donde ya, no solo, es necesario revisar los procesos financieros y contables, sino también el desempeño de todos los departamentos de la compañía a fin de velar por el bienestar de la empresa (Ortiz,2001), (Quinto,1990).

## **PRIORIZACIÓN DE ACTIVIDADES DE CORTO PLAZO**

La priorización de actividades está fundamentada por los resultados obtenidos en la empresa Artextil Ltda. durante el proceso de recolección de datos y su respectivo análisis desarrollado en todo el proceso del estudio. Las actividades que se deben tener en cuenta para realizar dentro de ésta son enfocadas básicamente en 3 aspectos claves y específicos de la compañía como son: acción de costos de mantenimiento, acciones de métodos y preparación de trabajos y por último acciones en los inventarios de repuestos y catálogos de equipos.

A partir de este punto se empezarán a desarrollar las tácticas para poder organizar de una forma lógica y adecuada todo el departamento de mantenimiento de la empresa.

El estudio que se hace en Artextil Ltda. arroja un tablero de prueba el cual es la base para el desarrollo del proyecto. Este tablero muestra los temas que están por debajo del promedio, para así saber cuales son los que se deben mejorar.

## **DESARROLLO DE TÁCTICAS QUE AYUDEN A LA ORGANIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO**

Las tácticas que se desarrollan pretenden dejar las bases conceptuales de la gestión de mantenimiento en la empresa Artextil Ltda., a partir de las cuales definen las principales acciones y cambios que se deberán realizar al interior de ésta para obtener un mejoramiento general del departamento, definiendo claramente sus

alcances, limitaciones, ventajas y restricciones, a partir de los resultados obtenidos con la realización del estudio.

El departamento de mantenimiento es una pieza clave y fundamental en otorgar un apoyo a los sistemas de producción, y en la medida que producción obtenga metas se puede empezar a hablar de logro de objetivos. Por ello para poder llegar al final, se debe de empezar por corregir el principio, y éste es mantenimiento, entendido éste como el ente encargado de asegurar los planes de producción, y para ello los recursos con los que cuenta deben estar bien organizados, planeados y maximizados, con visión de adelantarse al futuro y poder mejorarlos continuamente (Alatrística, 2000).

## **INSTALAR SISTEMAS DE EVALUACIÓN PARA LAS ACCIONES TOMADAS**

Esta empresa empieza a crecer rápidamente por la gran demanda de clientes que necesitan estampar y teñir telas en cortos metrajés. Por lo tanto se tuvo la necesidad de invertir en nueva maquinaria para poder cumplir con la demanda que había. A partir de ese momento Artexil Ltda. empieza a sufrir un cambio drástico que es reflejado inmediatamente en la parte de mantenimiento, que pasó a convertirse en el departamento que mayor gastos tenía.

La empresa comienza a ver a mantenimiento en este momento como algo fundamental en las finanzas y en el buen funcionamiento de la empresa. Es ahí donde nace la idea de hacer el estudio para ver los puntos críticos de ésta. El estudio es realizado por una persona al interior de la empresa la cual es el encargado de la parte de mantenimiento. Luego de esto se analizaron los puntos críticos mostrando como principal problema la falta de un sistema que organizara y manejara la información del departamento.

La conclusión a la que se llegó en ese momento era adquirir un *software* no muy costoso pero que supliera las necesidades fundamentales para organizar el departamento y la empresa. Es cuándo, después de analizar muchos proveedores de *software* de mantenimiento, se llegó a la conclusión de adquirir el AM de la compañía Winsoftware y asociados.

## **CONCLUSIONES**

El factor que más peso tiene dentro de la gestión de mantenimiento de Artexil Ltda. es innovación y tecnología para la realización de los trabajos de mantenimiento, seguido de porcentaje de mano de obra utilizada en mantenimiento.

Se ve claramente como el *software* AM ha ayudado a la reorganización del departamento de mantenimiento facilitando la forma de adquirir la información y el almacenamiento de ésta.

El fin fundamental de este proyecto es dejar unas bases que permitan lograr un adecuado control y ejecución del mantenimiento en la empresa Artexil Ltda.

El proyecto muestra lo importante que es para una empresa el mantenimiento y su correcto funcionamiento debido a los ahorros que se han obtenido a partir de la instalación del sistema.

Se desarrolla el estudio de la empresa con el cual se llega al nivel instrumental del mantenimiento.

## **BIBLIOGRAFÍA**

ALATRISTA GIRONZINI, Miguel. (2000). Planeamiento de la auditoría.

ARISTIZÁBAL, Sergio y otros. (1989). Dirección y sistematización del mantenimiento. Medellín: Universidad EAFIT.

BLANCO, Illescas. (1989). El control integrado de gestión. México D.F: Editorial Grupo Noriega Editores. 254 p.

DOUNCE, E. (1998). La Productividad del mantenimiento Industrial. México D.F: CECSA.

MOLINA SANTANDER, Ramón Nicolás. (1995). Reflexiones acerca de la Auditoría Integral. Memorias del segundo congreso internacional de auditoría integral. Buenos Aires.

MORA, Luis. (2001). AUDIMAN. Programa para auditoría de mantenimiento. Medellín.

\_\_\_\_\_. (2001). Seminario terotecnológico, IPEMAN, Lima.

ORTIZ PLATA, Germán. (2001). Gestión de mantenimiento orientada por la terotecnología. Medellín: Universidad Eafit.

KOONTZ, Harold y WEIHRICN, Heinz. (1998). Administración: Una perspectiva global. México D.F.: Mc Graw Hill. 796 p.

QUINTO, Eduardo. (1990). La auditoría de mantenimiento. Un medio para mejorar resultados. Barcelona: Asociación Española de mantenimiento.

TAYLOR, Donald H. y GLEZEN, C. William. (1987). Auditoría: Integración de conceptos y procedimientos. México D.F.: Limusa. 983 p.

SANTANA URREGO, Miguel Hernán. (2000). Auditoría integral, sinónimo de revisoría fiscal. En: XVIII SIMPOSIO DE REVISORIA FISCAL. <http://www.actualicese.com/confisantana.html>. (Junio 25 de 2001).



ESCUELA DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA - 2003

**AUTORES**

CAROLINA RENDÓN VÉLEZ, [crendonv@eafit.edu.co](mailto:crendonv@eafit.edu.co)  
JESÚS ANTONIO MÁRQUEZ CAMACHO, [cjmarque4@eafit.edu.co](mailto:cjmarque4@eafit.edu.co)

**ÁREA DE ÉNFASIS**

MANTENIMIENTO DE SISTEMAS TÉCNICOS

**ASESOR PRINCIPAL**

Dr. Ing. GUSTAVO VILLEGAS LÓPEZ

**EMPRESA**

Universidad EAFIT



## **RESUMEN**

El presente artículo muestra la aplicación del sexto pilar de TPM, mantenimiento de la calidad en una empresa del medio, realizando seguimiento y evaluación de los diferentes procesos tratando de incrementar los indicadores que miden el desempeño de los mismos.



## **ABSTRACT**

The present article shows the application of one pillar of TPM, maintenance of the quality in a company, making pursuit and evaluation of the different processes trying to increase the indicators that measure the performance of those.



## **PALABRAS CLAVES**

TPM/ Mantenimiento de Calidad/  
Proceso/ Indicador.



## **KEY WORDS**

TPM/ Maintenance of the Quality/  
Process/ Indicators.

## 1. INTRODUCCIÓN

Hoy en día toda empresa desea mejorar sus procesos y por ende los productos, con el fin de crecer y de ser más competitiva en el mercado; esto puede lograrse con la realización de todos y cada uno de los pasos de mantenimiento de calidad. Luego de normalizar y documentar los procesos de ensamble dentro de una compañía, se propone la tarea de analizar que estos procesos se estén cumpliendo a cabalidad, con el firme propósito de que se evalúen los estándares y condiciones de calidad del producto, se definan, si es necesario criterios técnicos de calidad y plantear posibles mejoras al proceso para hacer que la efectividad incremente; todo lo anterior, después de prestar atención a diversas causas de pérdidas de tiempo y dinero que afectan directamente al proceso de ensamble.

Para facilitar el análisis entre la calidad de los equipos y procesos se investigarán las características de calidad, los tipos de defectos, las condiciones de entrada y los estándares para luego clasificarlos, relacionarlos con los subproceso de cada proceso y jerarquizarlos. El objetivo principal de este desarrollo es hacer propuestas para que el proceso sea más efectivo, que las fallas que eran frecuentes dejen de serlo y tratar que las fallas potenciales no lleguen a darse, todo esto se logrará aplicando o realizando paso a paso las actividades propuestas en el sexto pilar del TPM, Mantenimiento de la calidad, con el fin de apoyar toda la gestión que puede estar realizando la empresa para estar en continuo mejoramiento, o que sirva de primer eslabón para el proceso de certificación o normalización.

La metodología se concentrará primero en la recolección de los datos, y la observación del proceso de ensamblaje, luego identificar las posibles causas o tipos de defectos que hacen que el proceso sea menos ágil, para luego plantear soluciones viables a corto plazo y presentar como propuesta las de largo plazo y finalmente, se procede a realizar la evaluación de los resultados concretando el estudio con algunas recomendaciones, sugerencias y conclusiones.

## 2. SEXTO PILAR DE TPM: MANTENIMIENTO DE LA CALIDAD

La calidad depende progresivamente del control de las condiciones de los procesos que sean necesarios para llegar a un producto final; es por eso que para poder mantener la calidad de un macroproceso se requiere de un control operativo de esos procesos. Y es así que el mantenimiento de la calidad ha evolucionado hasta llegar a ser una de las principales actividades del TPM en gran parte de las industrias de fabricación y ensamble (JIPM, 1992).

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. Esta filosofía mejora los resultados de las empresas, creando lugares de trabajo seguros, agradables, productivos y amigables entre los operarios y las máquinas que ellos manejan. (Bodek, 1994). El mantenimiento de la calidad, pilar del TPM, busca relacionar todos los defectos del producto con perturbaciones de las entradas del proceso, mano de obra,

máquinas, métodos y materiales, con el fin de establecer parámetros y acciones que ayuden a prevenir defectos posteriores, en otras palabras tiene como intención instaurar las condiciones del proceso en un punto donde el “cero defectos” es alcanzable. Primero hay que clarificar las relaciones entre la calidad del producto y las condiciones de proceso para determinar así las condiciones precisas de proceso que se requieren para producir un producto perfecto y a asegurar estas condiciones (Maya y Jiménez, 2002).

En la siguiente figura se muestran los 4 inputs de la producción o 4M (máquinas, materiales, mano de obra o personas y métodos) como fuentes de defectos de calidad. Cuando se habla de establecer condiciones, significa fijar claramente el rango de condiciones de los materiales, equipos, métodos y operación que deben mantenerse para garantizar un producto perfecto. Luego, se buscan los componentes de cada M para que en ninguno existan partes que puedan causar defectos de calidad. Con estos componentes se crearán las M fiables para no producir estos desperfectos. Por último, se mantienen las condiciones y procesos libres de defectos con el fin de garantizar la calidad en los productos.

Los pasos para que se llevan a cabo para este desarrollo son:

**Paso 1:** Preparar una matriz QA (Aseguramiento de la calidad). Se prepara una matriz QA mediante un proceso de cuatro pasos:

- Se investigan los tipos de defectos que ocurren en cada proceso.
- Se clasifican las características de calidad del producto con precisión y se identifican todos los tipos de defectos relacionados con cada característica.
- Se clasifican y ordenan los tipos de defecto de acuerdo con su gravedad y se indican cuáles han causado problemas en el pasado, sean frecuentes u ocasionales.
- Hay que dividir el proceso en las unidades más pequeñas posibles (subprocesos) e indicar las relaciones entre esas y los tipos de defectos.

**Paso 2:** Analizar las condiciones inputs-producción. Después de preparar la matriz QA se analizan las condiciones inputs-producción (las 4M) y se organizan los datos en un formato de tabla. Para cada tipo de defecto en cada subproceso, se identifican todas las condiciones de equipos, materiales, personas y métodos que, cuando se establecieron, no daban lugar a defectos. Hay que asegurar que las condiciones se verifiquen en sus propios lugares. Luego se investiga si existen estándares para estas condiciones de calidad y si el personal los sigue. Se investiga el nivel de estandarización y su cumplimiento mediante observación en el lugar de trabajo.

**Paso 3:** Preparar cuadro de problemas. Se prepara un cuadro de problemas listando todas las irregularidades del proceso por tipo de problema. Hay que considerar cualquier subproceso para el que el análisis de condiciones inputs-producción haya revelado que no esté apropiadamente estandarizado. Se investigan los problemas observados y se proponen contramedidas. En el caso de los problemas simples, se decide la acción a tomar, se asignan responsabilidades y se actúa prontamente. Para los problemas más complejos, se registran con precisión los métodos de investigación y resultados, pero no se toman soluciones apresuradas. Para estos problemas, se usa el análisis FMEA para ordenar los tipos de defectos, de acuerdo con la gravedad de sus efectos y poder así priorizar los problemas a resolver.

