

**ARTÍCULOS DE LOS PROYECTOS
DE GRADO REALIZADOS POR
LOS ESTUDIANTES DE
INGENIERÍA MECÁNICA
QUE SE GRADUARON EN EL AÑO 2004**

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

Comentarios: Favor dirigirlos a lcasta@eafit.edu.co

Los contenidos de este documento son responsabilidad de los respectivos autores.

Está autorizada la reproducción total o parcial de este material siempre y cuando se cite la fuente.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	1
ABSTRACT	1
INTRODUCCIÓN	1
AUTOR	2
POLYAMIDE CAGE SHOULDER GUIDANCE DETERMINATION ON TURNED OR ROLLED CYLINDRICAL ROLLER BEARING SHOULDERS.....	3
DETERMINISTIC AND HEURISTIC METHODS IN 2-MANIFOLD RECONSTRUCTION	11
DISEÑO DE UN SISTEMA PARA SIMULACIÓN DE UN VUELO EN UN AVIÓN COMERCIAL	21
EL MÉTODO DE DESCOMPOSICIÓN SVD EN EL DIAGNÓSTICO TÉCNICO	28
TRICICLO DE CARGA IMPULSADO POR UN MOTOR DE COMBUSTIÓN	34
ESTUDIO DEL SISTEMA DE RECIRCULACIÓN DE GASES EN LA CALDERA DE LA COMPAÑÍA ELÉCTRICA DE SOCHAGOTA S.A. E.S.P.	39
AUTOMATIZACIÓN DE HORNO DE TRATAMIENTOS TÉRMICOS DE ALUMINIO EN LA AEROLÍNEA TAMPA CARGO S.A.....	46
IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA CMD EN LA MÁQUINA FORMADORA DE ENVASES DE CRISTALERÍA PELDAR S.A.	55
ESTACIÓN AUTOMÁTICA DE CARGA DE TUBOS DE CALOR.....	60
EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS EN MEZCLA PARA LA REUTILIZACIÓN DE PLÁSTICOS GENERADOS COMO DESPERDICIO EN UNA EMPRESA FLEXOGRÁFICA DEL MEDIO (PP, PE, LAMINADOS)	72
CONTRASTE DE UNA PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE 5S CON LO QUE RESULTA DE PROCESOS DE INVESTIGACIÓN-ACCIÓN-PARTICIPATIVA	77
OBTENCIÓN DE INFORMACIÓN A PARTIR DE FUENTES SECUNDARIAS, DE 26 EMPRESAS UBICADAS EN COLOMBIA QUE HAN ADELANTADO PROCESOS DE MEJORAMIENTO ASOCIADOS CON EL TPM	82
SOLUCIONES DE PARQUEO MEDIANTE SISTEMAS MECÁNICOS, ELÉCTRICOS E HIDRÁULICOS	88
SELECCIÓN DE UN EQUIPO COMERCIAL PARA MEDICIÓN Y MONITOREO QUE PERMITA EN UN SISTEMA DE TRANSPORTE MASIVO IMPLEMENTAR LA NORMA UIC 518	95
BANCO EXPERIMENTAL PARA LA SIMULACIÓN DE MODOS DE FALLA DE SISTEMAS DE BOMBEO	100
IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN EN UNA EMPRESA PRESTADORA DE SERVICIO DE MANTENIMIENTO DE EQUIPOS DE AIRE ACONDICIONADO	105
DISEÑO INSTRUCCIONAL DE LA ASIGNATURA TPM	106
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA MOTOCICLETAS	111
TQM: COMO MODELO DE MEJORAMIENTO.....	117
COMPARACIÓN DE CONFIABILIDAD DISPONIBILIDAD Y MANTENIBILIDAD MEDIANTE MÉTODOS GEOMÉTRICOS Y DE ELEMENTOS DE MÁQUINAS	121

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 2004. 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 2004. 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, han beneficiado el medio industrial nacional e internacional. Se han beneficiado empresas de diferentes regiones de Colombia como: la compañía eléctrica de Sochagota S.A. E.S.P, la cristalería Peldar S.A con la implementación de un sistema CMD en la máquina formadora, el diseño de un sistema de simulación de vuelo para personas de bajos recursos, que actualmente se encuentra en el parque recreativo Comfama de Rionegro y la información empleada para el proceso de mejoramiento asociado con el TPM; en empresas tan importantes a nivel industrial como lo son Carbones El Cerrejón, Cementos Holcim, Ecopetrol ExxonMobil, Incolmotos Yamaha, Cca Mazda, Sofasa, Colmotores, Colgate Palmolive, Procter & Gamble, Familia, Propal, Casa Luker, Bavaria, Cervunió, entre otras y en el ámbito internacional la empresa líder en fabricación de rodamientos SKF GmbH.

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 Centro de Laboratorios y Grupos de Investigación de la Carrera de Ingeniería Mecánica.

LEONEL FRANCISCO CASTAÑEDA HEREDIA
Coordinador de Proyectos de Grado



POLYAMIDE CAGE SHOULDER GUIDANCE DETERMINATION ON TURNED OR ROLLED CYLINDRICAL ROLLER BEARING SHOULDERS (SKF GmbH, Schweinfurt, Germany)

MIGUEL MUÑOZ S. *mmunozs1@eafit.edu.co*
Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS

DISEÑO DE SISTEMAS TÉCNICOS

ASESOR PRINCIPAL

Ing. JURGEN REICHERT
juergen.reichert@skf.com

EMPRESA

SKF GMBH, ALEMANIA

RESUMEN

Los rodamientos de rodillos cilíndricos con canastilla de poliamida han sido una efectiva solución para dispositivos rodantes con altas cargas radiales durante muchos años. SKF es la empresa líder mundial en la fabricación de dichos rodamientos, los cuales constan de dos anillos (interior y exterior), una canastilla y los elementos rodantes (rodillos). La canastilla puede ser guiada por los rodillos o por los hombros del anillo exterior y su función principal es mantener los rodillos en la posición adecuada. Para canastillas guiadas por el anillo exterior se debe llevar a cabo un proceso de rectificado en los hombros del anillo, lo cual genera tolerancias

muy precisas y acabados excelentes. El proyecto analiza las consecuencias de la eliminación de dicho proceso realizado después del tratamiento térmico, determinando