**Paso 4:** Evaluar la severidad – Realizar FMEA. En este análisis se examinan los problemas sobre el cuadro anterior y se ordenan en función de sus defectos. A continuación, se priorizan los problemas puntuando su frecuencia, efecto, y dificultad de detección. Los criterios de evaluación se habrán determinado por anticipado. Se multiplican las tres puntuaciones de cada problema obteniéndose un número que prioriza los problemas a mejorar.

El propósito de la técnica de modos de fallas y análisis de efectos con sus causas y criticidades (FMECA) es que el equipo entero del desarrollo de producto identifique los sistemas, el diseño y los procesos y los componentes de fabricación, los ensamblajes y los sub-ensambles parciales, que estarán conforme a análisis de FMEA cuyo responsable del proceso entero es el jefe de área mismo (Harris,1994,10-13). Las metas que se pueden determinar son diversas según los varios pasos del proceso (Stamatis,1995,363).

El TPM, la calidad y, conjuntamente, el FMECA se enfocan para llegar a un solo fin que es el mejoramiento de las condiciones de un proceso en el mantenimiento: mantenibilidad, confiabilidad y disponibilidad (Mora, 2003).

**Paso 5:** Usar el análisis P-M para implantar acciones de mejora. El análisis P-M, es un método utilizado para estudiar los fenómenos que ocurren en un proceso, clarificando su principio físico y las condiciones que lo producen, analizándolo de tal manera que se relaciona con las 4M para determinar así unas condiciones óptimas. Para los problemas más desafiantes, se utiliza el análisis PM para clarificar los fenómenos observados y desarrollar propuestas de mejora. Al aplicar el análisis P-M, se analiza cuidadosamente y se considera y se estudia el fenómeno en función de los principios físicos, dirigiéndose el plan de mejora en la dirección correcta mediante chequeos, análisis y medidas:

- Se comienza estratificando el fenómeno en función de su tipo y modo de ocurrencia. Se analiza físicamente, y se identifican las condiciones que lo producen.
- Hay que asegurar que se descubren y consideran todas las condiciones necesarias para que se dé un problema dado. Si los procesos de mejora pasan por alto alguna condición vital en esta fase, el resultado puede ser que se falle en la eliminación de los defectos, incluso después de confirmar y eliminar numerosas causas.
- Se listan cuidadosamente todas las condiciones que pueden producir el fenómeno, cualquiera que sea su magnitud.

**Paso 6:** Evaluar el efecto de las medidas propuestas FMEA. Se usa el FMEA de nuevo para evaluar los efectos de haber puesto en práctica las propuestas de mejora basadas en el análisis P-M y los demás resultados de la investigación.

**Paso 7:** Implantar las mejoras. (Suzuki, 1994)

La figura es un diagrama de flujo que ilustra los pasos para practicar un programa de mantenimiento de calidad. Este diagrama muestra, además de los pasos realizados en este proyecto, la retroalimentación a partir de la puesta en práctica de las actividades y estrategias propuestas en el capítulo

### **3. EVALUACION DE RESULTADOS Y PROPUESTAS**

Luego de haber puesto en práctica todo el procedimiento de mantenimiento de calidad, existen aspectos a considerar como una evaluación de resultados de cada paso de la práctica de mantenimiento de calidad, propuestas de estándares de operación, incluyendo formatos, que pueda llevar a mejorar las condiciones de calidad y a disminuir los defectos, pero estos resultados varían obviamente de una empresa a otra; por último, pueden establecerse indicadores de calidad que puedan ayudar a llevar un seguimiento de los defectos y las condiciones de calidad de los productos y que, así como los estándares de operación propuestos, ayuden a mejorar las condiciones de calidad y a disminuir tiempo y cantidad de reprocesos.

Dentro de los indicadores de calidad que puedan ayudar a llevar un seguimiento de las características, los defectos y los tiempos de reprocesos están:

**Cantidad de reclamos por problemas de ensamble:** Como su nombre lo indica es la cantidad de reclamos por garantía realizados por problemas de ensamblaje en la maquinaria, sobre la cantidad de garantías totales mensuales.

**Cantidad en tiempos de reproceso:** Con el fin de conocer cuáles son los reprocesos que durante un mes demandan mayor cantidad de tiempo se creó este indicador.

**Cantidad de desperdicios:** Porcentaje de kilogramos de material de desperdicio sobre la cantidad de material pedido por semana para ensamble. Costos por reclamos de ensamble: Número de reclamos por garantía sobre el número total de unidades producidas durante un mes.

**Cantidad de devoluciones:** Es el dinero que representan las devoluciones sobre las ventas totales de la empresa en un determinado tiempo.

**Costos por garantía:** Es la cantidad de dinero que representan las garantías sobre las ventas totales de la empresa.

## CONCLUSIONES

Al realizar las matrices dentro de cada uno de los pasos expuestos se puede conocer y analizar el estado en el cual se encuentran los estándares de operación de los procesos de ensamble. Se debe crear la conciencia adicionalmente en todo el personal de la empresa para que utilicen y cumplan con dichos estándares, pues no siempre existirán las mismas condiciones y cuando se encuentren bajo la necesidad de tomar una decisión, estos podrán ser de gran ayuda para evitar fallos o reprocesos. Al analizar todos y cada uno de los defectos y los tiempos de reproceso, se deben tener en cuenta todos los niveles del personal de la empresa para su estudio y posterior planteamiento de mejora, ya que cuando se estudiaron y determinaron los responsables de algunas mejoras, se encontró que desde el nivel de los operarios hasta el de los jefes de departamento, son responsables de las nuevas acciones propuestas que conllevan a mejorar un estándar de operación que pueda disminuir los fallos y los tiempos de reproceso en el proceso de ensamble.

Es necesario que el personal operario y de pruebas esté conciente de que sus aportes a las nuevas propuestas son vital, ya que son ellos quienes con su diario laborar encuentran sugerencias y nuevas ideas para los estándares, sosteniendo así mediante el mejoramiento continuo, la práctica del mantenimiento de calidad. Esto, dentro del contexto de mejorar los procesos, como herramienta de su práctica de ensamble, se trataría de un mantenimiento autónomo del proceso que realiza el operario, optimizando así cada vez su herramienta de trabajo que en este tipo de industria es el proceso y el subproceso.

La respuesta de las implementaciones se puede observar luego de otro período después de la puesta en marcha de las nuevas prácticas, ya que será un modo de comparar un antes y un después para ver si los indicadores de calidad propuestos arrojan una alta disminución de los defectos en el proceso de ensamble.

Es importante tener en cuenta que para tener resultados que muestren un gran cambio, se deben atacar primero los defectos de mayor trascendencia, pues es probable que de un porcentaje bajo de defectos se puedan reducir a más de la mitad el tiempo de reprocesos y reducir a una cuarta parte la cantidad de defectos presentados en el período analizado.

La práctica de mantenimiento de la calidad permite analizar que los procesos se estén cumpliendo correctamente, además de que los indicadores sirvan de retroalimentación oportuna y confiable que permita observar el progreso del área de ensamble, que los estándares se sigan y que finalmente se garantice la calidad del producto final, por otra parte, se puede llegar a que las fallas más frecuentes dejar de serlo y que las potenciales se eviten, ratificando si las características de calidad predeterminadas por la empresa son las mejores para los procesos, con el fin de mejorar el mismo y hacer que este sea eficiente y eficaz, y se vea reflejado en la productividad de la empresa, que es el mayor y más grande objetivo de toda organización.

## **BIBLIOGRAFÍA**

Hartmann, Edward. Sucesfully installing TPM. Estados Unidos: Editorial Jostens, 1992.

López, Edwin y SALAZAR, Carlos. Aplicación de conceptos del MPT en una línea de producción del medio. Medellín, Antioquia, Colombia: Universidad EAFIT, Biblioteca, 1996.

Ortiz Plata, Germán – MORA GUTIERREZ, Luis. Memorias curso CEC Metodología de análisis de fallas y causa raíz en mantenimiento, 2003.

Silva, Pedro Eliseo. Curso de análisis de fallas. ACIEM Bogotá, 2003. Suzuki, Tokutaro. TPM for process industries. Edwards Brothers, 1994.

Tsuchiya, Seiji. Mantenimiento de calidad. Productivity Press. Portland OR, USA, 1995.

Villegas, Gustavo. Notas de clase de la materia Mantenimiento Productivo Total. Medellín, Antioquia, Colombia: Universidad EAFIT, 2002.

CERO (2003). Pilar: Mantenimiento de Calidad(Hinshitsu Hozen). Cero averías. <http://www.ceroaverias.com/tpm/mantenim.htm> (Junio 30de 2003)

HME (2003). Herramientas de Manufactura Esbelta. México .<http://www.lean-6sigma.com/id47.htm> (Julio 21 de 2003)

JIPM (2003). Japan Institute of Plant Maintenance. <http://www.jipm.com> (Mayo 28 de 2003)

TPM (2003). Mantenimiento Productivo Total. <http://www.gratisweb.com/mordoc/> (Julio 15 de 2003)



ESCUELA DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA - 2003

**AUTORES**

ALEJANDRO FRANCO ZULUAGA, [gafra@engineer.com](mailto:gafra@engineer.com)  
MAURICIO TOBÓN CORREA, [maurotobon@engineer.com](mailto:maurotobon@engineer.com)

**ÁREA DE ÉNFASIS**

MANTENIMIENTO DE SISTEMAS TÉCNICOS

**ASESOR PRINCIPAL**

Ing. NELSON MAZO

**EMPRESA**

Alico S. A.



## RESUMEN

Este artículo es el resultado de la implementación de un sistema de medición de índices, realizado en una empresa de empaques plásticos flexibles para productos alimenticios (Alico S.A., Medellín Colombia). El presente artículo se desarrolla en seis secciones:

1. Datos de producción y mantenimiento para realizar mejoras en busca de la aplicabilidad de los datos.
2. Establecimiento de los niveles necesarios de jerarquización de los equipos y la empresa.
3. Teoría para llevar a cabo la correcta organización de los datos.
4. Introducción a la teoría necesaria para llevar a cabo los respectivos cálculos para obtener los índices.
5. Explicación de los parámetros a considerar a la hora de definir estrategias derivadas del cálculo.
6. Definición teórica de la importancia de llevar a cabo cálculos del beneficio económico de la implementación de las estrategias.



## ABSTRACT

This article is the result of the implementation of an indexes measurement system fulfilled in a plastic flexible packings for nourishing products company (Alico S.A., Medellin Colombia). The present article develops in six sections:

1. Production and maintenance data in order to make improvements towards the applicability of the information.
2. Establishment of the equipments and company hierarchical structuring necessary levels.
3. Necessary theory to carry out the correct organization of the information.
4. Introduction of the theory necessary to carry out the respective calculations in order to obtain the indexes.
5. Explanation of the parameters in consideration at the moment of definition of the strategies derived from the calculation.
6. Theoretical definition of the importance of carrying out calculations about the economical benefit of the strategies implementation.



## PALABRAS CLAVES

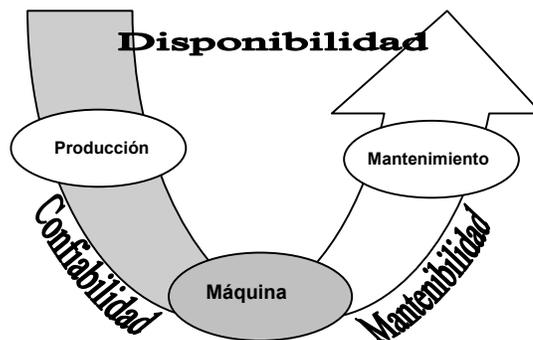
Confiabilidad, Mantenibilidad, Disponibilidad.

## INTRODUCCIÓN

Las organizaciones industriales existen para generar un beneficio; usan equipos y mano de obra para transformar materias primas en productos acabados de mayor valor (KELLY, 1998, p.1).

Los costos de improductividad deben ser reducidos y por esto es que en la década de 1990 a 2000 se ha incrementado la dependencia entre la rentabilidad y el esfuerzo de mantenimiento; se trata de realizar un trabajo de mantenimiento más sofisticado, pero esto implica un mayor costo (KELLY, 1998, p.2). Es por eso que el CMD\* es una herramienta propia para las industrias, por ser un sistema de medición que arroja resultados y conclusiones de cómo se deben afrontar los problemas de mantenimiento.

### CMD.



MORA, Luis. Mantenimiento industrial. En: SEMINARIO DE MÉTODOS MODERNOS DE MEDICIÓN Y APLICACIÓN DE CONFIABILIDAD MANTENIBILIDAD DISPONIBILIDAD -CMD- (2002 : Medellín, Alico S.A.). Diapositiva CMD 1. Medellín. 2001.

Todas las técnicas modernas de mantenimiento como son el RCM, TPM, mantenimiento proactivo, combinado, Word Class y otros, se encuentran soportados bajo la metodología CMD.

El mantenimiento está directamente relacionado con la prolongación o la recuperación de las funciones de la maquinaria; sus objetivos son prevenir eventos indeseables y evitarlos, recobrar para el servicio los mecanismos que han fallado y, en general, asegurar su disponibilidad adecuada para la producción.

La experiencia demuestra que cualquier máquina o equipo sufre a lo largo de su vida una serie de degradaciones. Si no se evitan, o eliminan una vez aparecidas, el objetivo para el que se crearon no se alcanza plenamente, su rendimiento disminuye y su vida útil se reduce. Esto lleva a pensar que cualquier instalación necesita alguien que la maneje pero también alguien para poderla reparar.

---

\* Confiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad

Una buena gestión de mantenimiento es condicionada a una adecuada selección de las políticas de mantenimiento, para lo que es fundamental conocer el comportamiento de la tasa de falla en el tiempo de los equipos.

En general la bibliografía especializada establece que el comportamiento de la tasa de falla en el tiempo es del tipo bañera y que para sistemas complejos es prácticamente constante (ARATA, 2002). Es por esto que la implementación del CMD esta precedida de un análisis de la curva de la bañera, en cada subsistema de la máquina, para poder distinguir en que etapa se encuentra y así seleccionar el mejor mantenimiento para este.

## 1. DOCUMENTACIÓN

En cualquier situación en la cual se requiera de un cálculo por medio de fórmulas con datos recopilados, se debe tener en cuenta que los resultados dependen directamente de la forma de adquisición de los datos. La no veracidad de la información genera cálculos incorrectos que conllevan a tomar decisiones equívocas.

La información requerida para los modelos de cálculos, se extrae de dos departamentos diferentes, de producción (tiempos perdidos) y de mantenimiento (tiempos de reparación). Es de gran importancia llevar a cabo el estudio de cómo se manipulan los datos para conocer el estado de estos y su aplicabilidad.

## 2. CARACTERIZACIÓN

Para el propósito del análisis, una forma de tratar plantas grandes y complejas es estableciendo una jerarquía de partes, clasificadas acorde a sus funciones y reemplazabilidad (KELLY, 1998, p.40). La falta de la buena caracterización de una máquina hace que la información de la confiabilidad no este muy bien enfocada, mirándolo desde la máquina y no desde el elemento.

**FIGURA 2**  
**Niveles jerárquicos**



KELLY, A. y HARRIS, M. Gestión del mantenimiento industrial. España: Fundación Repsol, 1998, p.40

## 3. ORGANIZACIÓN DE DATOS

La manipulación de los datos debe ser realizada de la mejor manera posible para evitar pérdidas de información, así a la hora de realizar cálculos no se tiene incertidumbre de su veracidad.

Para realizar una correcta manipulación de datos es necesario conocer las definiciones de los términos necesarios, ya que estos dan una idea clara de cuales son los datos que se necesitan en cada caso.

### 3.1 Confiabilidad

Es 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 que se definen. La frecuencia con que se presentan las fallas en los componentes es  $\lambda$  y se expresa en fallas / hora, la inversa de  $\lambda$  es  $1/\lambda$  (horas / falla) que tiene como significado el tiempo medio entre fallas o MTBF sigla en inglés que significa Mean Time Between Failures. (GONZALES, 2000, p.9)

### 3.2 Mantenibilidad

La mantenibilidad de un equipo es la probabilidad de que un dispositivo sea devuelto a un estado en el que pueda cumplir su misión en un tiempo dado, luego de la aparición de una falla y cuando el mantenimiento es realizado en un determinado período de tiempo, al nivel deseado de confianza, con el personal especificado, las habilidades necesarias, el equipo indicado, los datos técnicos, manuales de operación y mantenimiento, el departamento de soporte de mantenimiento y bajo las condiciones ambientales especificadas.

El tiempo medio de reparación (MTTR) es la medida más común de mantenibilidad. Es el tiempo promedio requerido para la realización del mantenimiento correctivo sobre todos aquellos elementos pertenecientes a un sistema. Éste analiza qué tiempo toma una reparación o una tarea de mantenimiento en ser realizado en el momento en que el sistema falla (GONZALES, 2000, p.14).

### 3.3 Disponibilidad

Es la probabilidad de que el equipo esté operando satisfactoriamente en el momento en que sea requerido después del comienzo de su operación, cuando se usa bajo condiciones estables, donde el tiempo total considerado incluye el tiempo de operación, tiempo activo de reparación, tiempo inactivo, tiempo en mantenimiento preventivo (en algunos casos), tiempo administrativo y tiempo logístico.

La disponibilidad es la probabilidad de que un elemento o sistema este en un estado de operación en cualquier momento y se basa en la combinación de MTBF y MTTR (GONZALES, 2000, p.18).

## 4. CÁLCULOS

Nomenclatura utilizada:

- pdf.** Función de densidad de probabilidad de fallas.
- Am.** Parámetro de escala para MTTR (Unidades de tiempo).
- $\eta$ .** Parámetro de escala para MTBF (Unidades de tiempo).
- Bm.** Parámetro de forma para MTTR (Adimensional).
- $\beta$ .** Parámetro de forma para MTBF (Adimensional).
- $\gamma$ .** Parámetro de localización para MTBF (Unidades de tiempo).
- $\Gamma$ .** Función Gamma (Adimensional).
- $\bar{T}$ .** Tiempo medio entre fallas (Unidades de tiempo).

### 4.1 Distribución Weibull

Es una expresión semi-empírica muy útil, desarrollada por el matemático sueco Waloddi Weibull en el año 1951, aplicada en su estudio de resistencia a la fatiga del acero, cuando trataba de encontrar una distribución que describiera la expresión de confiabilidad en rodamientos de bola (MORA, 1999, p.45).

**Función de densidad de probabilidad de fallas.**

$$f(T) = \frac{\beta}{\eta^\beta} (t - \gamma)^{\beta-1} \exp \left[ - \left( \frac{t - \gamma}{\eta} \right)^\beta \right]$$

**Fuente:** O'CONNOR, Patrick. Practical Reliability Engineering. USA, New York. John Wiley & Sons, Inc. 1989, p.45.

Las ecuaciones a utilizar pertenecen a la distribución Weibull, usada generalmente en confiabilidad y análisis de datos de vida debido a su versatilidad. Para el desarrollo de esta tesis se utilizó la función de Weibull por las siguientes razones (TORO, 2001, p.76).

- Es la única distribución que puede emplearse para representar cualquiera de los tres periodos típicos de una máquina: mortalidad infantil (disminución de la tasa de fallas), vida útil (falla puramente aleatoria y constante) y desgastes (aumento de la tasa de fallas) (KELLY, 1998, p.24).
- Seleccionando adecuadamente los valores de los parámetros, es posible obtener mejores ajustes que los obtenidos en otras distribuciones. Cabe aclarar que los datos deben ser evaluados con pruebas estadísticas, como la de Kolmogorov-Smirnov, que demuestra si los datos en realidad se acomodan a la distribución Weibull (ROJAS, 1975, p.58-63).
- Técnicas gráficas sencillas para su operación (KELLY, 1998, p.24).
- Tiempo medio entre fallos. El significado de  $\bar{T}$ , también llamado MTTR o MTBF de una distribución Weibull pdf, está dada por:

**Tiempo medio entre fallos, reducido**

$$\bar{T} = \eta \cdot \Gamma \left( \frac{1}{\beta} + 1 \right)$$

**Fuente:** RELIASOFT, Corporation. Weibull Statistical Properties Distribution [en línea]. 2000. [citado en enero del 2003]. Disponible en Internet: < [http://weibull.com/LifeDataWeb/weibull\\_statistical\\_properties.htm](http://weibull.com/LifeDataWeb/weibull_statistical_properties.htm)>

**4.2 Metodología para obtener los parámetros**

- Definir rango de media: La media de rango sirve para obtener las posiciones del trazado del gráfico de Weibull y es el primer paso para resolver la distribución. En la práctica, quizás solo se tenga la oportunidad de medir un número reducido de tiempos de fallo. De hecho, los elementos examinados podrían ser grandes, caros y de baja tasa de fallo, y en este caso, probablemente solo podrían probarse unos pocos. Es entonces apropiado usar una técnica basada en rangos de medianas para hallar la distribución de los fallos (fallos acumulados) (KELLY, 1998, p.31).

**Media de rango.**

$$\text{Media de rango} = \frac{i - 0.3}{N + 0.4} \times 100$$

**Fuente:** RELIASOFT, Corporation. Probability Plotting for the Weibull Distribution [en línea]. 2000. [citado en enero del 2003]. Disponible en Internet: < [http://weibull.com/LifeDataWeb/probability\\_plotting\\_weibull.htm](http://weibull.com/LifeDataWeb/probability_plotting_weibull.htm)>

Donde *i* es el orden de número de fallas y *N* es el total del tamaño de la muestra.

- Regresión lineal: es necesario tener una línea recta matemáticamente puesta en un set de datos de puntos como la suma de los cuadrados en una desviación vertical desde los puntos hacia la línea minimizada. Esto es en esencia el método de la probabilidad de trazado, excepto que utilizamos el principio de los mínimos cuadrados para determinar la línea entre los puntos.

Luego de obtener el MTBF y el MTTR se procede a calcular la disponibilidad funcional (DUFFUAA, 2000, p.41), por medio de la ecuación de disponibilidad inherente.

**Disponibilidad inherente (ESREDA, 1997, p.124)\*.**

$$\text{Disponibilidad} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

---

\* Es la habilidad de la máquina frente al tiempo de operación.

**Fuente:** TORO, Juan y CÉSPEDES, Pedro. Metodología para medir confiabilidad, mantenibilidad, y disponibilidad en mantenimiento. Colombia, Medellín. 2001, p.97. Trabajo de grado (Ingeniero mecánico). Universidad EAFIT de Medellín, Colombia. Facultad de ingeniería mecánica.

#### 4.2.2 Parámetro de forma

Dependiendo de los valores de los parámetros, la distribución Weibull puede ser usada como modelo de variación de comportamientos de vida de máquinas.

El parámetro  $\beta$ , de la distribución Weibull, es también conocido como la pendiente. Esto es por que el valor de  $\beta$  es igual a la pendiente de la regresión lineal en un gráfico de probabilidad. Diferentes valores del parámetro de forma pueden tener efectos en el comportamiento de la distribución. Algunos valores del parámetro de forma pueden causar que la ecuación de la distribución quede reducida a otras distribuciones.

#### 4.2.3 Metodología de análisis del parámetro beta

Para encontrar las estrategias necesarias, se debe ubicar el beta en la curva de la bañera, de donde se desprenden diferentes conclusiones de cómo debe ser la manera más óptima para enfrentar la gestión del mantenimiento.

**CUADRO 1**  
**Características de beta**

Valor de beta	Características
$0 < \beta < 1$	Tasa de falla decreciente (Mortalidad infantil)
$\beta = 1$	Distribución exponencial, tasa de fallo constante. (Vida útil)
$1 < \beta < 2$	Tasa de falla creciente, cóncava. (Desgaste)
$\beta = 2$	Distribución Rayleigh. (Desgaste)
$\beta < 2$	Tasa de falla creciente, convexa. (Desgaste)
$3 \leq \beta \leq 4$	Tasa de falla creciente, aproximación a distribución Normal, simétrica. (Desgaste)

**Fuente:** EBELING, Charles E. An introduction to Reliability and Maintainability engineering. New York, NY, USA. Editorial McGraw-Hill Companies, Inc. 1997, p. 64. Citado por: MORA, Luis, Metodología para medir confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad en mantenimiento. 2001, p. 47.

## 5. ESTRATEGIAS

La gestión de mantenimiento en una empresa se realiza dependiendo de la importancia que tenga un paro de una máquina, que consecuencias traiga en el sistema productivo y dependiendo también de la ruta crítica del proceso.

El programa de mantenimiento en las empresas esta a cargo del jefe de mantenimiento, esta persona realizará un programa según sus conocimientos y las necesidades de la empresa, ya sea correctivo, preventivo, predictivo u otro.

Luego de obtener los resultados de los cálculos y de la tasa de fallas, se realiza un análisis del beta obtenido y se desarrollan estrategias y acciones basadas en la metodología de análisis del parámetro beta.

## 6. BENEFICIO

Después de la implementación del CMD, el paso a seguir es evaluar los resultados de la implementación, midiendo diferentes factores como son la eficacia, la eficiencia y el beneficio económico que se aporte a la empresa. La importancia de medir el beneficio para la empresa radica en que los costos son un sistema de información para medir la gestión del mantenimiento.

El concepto "Costeo" se refiere a un proceso que ocurre en un sistema de información y que lo refleja en una cifra que pretende mostrar el desempeño puntual de una gestión y que en el tiempo permite inferir una tendencia de utilización de recursos (SOPORTE, 2003).

Según estudios elaborados dentro de algunas compañías de importancia en el mercado local, los costos asociados al mantenimiento de sus plantas productivas y a las actividades logísticas del almacenamiento y la distribución llegan a significar entre un 40% y un 60% de los costos totales en la manufactura del producto que elaboran. De tal manera que cualquier instancia en mejorar la administración de estas áreas dentro de la empresa, significará obtener reducciones en sus costos asociados, conllevando en una disminución de los costos de producción de un bien y haciendo más competitiva su comercialización dentro del mercado (SABIONCELLO, 2003).

## CONCLUSIONES

- Un jefe de mantenimiento debe ser un administrador innato. Acerca de la administración, la teoría señala los pasos necesarios para administrar, que son: planear, organizar, dirigir y controlar. Por lo cual es necesario, para un jefe de mantenimiento, poder medir la gestión del desempeño de su labor, para controlarla y de esta manera llegar a mejorarla.
- El exceso de indicadores o su defecto, puede generar distorsiones en el análisis y las estrategias a tomar.
- No se puede asegurar que un tipo de mantenimiento es mejor o superior a otro, para cada empresa o para cada máquina, existen varios tipos de mantenimiento para cada caso en especial, dependiendo del costo o de la tecnología que se maneja, o dependiendo también del estado en el que se encuentra dicho equipo.
- La administración o manipulación de la información es vital en un proceso de medición, por que de esto depende que las decisiones que se tomen, con base en los resultados, sean las correctas.
- El proceso por el cual pasan los datos, desde que se adquieren, hasta que se almacenan o se manipulan en un software, puede tener errores por la excesiva manipulación; mientras más corto el proceso por el cual pasan los datos, más veraces serán.
- Una base de datos debe ser de fácil acceso, para realizar consultas u otros tratamientos por parte del personal de la empresa, pero a su vez, debe ser segura para evitar daños o modificaciones en estas.
- Un departamento de mantenimiento debe realizar análisis de los fallos para conocer sus causas, que consecuencias conllevan, su criticidad y su frecuencia de aparición, para realizar un adecuado plan de mantenimiento.
- A la hora de realizar informes de reparaciones, es necesario identificar en que sistema de la máquina se realizó la intervención, o si es posible identificar subsistemas o elementos, para llegar a planear un mantenimiento dirigido directamente a la raíz del problema o tener la posibilidad de evaluar los sistemas, independiente de la máquina que sea.
- Para caracterizar correctamente una máquina, es necesario tener claros todos los conceptos de jerarquía que tiene esta, y también los conceptos de sistemas en serie o en paralelo.
- La confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad son características inherentes de un sistema, que determinan directamente la presencia de fallos.
- La confiabilidad permite conocer en que estado se encuentra la máquina y de esta forma programar la carga de trabajo por parte de producción, y a su vez sirve para conocer el estado en que se encuentra y luego poder establecer políticas de mantenimiento adecuadas o rediseño de esta.
- La mantenibilidad es una herramienta que proporciona información necesaria para saber en que momento se deben realizar mejoras de diseño o en que momento debe ser reemplazada una máquina.
- El Excel es una herramienta apropiada para la realización de los cálculos de CMD, porque todos los datos se encuentran en este formato, y además sus resultados son una buena aproximación a los que arroja el software Weibull ++ 5.
- El método gráfico para el cálculo de los parámetros es adecuado, pero no sirve para la implementación del sistema de medición de CMD, debido a que es muy lento su proceso y puede generar errores porque depende de la visión, en cambio una hoja de Excel es un método más rápido y preciso.
- La función de tasa de fallas es esencialmente importante porque permite establecer políticas de mantenimiento adecuadas.

- El parámetro de forma ( $\beta$ ) de la distribución Weibull, es la pendiente de la gráfica  $F(t)$  vs. tiempo en hoja log-log. Este parámetro sirve para indicar cual es el tipo de mantenimiento más adecuado para la máquina evaluada al ser comparado con la curva de la bañera.
- El tamaño de la muestra (cantidad de datos) esta directamente relacionado con la precisión de los cálculos, a mayor muestra, mayor precisión.
- Es necesario, para un correcto cálculo del MTBF, tener los intervalos de tiempo entre cada una de las fallas, un cálculo realizado con promedios, genera incertidumbre en los resultados.
- Para la correcta medición del MTTR, es necesario conocer la duración de cada una de las fallas, para evitar errores de aproximación con promedios. El Software A.M. genera reportes que se pueden personalizar, de esta forma se logran conocer con exactitud la duración de cada una de las fallas.
- El cálculo del MTBF puede ser utilizado para definir las frecuencias adecuadas en la programación de los mantenimientos preventivos. También es posible realizar un análisis de fallas por medio de este indicador.
- La gestión de mantenimiento de una empresa, siempre dependerá de varios factores, de los cuales, los más relevantes son: los objetivos de la empresa, el programa de certificación de la calidad, y el tipo de tecnología que se tiene en las máquinas.
- La comunicación entre los departamentos de producción y mantenimiento es de gran importancia, para realizar una correcta programación tanto de los mantenimientos como de la programación de producción. Los dos departamentos deben sincronizar su trabajo.
- Para realizar la medición de la eficacia, se debe tener en cuenta los objetivos que se plantearon y en que medida se cumplieron. También se puede conocer el aumento de la eficacia, comparando las mediciones antes y después.
- Es necesario realizar un análisis de costos de mantenimiento en el tiempo, para realizar una comparación de un período con respecto a otro, y así obtener la eficiencia de la implementación.
- En la efectividad se deben tener en cuenta los recursos limitados, y comparar la efectividad antes y después, para hallar el aumento de una medición con respecto a la que siguió.

## **BIBLIOGRAFÍA**

ARSENAULT, J.E. y ROBERTS J.A. Reliability & Maintainability of Electronic Systems. Potomac, Maryland, USA. Computer Science Press, Inc. 1980.

AVILA, Rubén. Fundamentos de Mantenimiento: Guías Económicas, Técnicas y Administrativas. México D.F., México. Editorial Limusa S.A. 1992.

BASS, L. Products liability; Design and manufacturing defects. Colorado Springs. Shepard's/McGraw-Hill. 1986.

BERTALANFFY, Ludwig. Teoría general de los sistemas. Colombia: Fondo de cultura económica, 1976, p. 233-261.

BLANCHARD, B. Life cycle costing. A review. USA. 1979.

- BURINGTON, Richard S. Handbook of mathematical tables and formulas. Mc. Graw Gil, 1958.
- DAVIDSON, John. The Reliability of Mechanical Systems, Mechanical Engineering Publications Limited for The Institution of Mechanical Engineering's, Londres. 1988
- DÍAZ, Ángel. Confiabilidad en mantenimiento. Caracas, Venezuela. Ediciones IESA. 1992.
- DOUNCE, E. La productividad del mantenimiento industrial. Segunda edición. México. CECSA. 1998
- DUFFUAA, Salih; RAOUF, A. y DIXON, John. Sistemas de mantenimiento. México: Limusa. S.A., 2000.
- EBELING, Charles E. An introduction to Reliability and Maintainability engineering. New York, NY, USA. Editorial McGraw-Hill Companies, Inc. 1997, p. 64. Citado por: MORA, Luis, Metodología para medir confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad en mantenimiento. 2001.
- ESREDA, Handbook on Maintenance management. Noruega: Managing Risk, 2001.
- GONZÁLES, Claudio y ZAMBRANO, Alejandro. Aproximación al control estratégico de mantenimiento mediante indicadores CMD estándares internacionales. Medellín, 2000. Trabajo de grado (Ingeniero mecánico). Universidad EAFIT de Medellín, Colombia. Facultad de ingeniería mecánica.
- HENAO, Carlos y Arias, Gloria. Aproximación al estudio del Mantenimiento: Guía Conceptual, Medellín Colombia, 2001. Proyecto de grado (Ingeniería Mecánica) Universidad EAFIT, departamento de ingeniería mecánica, área mantenimiento.
- IRESON, W. Grant. Reliability Handbook. New York, NY, USA. Editorial McGraw-Hill Companies, Inc. 1966.
- KAPUR, K.C. y LAMBERSON L.R. Reliability in Engineering Design. New York, NY, USA. John Wiley & Sons, Inc. 1977.
- KECECIOGLU, Dimitri. Maintainability, Availability, & Operational Readiness Engineering. Upper Saddle River, NJ, USA. Editorial Prentice Hall Inc. 1995.
- KELLY, Anthony y Harris, M.J. Gestión del mantenimiento industrial. Fundación Repsol. Madrid. España. 1998.
- KNEZEVIC, Jezdimir. Mantenimiento, citado por: TORO, Juan y CÉSPEDES, Pedro. Metodología para medir confiabilidad, mantenibilidad, y disponibilidad en mantenimiento. Colombia, Medellín. 2001. Trabajo de grado (Ingeniero mecánico). Universidad EAFIT de Medellín, Colombia. Facultad de ingeniería mecánica.
- KOPETZ, H. Software Reliability. Londres, Inglaterra. The Macmillan Press Ltd. 1979.
- LANDERS, Richards R. 1996, Product Assurance Dictionary, Marlton Publishers.

MORA, Luis Alberto. Mantenimiento industrial. En: SEMINARIO DE MÉTODOS MODERNOS DE MEDICIÓN Y APLICACIÓN DE CONFIABILIDAD MANTENIBILIDAD DISPONIBILIDAD -CMD- (2002: Medellín, Alico S.A.). 2001.

\_\_\_\_\_ Selección y jerarquización de las variables importantes para la gestión de mantenimiento en empresas usuarias o generadoras de tecnologías Avanzadas. Aplicación a las empresas del área de Medellín, Colombia. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España 1999.

NACHLAS, Joel A. Fiabilidad, citado por: MORA, Luis. Mantenimiento industrial. En: SEMINARIO DE MÉTODOS MODERNOS DE MEDICIÓN Y APLICACIÓN DE CONFIABILIDAD MANTENIBILIDAD DISPONIBILIDAD -CMD- (2002 : Medellín, Alico S.A.). Medellín. 2001.

NAKAJIMA, Seiichi; SHIROSE, Kunio; GOTO, Fumio; MIYOSHI, Ainosuke y ASO, Masamitsu. TPM programa para el desarrollo. Tecnologías de gerencia y producción, S.A. Madrid, España. 1991.

NAVARRO, Luis; PASTOR, Ana C. y MUGABURO, Jaime. Gestión Integral de Mantenimiento. Marcombo Boixerau Editores S.A. Barcelona, España. 1997.

OMDAHL, T. P. Reliability availability and maintainability dictionary. Milwaukee: ASQC Quality Press. Ed. 1988.

OREDA, Offshore Reliability Data Handbook. Noruega: Det Norske Veritas Industri Norge A.S.. 1997.

PECHT, Michael 1995, Product Reliability, Maintainability, and Supportability Handbook, CRC Press, Nueva York.

RAHEJA, Dev G. 1991, Assurance Technologies, McGraw-Hill Inc., Nueva York.

REY, Francisco, Hacia la excelencia en mantenimiento. Editorial TGP Hoshin, S.L. Madrid, España. 1996.

ROJAS, Jaime. Introducción a la confiabilidad. Colombia, Bogotá. Universidad de los Andes, 1975.

SMITH, Charles O. Introduction to Reliability in Design. Malabar, FL, USA. Robert E. Krieger Publishing Company. 1986.

STAMATIS, D. H. Failure mode and effect analysis ASQC Milwaukee, Wisconsin. Quality Press. Ed. 1995.

TORO, Juan y CÉSPEDES, Pedro. Metodología para medir confiabilidad, mantenibilidad, y disponibilidad en mantenimiento. Colombia, Medellín. 2001. Trabajo de grado (Ingeniero mecánico). Universidad EAFIT de Medellín, Colombia. Facultad de ingeniería mecánica.

VALDÉS, José; ZEQUEIRA A. y RÓMULO I. Teoría de la confiabilidad. Instituto superior de ciencias y tecnologías nucleares. La Habana, Cuba, 1998. p. 43.

VILLA, J. A. Estudio de confiabilidad de un sistema eléctrico de media tensión. U de A. Medellín, Antioquia. 2000.

## **BIBLIOGRAFÍA INTERNET Y OTROS**

ARATA ANDREANI, Adolfo. Análisis del Comportamiento real de la Tasa de Falla en Equipos Complejos [en línea], [citado en Agosto del 2002] disponible en Internet. <[www.mantencon.com](http://www.mantencon.com)>

B.C. 'Flowcharts Engineering' [en línea]. 2000. [citado en Agosto del 2002]. disponible en Internet : <<http://www.smartdraw.com>>

Encarta, ENCICLOPEDIA, Microsoft Encarta 2002. Consulta sobre Revolución Industrial, [citado en agosto del 2002].

J.O. FMECA. [en línea]. 1999. [citado en Agosto del 2002] disponible en Internet:<<http://www.fmeca.com>>

NACHLAS, Joel. Fiabilidad [en línea]. 1ª ed. [Madrid España]: Isdefe, nov. 1995 [citado en Agosto del 2001] disponible en Internet: <[http://www.isdefe.es/maqueta\\_isdefe/isdefe\\_3a/publicaciones/mono8.htm](http://www.isdefe.es/maqueta_isdefe/isdefe_3a/publicaciones/mono8.htm)>

PAUL. Availability, Reliability, Maintainability, and Capability. [en línea]. Febrero 1997. [citado en Agosto del 2002] disponible en Internet <<http://www.barringer1.com/pdf/ARManC.pdf>>

SOPORTE. Los costos en la función mantenimiento [en línea]. [citado en marzo del 2003]. Disponible en Internet <<http://www.soporteycia.com.co/documentos/Conceptos%20Basicos%20de%20Costos%20de%20Mantenimiento.PDF>>.

\_\_\_\_\_ Mantenimiento centrado en confiabilidad [en línea]. [citado en marzo del 2003]. Disponible en Internet <<http://www.soporteycia.com>>.

PRÁCTICA DE FIABILIDAD, halweb [en línea]. [citado en febrero del 2003]. Disponible en Internet: <<http://halweb.uc3m.es/esp/Docencia/Est.Ind/pr1.doc>>

PROTECCIÓN CIVIL, Conceptos Básicos de Confiabilidad. [en línea] 2001 [citado en Agosto del 2002] disponible en Internet: <[www.proteccioncivil.com/centrodoc/guiatec](http://www.proteccioncivil.com/centrodoc/guiatec)>

- \_\_\_\_\_ Guía técnica: métodos cuantitativos para el análisis de riesgos. [en línea]. [citado en septiembre del 2002]. Disponible en Internet: <[http://www.proteccioncivil.org/centrodoc/quiatec/Metodos\\_cuantitativos/cuant\\_232.htm](http://www.proteccioncivil.org/centrodoc/quiatec/Metodos_cuantitativos/cuant_232.htm)>.
- QUEENSLAND, Life Cycle Costings [en línea]. Marzo 1995 [citado en Agosto del 2002] disponible en Internet: <[www.qgm.qld.gov.au/SPPPDF/ptd\\_s8.pdf](http://www.qgm.qld.gov.au/SPPPDF/ptd_s8.pdf)>
- RELIASOFT, Corporation. Characteristics of the Weibull Distribution [en línea]. 2000. [citado en enero del 2003]. Disponible en Internet: <[http://weibull.com/LifeDataWeb/characteristics\\_of\\_the\\_weibull\\_distribution.htm](http://weibull.com/LifeDataWeb/characteristics_of_the_weibull_distribution.htm)>
- \_\_\_\_\_ Weibull++ 5. [software en línea]. 2000. [citado en enero del 2003]. Disponible en Internet: <<http://weibull.com>>
- SABIONCELLO, Alfredo. Mejora de costos en mantenimiento [en línea]. [citado en marzo del 2003]. Disponible en Internet <<http://www.mantenimientomundial.com/articulos/1mejora.asp>>.
- SACRISTÁN, José Sanz. Importancia del mantenimiento para mejorar la eficiencia de una instalación [en línea], [citado en Agosto del 2002] disponible en Internet. <<http://www.puntex.es/mantenimiento/141sanz.htm>>
- VENESOFT, Mantenimiento Productivo Total. [en línea] 2001 [en línea] [citado en Agosto del 2002] disponible en Internet: <<http://www.venesoft.com/0799/jose.html>>
- WAYMAN, S. Quality Function Deployment (QFD). [en línea] [citado en Agosto del 2002] disponible en Internet: <<http://www.ams-inc.com>>
- WHITE, Michael. 'Desing of Experiment'. [en línea] 2001 [citado en Agosto del 2002] disponible en Internet: <<http://www.doeqi2.com>>
- Winsoftware, Administrador de Mantenimiento [software]. Alico S.A.. Medellín, Colombia. 2002.

# REDISEÑO DE UN TÚNEL DE SECADO PARA APLICACIONES EN EL SECADO DE CARTÓN

ESCUELA DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA - 2003

## AUTORES

HERNÁN VEGA MIRANDA, [hvegimir@eafit.edu.co](mailto:hvegimir@eafit.edu.co)  
GIANFRANCO GAFFURRI B., [ggaffurr@eafit.edu.co](mailto:ggaffurr@eafit.edu.co)

## ÁREA DE ÉNFASIS

DISEÑO DE SISTEMAS TÉCNICOS

## ASESOR PRINCIPAL

Ing. Gustavo García

## EMPRESA

SIFAP Tecnología Ltda.



## RESUMEN

La industria permanentemente investiga y/o genera métodos y alternativas que permitan estandarizar la producción y garantizar la uniformidad de la calidad, llegando a modelos automáticos que disminuyan la fluctuación de los parámetros involucrados en el secado de los productos elaborados con cartón.

La empresa SIFAP Tecnología Ltda. productora de maquinaria para el recubrimiento de superficies tiene la intención de ampliar y actualizar su tecnología en los túneles de secado, específicamente en el secado de cartón, mejorando los actuales o cambiando su configuración. Cambios que le permitan diversificar su mercado, buscando ofrecer equipos que se ajusten a las nuevas necesidades de sus clientes

Analizando el ciclo de secado, los requerimientos de aire y de calor respecto al nuevo producto, además de un diagnóstico energético del túnel actual, se estudian cambios en su configuración y permitir el secado de la pulpa moldeada.

El rediseño se realiza a partir de estos datos, tratando de obtener un nuevo túnel que este en capacidad de retirar la humedad de este nuevo producto y si es posible aumentar la eficiencia del mismo.



## ABSTRACT

The industry is always searching, this generates methodics and choices that enable production standardization. When evolution approaches this point, shows the need of an uniform quality .taking to automatic models that decreases the parameters fluctuation involved in the drying of products made from cardboard.

SIFAP technology Company, producer of machinery for the covering of surfaces has the intention to enlarge and improve its technology on drying tunnels, mainly in the cardboard drying, modifying the machines that they already have. Performing changes that involves market handling (modifying),to offer gears that adjust to new client necessities.

Observing a drying cycle, air and heat requirements respect to the new product, more than showing the tunnel energetic diagnostic, leads to finding changes in its configuration and letting the pulp drying to be moulded.

The new design is then made from this data, trying to obtain another tunnel that enables to extract dampness from this new product , and if it is possible to gain efficiency in the mean time.

## PALABRAS CLAVES

Secado / Túnel / Cartón

## ALCANCE

Exploración del mercado potencial para el nuevo túnel.  
Modelamiento del ciclo de secado.  
Diagnóstico del túnel actual para las nuevas condiciones de secado.  
Descripción de cambios efectuados para garantizar secado del producto y reducción de pérdidas.

## EXPLORACION DEL MERCADO

La demanda total del mercado se estima a partir de la producción mundial de huevos, enfatizando en los países en los que la compañía presenta mayor interés. Además supone que la totalidad del mismo será transportado en estas bandejas algún momento de su proceso comercial.



Fuente: FAO  
Cálculos: Observatorio Agrocadenas Colombia

El consumo per. Cápita de huevos de gallina ha mostrado un crecimiento sostenido en las últimas décadas. Entre 1990 y el 2000 el consumo mundial pasó de 6.71 a 8.48 Kg / persona. Asia (con 13.1 Kg / persona) y América (con 12.52 Kg / persona) son los continentes con los mayores consumos per. Cápita de huevos.



Fuente: FAO  
Cálculos: Observatorio Agrocadenas Colombia

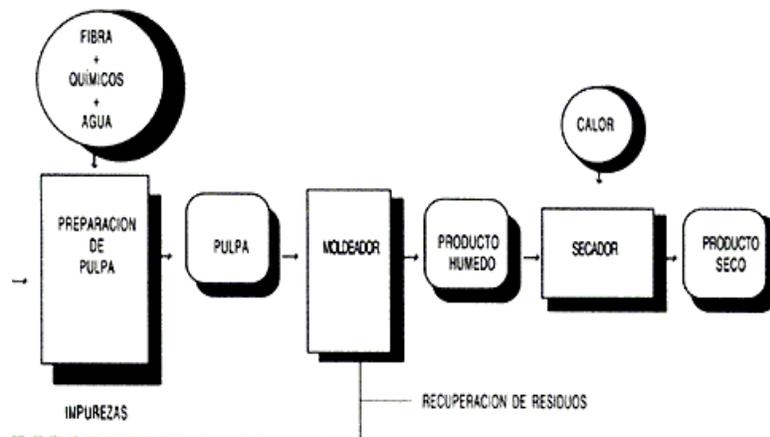
## DEMANDA TOTAL

Producción en Colombia: 350000 Ton/año  
 Cantidad de huevos: 5250 millones de huevos/año  
 Cantidad de bandejas: 175 millones/año  
 Capacidad de secado del túnel: 1200 bandejas/ hora

Suponiendo que el túnel trabaja 24 horas durante un año:

Unidades secadas por el túnel: 6912000 bandejas/año  
 Cantidad de túneles para cubrir esta cantidad de bandejas: 25

## DESCRIPCIÓN DEL PROCESO MOLDEADO DE PULPA



## PROCESO DE PREPARACIÓN

La pulpa proviene de la disgregación de fibra virgen o de papel viejo en agua, la cual una vez adecuadamente tratada se envía a la máquina moldeadora. En esta máquina, la pulpa se moldea mediante el uso de matrices, para posteriormente ingresar a un horno secador hasta obtener una humedad adecuada. A la salida de este último, el producto se apila para su posterior embalaje y envío a bodegas.

El sistema de preparación del material es muy similar al de una papelera pequeña. Hay una batidora que tritura repetidamente el papel residual o el lodo de la planta de papel hasta que adquiere una consistencia homogénea con agua para producir una pasta de una consistencia de 4% (sólidos). A esta mezcla se agregan colofonia y cera, elementos que constituyen generalmente cerca de un 2% del contenido de sólidos de la pasta final.

## SECADOR

El secador extrae la humedad inicial del 85% para dejarla en 7%. En máquinas sobre 4t/día, el secador es en línea con el moldeador. El calor que se requiere puede provenir de dos tipos de fuentes, calor directo o calor indirecto. El calor directo proviene de quemadores de petróleo diesel, kerosene o gas, cuya combustión calienta el aire que secará el producto.

## PRODUCTO SECO

Los productos en pulpa moldeada, fabricados a partir de fibras recicladas, se producen de formas diversas y para aplicaciones diferentes. En razón de su diseño en tres dimensiones, solamente la imaginación fija el límite del posible uso de los productos moldeados.

<b>Productos de Consumo</b>	Vajilla, platos y fuentes
<b>Embalaje de Restauración</b>	Platos, bandejas y portavasos
<b>Distribución y Embalaje</b>	Estuches para huevos, bandejas para huevos
<b>Especialidades</b>	Macetas para germinación, jarrones para flores Recipientes hospitalarios, rellenos de calzados
<b>Embalaje y Acondicionamiento</b>	Bandejas para lámparas y tubos fluorescentes Calado para teléfonos portátiles, afeitadoras Calado para herramientas, electrodomésticos Fascos de medicinas, material de relleno

## PRINCIPIOS DE OPERACIÓN

El tratamiento teórico del secado de sólidos depende del mecanismo predominante, según sea, transferencia de calor al sólido por convección, conducción o radiación. En la práctica, el mecanismo predominante es la convección, utilizada en secadores directos donde el material es secado por contacto directo con una corriente de gas caliente que pasa a través o sobre él; y la conducción, en secadores indirectos en los cuales el material se calienta a través de una pared. En ambos casos puede ser apreciable la transferencia de calor por radiación y en cierto grado, la transferencia por conducción en secadores por convección y viceversa. Es raro que un secador opere solamente por radiación.

Hay varias maneras de clasificar los equipos de secado. Las dos clasificaciones más útiles se basan en el método de transmisión de calor a los sólidos húmedos y en las características de manejo y las propiedades físicas del material mojado.

El primer método de clasificación revela las diferencias en el diseño y el funcionamiento del secador, mientras que el segundo es más útil para seleccionar entre un grupo de secadores que se someten a una consideración preliminar en relación con un problema de secado específico.

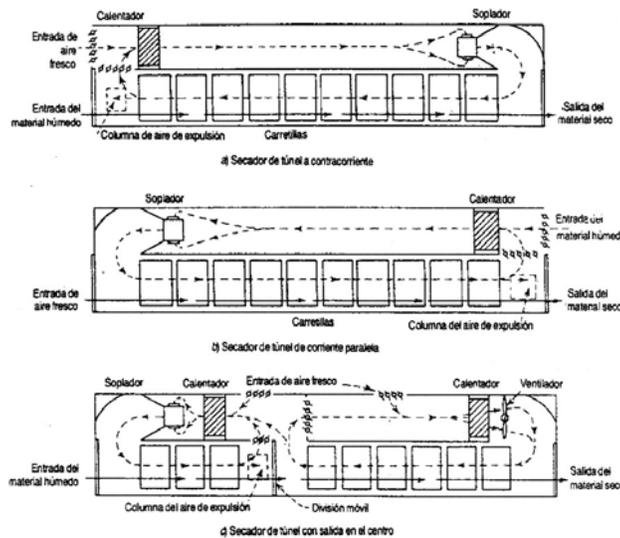
Los secadores directos se caracterizan por secar el producto por convección de un medio desecante (aire o gases de combustión), mientras los secadores indirectos emplean el contacto o transferencia de calor por conducción desde una pieza metálica con el producto.

Existen otros secadores como los infrarrojos, los cuales emplean la transmisión de energía radiante para evaporar la humedad. La energía radiante se suministra por medio de lámparas infrarrojas, resistencias eléctricas o refractarios incandescentes calentados por gas. Este último método ofrece la ventaja adicional del calentamiento por convección. El calentamiento infrarrojo no se utiliza comúnmente en la industria química para eliminar la humedad, y su aplicación principal es el horneado o secado de capas de pintura y en el calentamiento de capas delgadas de materiales.

Los secadores dieléctricos no han encontrado hasta ahora un campo muy amplio de aplicación. Su característica fundamental de generación de calor dentro de los sólidos revela potencialidades para secar objetos geométricos masivos, como madera, diferentes formas de hule espuma y objetos de cerámica. Los costos de energía aumentan hasta diez veces el costo de combustible por métodos tradicionales.

## TUNELES CONTINUOS

Los túneles continuos son, en muchos casos, compartimentos por lotes de carretillas o bandejas operados en serie. La circulación del aire puede ser totalmente a contracorriente o de corriente paralela, o bien, una combinación de estas dos formas, como se ilustra en la figura.



Las aplicaciones de los túneles son prácticamente todas las formas de sólidos conglomerados y objetos sólidos de mayor tamaño. En lo que respecta al funcionamiento, son más apropiados para producciones a

mayor escala y representan por lo común ahorros de inversión e instalación en comparación con los comportamientos por lotes (estáticos). Aunque también constituyen un ahorro en mano de obra, requieren una inversión adicional para los dispositivos automáticos de alimentación y descarga.

## **PRINCIPIO DE DISEÑO**

Diseñar un secador consiste en determinar el tipo, las dimensiones y las características de un equipo en el que, en condiciones definidas, se eliminará agua de un material, hasta un nivel deseado en un tiempo dado.

Si se desea secar un material cualquiera, previo al diseño del secador propiamente dicho, habrá que determinar el tipo de equipo más adecuado, lo que se obtiene a partir de datos existentes en la bibliografía o, a falta de estos, mediante la experimentación. Definido el tipo de aparato, queda definido también el sentido y la forma de circulación del aire, así como el medio calefactor a usar.

Conocidos estos datos, habrá que elegir las características del aire a utilizar, así como la humedad final que se desea en el producto.

## **SELECCIÓN DEL EQUIPO DE SECADO**

### **Selección inicial de los secadores**

Se deben seleccionar los secadores que sean más adecuados para manejar el material mojado y el producto seco que se adapten a la continuidad del proceso como un todo y generen un producto de las propiedades físicas deseadas

### **Comparación inicial de los secadores**

Los secadores seleccionados de esta manera se deben evaluar basándose en los datos de costo y funcionamiento. Partiendo de esta evaluación, los secadores que parezcan ser menos económicos o poco apropiados desde el punto de vista de su funcionamiento no se deberán someter a consideraciones subsecuentes.

### **Pruebas de Secado**

Estas pruebas se deben llevar a cabo en los secadores que aún están en estudio. Dichas pruebas determinarán las condiciones óptimas de operación y las características del producto, y constituirán la base para obtener cotizaciones de los distribuidores de este tipo de equipo.

### **Selección final del secador**

Una vez que se hayan recopilado los resultados de las pruebas de secado y las cotizaciones sobre los equipos, se hará la selección final del secador más apropiado para el caso.

Los factores importantes que se deben tener en cuenta para la selección preliminar de un secador son los siguientes:

- I. Propiedades del material que se va a manejar
- II. Características del secado del material
- III. Circulación del material que entra y sale del secador
- IV. Cualidades del producto.
- V. Problemas de recuperación
- VI. Instalaciones disponibles en el sitio de ubicación propuesto

## **ANÁLISIS ENERGÉTICO**

### **Auditoría Energética**

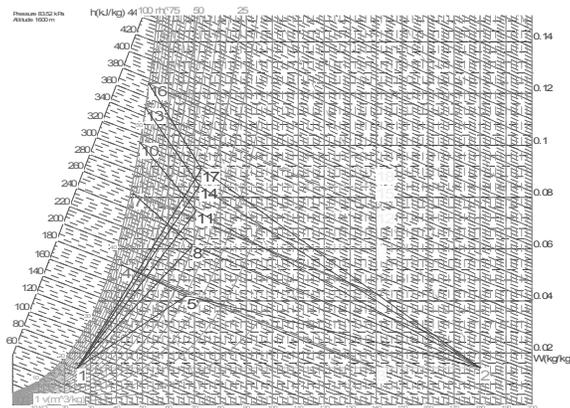
Se entiende por auditoría energética el estudio térmico que se realiza sobre un proceso o equipo siguiendo todos los pasos de su elaboración o funcionamiento y tratando de descubrir las causas de las posibles pérdidas de energía.

Así, la auditoría energética de un horno estará constituida por el estudio de un consumo energético en función de la carga tratada, base para un estudio posterior de su posible optimización. La forma de llevarla a cabo es por medio de balances de masa y energía donde estén controladas todas las entradas y salidas así como sus características.

Las diferentes formas de energía que entran y salen deberán estar referenciadas a la misma unidad de tiempo y expresadas en las mismas unidades térmicas, o también pueden estar referidas a la unidad de peso de producto.

En procesos continuos la toma de datos comienza una vez alcanzadas las condiciones de operación estable, para que las pequeñas variaciones no influyan en los resultados.

El primer paso es tener recopilados los datos de los diferentes productos que entran y salen del sistema.



Los diferentes valores de las propiedades para cada ciclo y su posterior visualización en la carta psicrométrica se obtuvieron a partir de la simulación del proceso en el software Akton Psychrometric Chart.

## BALANCE DE ENERGIA

El calor suministrado por el combustible no satisface las necesidades energéticas del túnel, es decir, es necesario un 83% de calor extra par completar el balance, teniendo en cuenta que el nuevo quemador deberá cumplir este requerimiento energético sin operar en toda su capacidad (70 a 80%)

## EFICIENCIA

Se define la eficiencia del túnel como la relación entre el calor total del sistema y el calor empleado para el secado del cartón.

$$\eta = \frac{Q_{SECADO}}{Q_{TOTAL}}$$

$$\eta = 69.04\%$$

## PARTICIPACION PORCENTUAL DE ENERGIA

CALOR	%
Evaporación del agua	68.18
Calentamiento de la Pulpa	0.82
Transportador	3.103
Pérdidas por paredes	1.56
Pérdidas por puertas	14.3
Pérdidas por chimeneas	12.01
TOTAL	100.00

La tabla indica que el 68.18% de la energía es aprovechada para el secado del producto. En las paredes solo se pierde un 1.56%, finalmente es evidente que las pérdidas por las puertas son el mayor flujo de salida del sistema.

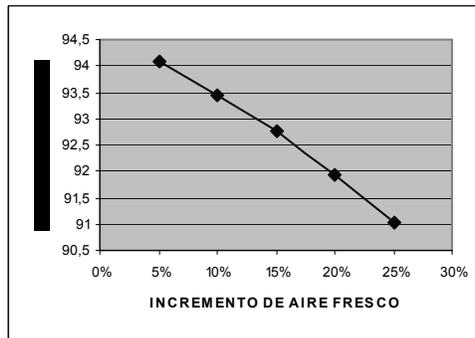
Las pérdidas por chimeneas son necesarias, ya que el aire saturado debe salir del túnel para garantizar uniformidad en el proceso de secado, aunque serian preocupantes si el contenido de humedad es bajo.

## REDISEÑO

El análisis psicrométrico del aire de secado muestra que llegará un punto en que la evaporación del agua del producto elevará el contenido porcentual del agua en el aire cerca al 100% , por lo que antes de analizar o realizar modificaciones con miras a disminuir las pérdidas de calor, será necesario modificar el ciclo de secado.

Además no existe suficiente diferencia entre la temperatura del aire después del secado y su respectiva temperatura de rocío, lo que podría provocar una condensación del contenido de agua del aire a la hora de evacuarlo por las chimeneas.

El primer paso es aumentar la entrada de aire fresco al ciclo para disminuir su humedad relativa después del secado.



Es evidente que el incremento en la cantidad de aire fresco no contribuye a la disminución de la humedad relativa del aire en la proporción esperada, ya que para el volumen total que maneja el túnel la razón de aire adicional es insignificante.

Esta adición de aire origina un ciclo más estable, acercando los puntos a valores similares. Por otra parte, el introducir más aire no sólo aumenta la exigencia de energía para calentarlo, sino también las pérdidas por las puertas y chimeneas.

Luego es necesario aumentar la cantidad de aire total del túnel sin disminuir el porcentaje de recirculación (70%), para ello se cambian los actuales ventiladores por unos de mayor capacidad.

$$V_{Anterior} = 4 \times 3000 \frac{m^3}{h} = 12000 \frac{m^3}{h}$$

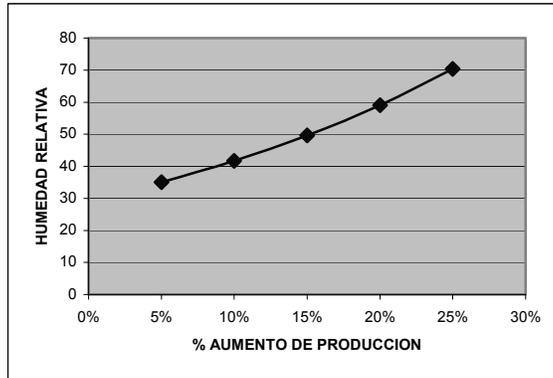
$$V_{Diseño} = 4 \times 3500 \frac{m^3}{h} = 14000 \frac{m^3}{h}$$

El nivel de saturación del aire en el nuevo ciclo es muy bajo, por lo que se estaría desperdiciando su capacidad de desecación, aunque esto permitiría aumentar la velocidad del transportador) y en consecuencia el volumen de producción.

Del análisis energético se observó que el quemador actual no suministra la energía necesaria para el ciclo de secado, en consecuencia, el incremento de aire de entrada será un requerimiento extra de calor para el sistema, por lo tanto, este incremento de cartón a secar permitirá un mayor aprovechamiento del calor suministrado y del poder de desecación del aire.

A continuación se mostrarán los efectos de este incremento en el ciclo de secado y en los diferentes flujos de salida de calor del túnel así como su relación directa con la eficiencia térmica del proceso.

Las variaciones se realizan sin incrementar el aire fresco, es decir, el porcentaje de recirculación permanece constante (70%).



Las pérdidas de energía generadas a partir del nuevo ciclo de secado, se calculan de igual manera que en el análisis energético. En la tabla se puede ver el calor necesario para cada incremento de producción así como las pérdidas de energía que generaría este cambio y la eficiencia teórica.

Estos cálculos se realizan de manera similar como se ha descrito en el análisis energético, teniendo en cuenta las variaciones en los siguientes parámetros:

PARÁMETRO	DESCRIPCION	UNIDADES
$m_{ps}$	Cantidad de producto seco	Kg /s

$m_w$	Cantidad de agua retirada	Kg /s
$m$	Cantidad de producto húmedo	Kg /s
$m_a$	Cantidad de aire seco	Kg /s
$X_1, h_1, T_1$	Magnitudes características del estado	Kg /Kg, KJ /Kg , °K
$X_2, h_2, T_2$	del aire a la entrada y a la salida	
$Q$	Calor suministrado por el combustible	W
$Q_{pérdidas}$	Perdidas de calor por paredes y puertas	W
$Q_{chimeneas}$	Calor evacuado por chimeneas	W

## PERDIDAS DE ENERGIA

Se puede observar que la principal pérdida de energía del sistema se ubica en las puertas de entrada y salida, aunque se esperaba este resultado, ya que por ser un túnel se deben conservar abiertas, se debe analizar la posibilidad de reducirlas.

Las cortinas de aire son la principal salida de calor en las puertas, ya que permiten la salida de aire de secado por la entrada del transportador, sin embargo sin ellas el aire de secado estaría libre para salir al ambiente, lo que sería muy perjudicial.

La cantidad de aire que toma las cortinas para minimizar la salida del medio desecante al exterior es tomada del mismo aire de secado, por lo que incluir una fuente diferente produciría una disminución en la temperatura de este último.

Para reducir éste flujo de calor tanto por convección como por la salida del aire de secado se realizaron las siguientes modificaciones en la configuración actual del túnel:

1. Para evitar la salida del aire y reducir el área de transferencia de calor con el exterior, se disminuyó el área de entrada y salida en el túnel, garantizando el paso libre del transportador
2. También se redujo el diámetro de las chimeneas de entrada y salida para evitar la salida excesiva del aire del interior.
3. Las chimeneas encargadas de evacuar el aire saturado fueron desplazadas al interior, además se amplió su diámetro, ya que el incremento en la capacidad de producción (25%) genera un mayor flujo másico de aire saturado que debe salir del sistema.

El cálculo de la energía necesaria para cumplir con los requerimientos energéticos ( $E_{TOTAL}$ ) que genera esta reducción de pérdidas y el incremento en la producción se realizan de manera similar que el análisis descrito en el capítulo 6, estos valores se pueden ver en la siguiente tabla :

<b>Aumento Producción</b>	<b>Q<sub>PERDIDAS</sub></b>	<b>Q<sub>SECADO</sub></b>	<b>E<sub>TOTAL</sub></b>	<b>η<sub>TEORICA</sub></b>
5%	119216.3	318139.5	4437356	72.74
10%	124152.88	332289	457442	72.86
15%	129239.92	348438.5	4477678	72.94
20%	134485.03	363588	498073	73
25%	139896.096	378737.5	518634	73.03

Para aprovechar el calor que debe suministrar el nuevo quemador y por tener la mayor eficiencia, se elige aumentar la producción en un 25%. A continuación se muestra la información técnica del nuevo componente.

## CONCLUSIONES

El túnel de secado era susceptible a cambios en su configuración actual que permitieron la reducción de las pérdidas principalmente por las puertas en un 47.51%

El nuevo túnel está en capacidad de secar productos conformados con pulpa moldeada, la nueva disposición permite retirar 9.425 Kg de agua/min aproximadamente.

Es evidente que el incremento en la cantidad de aire fresco no contribuye a la disminución de la humedad relativa del aire después del secado en la proporción esperada, ya que para el volumen total que maneja el túnel la razón de aire adicional es insignificante.

El ahorro de energía que proporciona el recirculación del aire es la diferencia entre la temperatura de entrada del aire fresco y la temperatura del aire de secado después de la mezcla de este último con el aire de reposición y el calor de la cámara de combustión.

El porcentaje de calor que sale por las paredes es baja en relación con el promedio que manejan estos equipos ( 9 a 16%)

La temperatura de los gases evacuados por la chimenea es muy superior a la temperatura de punto de rocío de los mismos, por lo que se garantiza la no condensación del aire, además la transferencia de calor de este aire hacia las paredes de las chimeneas es mínimo, ya que cuando el túnel se estabiliza la temperatura de estas está muy cerca de la temperatura del aire de secado.

Para estabilizar por completo el ciclo de secado es necesario aumentar la entrada de aire fresco (superior al 40%) a partir de este valor la energía necesaria por ciclo será siempre igual, sin importar un nuevo incremento en dicha entrada.

Los cambios efectuados en el túnel no solo permitieron aumentar la eficiencia del túnel aproximadamente en un 4%, sino también el incremento del 25% en la producción, es decir, el túnel está en capacidad de retirar un 25% más de humedad por ciclo.

El secado es un proceso de saturación adiabático, ya que el medio desecante es el encargado de proporcionar el calor necesario para aumentar la temperatura del agua contenida en el producto, es decir, el aire cede calor para aumentar el calor latente de evaporación del agua, es por esto que el aire de secado pierde temperatura.

## **RECOMENDACIONES**

El predecir correctamente el comportamiento de la curva de calentamiento del producto posibilita la optimización del proceso, lo cual puede realizarse a partir de simulaciones que describan el efecto de variables como la geometría del producto, su flujo másico, las caídas de presión y la configuración de las ranuras sobre el coeficiente de transferencia de calor.

El análisis del calentamiento transitorio del túnel aportaría un nuevo punto de vista acerca de los materiales y la distribución de los componentes del túnel, para minimizar el enfriamiento sufrido antes de iniciar el secado (ver paso 3 del ciclo del aire de secado)

Estudiar la posibilidad de implementar tubos de calor en el sistema, ya que estos dispositivos pueden retirar la humedad del aire sin disminuir la temperatura del mismo, lo que reduciría la cantidad de energía necesaria para iniciar un nuevo ciclo de secado.

La aplicación de los principios de diseño mencionados en el capítulo 4 facilitaría la optimización del medio desecante, ya que a partir de la construcción de las curvas de calentamiento es posible visualizar la humedad crítica del producto, además de determinar la humedad relativa máxima que se debe alcanzar en cada ciclo.

## **BLIBLIOGRAFÍA**

DE DIOS, Carlos. Secado de Granos y Secadoras. Santiago, Chile: FAO, 1996

HOLMAN, J.P. Transferencia De Calor. México: CECSA., 1977.

INCROPERA, Frank y DE WITT, David. Fundamentos de Transferencia de Calor. D.F., México: Prentice may. 1999.

KREITH, Frank y BOHN, Mark. Principios de Transferencia de Calor. D.F., Mexico: Thomson Learning. 2000.

MARQUEZ, José. Principios de Secado de Granos psicometría higroscopia. Santiago, Chile: FAO, 1991

MARQUEZ, Ricardo y OLARTE, Gloria. Secado de Almidón de Yuca en Capa Delgada. Medellín, Colombia. 1985. Trabajo de grado( Ingeniería Mecánica ) Universidad Pontificia Bolivariana. Facultad de Ingeniería Mecánica.

BOTERO, Edgar Armando. Simulación del Proceso de Calentamiento de Obra Cerámica en Horno Túnel. Medellín, Colombia. 1995. Trabajo de grado( Ingeniería Mecánica) Universidad Pontificia Bolivariana. Facultad de Ingeniería Mecánica.

Márquez, Manuel. Combustión y quemadores. Barcelona, España. Editorial Marcobo S.A. 1989.

Universidad Nacional de Misiones. Trabajos de papel [en línea]. 2002.. [Buenos Aires, Argentina]: Disponible en Internet < <http://www.unam.edu.ar/ciadicy2000/trabajos/trabajos/papel/Gavazzo-34-CRPP-Can.pdf>

1 Soluciones Medioambientales Canadienses. [ en línea] [Canadá] Actualizado 19 Febrero 2002. Descripción sistema Every. Disponible en: <<http://prods.businesscanada.ic.gc.ca/Ces Web/ display air agriculture prob info .cfm?target=spanish&problemId=1163>

Cemopack [en línea][ Ciudad de México D.F. 2000] Proceso de fabricación. Disponible en: < <http://www.cemopac.com.mx/proceso.htm> >

Universidad Nacional de San Martín. Pulpa [en línea]. 2002.. [Villa Ballester, Argentina]: Disponible en Internet < <http://www.unsam.edu.ar/cursoitalia/pulpa.doc>

Universidad Nacional de Misiones. Pulpa moldeada [en línea]. 2002.. [Buenos Aires, Argentina]: Disponible en Internet < [http://www.unam.edu.ar/ciadicy2000/trabajos/trabajos/index\\_pulpa.html](http://www.unam.edu.ar/ciadicy2000/trabajos/trabajos/index_pulpa.html) >

PERRY, Robert H.,GREEN, Don W. Manual del Ingeniero Químico. Mexico Ed. Mc graw Hill, 1994



# ANÁLISIS DEL DISEÑO DE SECADORA PARA HENO

ESCUELA DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA - 2003

## AUTORES

HENRY ALONSO SILVA CORTES, [hsilvaco@eafit.edu.co](mailto:hsilvaco@eafit.edu.co)  
JORGE ANDRÉS MÚNERA JARAMILLO, [jmunera1@eafit.edu.co](mailto:jmunera1@eafit.edu.co)

## ÁREA DE ÉNFASIS

DISEÑO DE SISTEMAS TÉCNICOS

## ASESOR PRINCIPAL

Ing. DAVID COOK

## EMPRESA

El sector ganadero



## RESUMEN

Para los ganaderos, la reducción drástica en la oferta de alimento y de agua, como consecuencia del verano prolongado hace que las alternativas técnicas se orienten a garantizar la oferta de alimento y de agua para cubrir los requerimientos de mantenimiento de los animales en las épocas en que los pastos escasea. El heno se está implementando en Colombia como solución al problema de los veranos e inviernos intensos; es la fuente más económica de nutrientes para los animales con excepción del pastoreo directo.

Este análisis pretende desarrollar soluciones para el secado del heno que permitan su posterior empaque y almacenamiento en zonas de climas con alto contenido de humedad y/o bajas temperaturas.



## ABSTRACT

For the cattleman, the drastic reduction of the food and water, as consequence of prolonged summer makes that the technical alternatives by themselves reach to guarantee the food and water, to replace the maintenance requirements of the cattle in the time that the grass is scanty, the hay is been implemented in Colombia as answer to the problem of the summers or winter prolonged; it is the most economical supply of nutrients to the cattle with exception of the direct pasturing .

This analysis pretend to develop solutions to the dried of the hay that permit its subsequently packing and storage in climatic zones with high contents of moisture and/or low temperatures.



## PALABRAS CLAVES

Henificación, Secado - Lecho fluidificado



## KEY WORDS

Haymaking, Dryer, fluidificated bed



# MODERNIZACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL POR MEDIO DE UN PLC EN UNA EXTRUSORA-SOPLADORA DE PLÁSTICO DE LA EMPRESA TRUHER

ESCUELA DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA - 2003

## AUTOR

FELIPE GONZÁLEZ SANÍN, [fgonzal4@eafit.edu.co](mailto:fgonzal4@eafit.edu.co)

## ÁREA DE ÉNFASIS

DISEÑO DE SISTEMAS TÉCNICOS

## ASESOR PRINCIPAL

Ing. IVÁN DARÍO ARANGO LÓPEZ

## EMPRESA

TRUHER



## **RESUMEN**

El autor aborda el tema de la automatización industrial en la modernización del sistema de control de un equipo antiguo en una empresa colombiana productora de envases plásticos. Se exponen los pasos seguidos en el proyecto para lograr un diseño que se ajuste a los requerimientos establecidos por la empresa y el entorno. La revisión de la teoría del control y automatización industrial vigentes implica necesariamente la elección de un PLC como medio adecuado para ser implementado en el equipo.



## **ABSTRACT**

In the article the author approaches the subject of the modernization of the control system of old equipment in a plastic packages company of Colombian industry. The steps followed in the project are exposed to obtain a design that adjusts to the requirements established by the company and the surroundings. The revision of the theory of the effective control and industrial automation necessarily implies the election of a PLC like an average one adapted to be implemented in the equipment.



## **PALABRAS CLAVES**

Automatización Industrial, Control automático, PLC (Programador lógico programable).



# **IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE MANTENIMIENTO DE CMD EN LA MÁQUINA ZIMMER 4 DE LA EMPRESA ARTEXTIL**

ESCUELA DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA - 2003

## **AUTOR**

DOUGLAS RUEDA MONTOYA, [douglas.rueda@hotmail.com](mailto:douglas.rueda@hotmail.com)

## **ÁREA DE ÉNFASIS**

MANTENIMIENTO DE SISTEMAS TÉCNICOS

## **ASESOR PRINCIPAL**

Dr. Ing. LUIS ALBERTO MORA GUTIÉRREZ

## **SECTOR BENEFICIADO**

Artextil S. A.

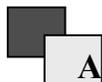


## RESUMEN

Este artículo es el resultado de la implementación de un sistema de control de mantenimiento de CMD en una empresa del sector textil. Luego de investigar sobre las herramientas de control de mantenimiento, se desarrolló una metodología para la recolección de información para cuantificar CMD.

Como resultado, se conformo una base de datos de tiempos de fallo y reparación de uno de los equipos de estampación.

Se mejoro un software existente para la cuantificación de CMD y se introdujo el criterio de Kolmogorov-Smirnov.



## ABSTRACT

This article is the result of the application of a system of control of maintenance named RAM in a factory of the textile area. After investigating the maintenance control tools, a method for data recollection was developed to quantify RAM.

As a result, a failure and repair time database was created for one of the cloth printing devices.

An existing software to calculate RAM was improved and the Kolmogorov-Smirnov criterion was introduced.



## PALABRAS CLAVES

implementación, Confiabilidad Mantenibilidad Disponibilidad, Criterio Kolmogorov-Smirnov.



ESCUELA DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA - 2003

**AUTOR**

JUAN CAMILO VARGAS GUZMÁN, [jvargasg@eafit.edu.co](mailto:jvargasg@eafit.edu.co)

**ÁREA DE ÉNFASIS**

MANTENIMIENTO DE SISTEMAS TÉCNICOS

**ASESOR PRINCIPAL**

Dr. Ing. GUSTAVO VILLEGAS LÓPEZ

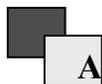
**EMPRESA**

CSL S.A.



## RESUMEN

Este artículo es el resultado del proyecto de grado con el mismo título y que consta de una revisión bibliográfica del principio de funcionamiento de los sistemas de enfriamiento evaporativo (proceso de saturación adiabática) y a su vez de una recopilación de información en conjunto con el departamento de mantenimiento de la empresa para la cual se desarrolló este proyecto de toda la historia hasta el momento de las instalaciones y varios estudios estadísticos del comportamiento de falla de estos equipos con el fin de desarrollar el nuevo plan de mantenimiento preventivo para estos contextualizado a la ciudad de Medellín y sus zonas de mas alta contaminación.



## ABSTRACT

This article is the result of the final undergraduate project with the same title and it is conformed by a bibliographic revision of the principles of operation of the evaporative cooling systems (adiabatic saturation process) and at the same time of a compilation of historical information from the maintenance department of the company for which this project was made and from several statistical studies of the breakdown behavior of this equipment, with the objective of developing a new preventive maintenance plan for them adapted for the city of Medellín and its highest contamination level zones.



## PALABRAS CLAVES

- Enfriamiento evaporativo.
- Saturación adiabática.
- Acondicionamiento de aire.



ESCUELA DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA - 2003

**AUTORES**

MARGARITA MARÍA HENAO ARANGO, [mhenaoar@eafit.edu.co](mailto:mhenaoar@eafit.edu.co)  
ALEJANDRO MONTOYA CARVAJAL, [amoto22@eafit.edu.co](mailto:amoto22@eafit.edu.co)

**ÁREA DE ÉNFASIS**

DISEÑO DE SISTEMAS TÉCNICOS

**ASESOR PRINCIPAL**

Ing. LUIS SANTIAGO PARIS

**EMPRESA**

Universidad EAFIT



## RESUMEN

La problemática que quiere abordar el proyecto es el aprovechamiento del calor de desecho para transferirlo de manera adecuada y a su vez generar potencia en artefactos pequeños, teniendo en cuenta que por lo general el calor de desecho presenta temperaturas bajas y moderadas, con lo cual la consiguiente generación de potencia a través de este medio no tiene valores muy elevados.

El alcance de éste proyecto es la obtención de un prototipo funcional evaluable que permita la transferencia de calor y la generación de potencia mecánica por medio de un termosifón, empleando la energía cinética del vapor para mover la turbina. Con el desarrollo de éste prototipo no se busca optimizar eficiencia ni generar potencia a gran escala. Para ello el proyecto se divide en varias etapas, primero se realiza el diseño metódico teniendo en cuenta ciertas limitaciones y especificaciones, luego se realiza el diseño de detalle y la construcción y ensamble de cada uno de los componentes de las diferentes zonas del termosifón, más adelante se realiza la evolución del prototipo basado en un plan de pruebas previamente diseñado.



## ABSTRACT

The issue that this project wants to review is the use of residual heat and how to transfer it in the correct way and so to produce power for small objects, without forgetting that residual heat has low and moderate temperatures producing low values of power.

The reach of this project is to obtain a functional prototype that allows the heat transfer and power generation using a thermosyphon, which transforms the steam kinetic energy to move the turbine. The development of this prototype does not try to improve efficiency; and neither to generate high values of power. For this, the project has several stages, first of all one makes the concept design, being aware of the limitations and specifications, after that, the detail design, construction and assembly of each component of the thermosyphon. The last stage is to consider the evolution of the prototype based on a preplanned sequence of tests.



## PALABRAS CLAVES

Termosifón, Transferencia de calor



## KEY WORDS

Thermosyphon, heat transfer



# DETERMINACIÓN DE COSTOS INTEGRALES DE EQUIPOS EN FUNCIÓN DE SU CICLO DE VIDA

ESCUELA DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA - 2003

## AUTORES

PAULA ANDREA HOYOS MEJÍA, [phoyosme@eafit.edu.co](mailto:phoyosme@eafit.edu.co)  
JUAN SEBASTIÁN GONZÁLEZ DUQUE, [jgonza29@eafit.edu.co](mailto:jgonza29@eafit.edu.co)  
CAMILO PAYARES GUALDRON, [cpayares@eafit.edu.co](mailto:cpayares@eafit.edu.co)

## ÁREA DE ÉNFASIS

MANTENIMIENTO DE SISTEMAS TÉCNICOS

## ASESOR PRINCIPAL

Ing. LUIS ALBERTO MORA GUTIÉRREZ

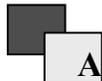
## EMPRESA

Universidad EAFIT



## RESUMEN

El presente artículo pretende explicar los costos incurridos en la vida de un equipo, también llamados como costos de ciclo de vida (LCC). El objetivo principal del análisis de los LCC es cuantificar el costo total de propiedad de los equipos a lo largo de su vida y donde se incluye la adquisición, operación, mantenimiento y disposición. El LCC calculado es utilizado como información útil para la toma de decisiones cuando se compra un producto, optimizar un diseño y planear el mantenimiento. Este reporte presenta el proceso del LCC comprendido por seis procesos principales, los cuales a su vez están compuestos por sub-actividades. También se presentan herramientas informáticas para el análisis del LCC, las cuales sirven como base para el desarrollo de un nuevo sistema informático.



## ABSTRACT

This article pretends to explain the costs incurred in the life of a product, also called life cycle costs (LCC). A main objective of the LCC analysis is to quantify the total cost of ownership of a product throughout its full life cycle, which includes acquisition, operation, maintenance and disposal. The predicted LCC is useful information for decision making in purchasing a product, in optimizing design or in scheduling maintenance. This report presents a LCC procedure consisting of six steps, which are compound for sub-activities. The article also presents some software tools for LCC analysis in order to develop a new information system.



## PALABRAS CLAVES

Costo de ciclo de vida (LCC) /Adquisición/Operación/Mantenimiento/Disposición/ Valor Presente Neto/Efectividad.



# OPTIMIZACIÓN DE PARÁMETROS DEL PROCESO DE INYECCIÓN DE TERMOPLÁSTICOS PARA LAS BANDEJAS VEGETALES DE NEVERAS HACED

ESCUELA DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA - 2003

## AUTORES

ANDRÉS ALBERTO VALENCIA O., [andresval78@uole.com](mailto:andresval78@uole.com)  
CARLOS ANDRÉS OLAYA J., [colaya@camejia.com.co](mailto:colaya@camejia.com.co)

## ÁREA DE ÉNFASIS

DISEÑO DE SISTEMAS TÉCNICOS

## ASESOR PRINCIPAL

Ing. CARLOS RODRÍGUEZ

## EMPRESA

HACEB S. A.

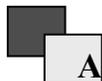


## RESUMEN

Este artículo es el resultado de un proyecto de grado sobre optimización de parámetros de inyección de termoplásticos para la fabricación de productos en serie. Tomando como base una de las piezas (bandeja para vegetales) que conforman la nevera que produce la reconocida empresa local Industrias Haceb S.A.

Como resultado, se recopilaron una serie de parámetros susceptibles de optimizar y con la ayuda de un software de simulación, se recolectaron datos que analizados conllevan a una reducción en el tiempo de ciclo de producción y en la disminución de rechazos por baja calidad.

Asimismo, como aplicación práctica, se desarrolló una metodología para optimizar los parámetros de inyección.



## ABSTRACT

This paper is the result of a graduation project about the optimization of injection parameter in the thermoplastic manufacturer products. Taken one of the elements (vegetables bin) that conform the freezers of the recognized industry “Industrias Haceb S.A.”.

As a result, a parameter recompilation, and with the help of a simulation software, a data analysis which reduces the time manufacturer and also reduce de scrap for low quality.

Likewise, as a research practical application, a methodology which optimize the injection parameters.



## PALABRAS CLAVES

Termoplásticos - Parámetros de inyección – Simulación.

# DISEÑO DE MÓDULOS SEMIAUTOMÁTICOS PARA LA PRODUCCIÓN DE CHURROS

ESCUELA DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA - 2003

## AUTOR

SANTIAGO SALAZAR CARVAJAL, [marthacar@epm.net.co](mailto:marthacar@epm.net.co)

## ÁREA DE ÉNFASIS

DISEÑO DE SISTEMAS TÉCNICOS

## ASESOR PRINCIPAL

Ing. ALEJANDRO TRUJILLO

## EMPRESA

Microempresas



## RESUMEN

En este artículo se expone el desarrollo y pasos seguidos en el diseño de 3 módulos mecánicos para la producción de Churros. Dichos módulos se diseñaron para ser operados de forma parcialmente manual y parcialmente automática según los deseos y necesidades de una mediana empresa en particular.

El proceso de diseño se basó principalmente en técnicas de Diseño Metódico, involucrando conceptos mecánicos, neumáticos, eléctricos, de dibujo y de costos. El diseño se desarrolla partiendo de la conceptualización del problema a solucionar, el conocimiento del

Churro, la industria panificadora y los equipos existentes, y se termina con presentar una solución para el problema en el que se presentan planos de taller, planos de ensamble, planos eléctricos, lógica de control y análisis de costos.



## ABSTRACT

In this Paper is showed the development and steps for the design of 3 mechanic modules for Churros production. These modules were designed to help a particular company. They like a semi automatic machine.

The design process was mainly supported in methodical design techniques, it is working with mechanic, pneumatic, electric, drawing and cost concepts. The development design starts when the problem is conceived, and the Churro, the bread industry and the stock machines are known; and it is finished with a problem solution with workshop maps, join maps, electric maps, control logic and costs analysis.



## PALABRAS CLAVES

Diseño Metódico, Maquinaria para industria de alimentos, Sistemas semiautomáticos.

# CONTROL DE FALLAS ESTRUCTURALES EN AERONAVES DE LA ALIANZA SUMMA

ESCUELA DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA - 2003

## AUTORES

ELIZABETH CARMONA MUÑOZ, [ecarmon1@eafit.edu.co](mailto:ecarmon1@eafit.edu.co)  
OSCAR MAURICIO ECHEVERRI, [oecheve2@eafit.edu.co](mailto:oecheve2@eafit.edu.co)

## ÁREA DE ÉNFASIS

MANTENIMIENTO DE SISTEMAS TÉCNICOS

## ASESOR PRINCIPAL

Ing. DANIEL RESTREPO

## EMPRESA

Alianza Summa



## RESUMEN

El objetivo de este proyecto, es realizar un estudio de factibilidad para la implementación de inspecciones estructurales preventivas dentro del programa de mantenimiento de la flota ATR-42 de ACES, para el cumplimiento de éste, se realizó un estudio estadístico con los reportes estructurales generados en los últimos servicios realizados en los dos aviones más antiguos de la flota, con el fin de relacionar el tiempo de detección de la falla en función de evolución de su ciclo y tipo de estructura. Realizar un seguimiento detallado no fue fácil, pues el lapso de tiempo es relativamente corto, ya que este estudio nace de la propuesta de realizar un estudio según el **sampling program** de ATR, el cual trabaja con umbrales muy altos y no tiene en cuenta toda la vida del avión.



## ABSTRACT

The main goal of this project is to study the feasibility of the implementation of preventive structural inspections into the maintenance program for the ATR-42 fleet of ACES. In order to accomplish this objective, a statistical study was realized with the structural reports generated during the last services in the two oldest aircrafts of the fleet. This study pretended to find a relationship between the structural type and the time elapsed until the detection of the failure based on the evolution of its cycle. A detailed tracing was not easy to do, since the elapsed time is relatively short, because this study comes of the proposal to accomplish a study based on the ATR's sampling program. This program works with big thresholds and does not undertake the all life of the aircraft.



## PALABRAS CLAVES

Avión / Estructura / Falla



## KEY WORDS

Airplane / Structure / Failure

---

## TÍTULOS PUBLICADOS EN ESTA COLECCIÓN

---

### **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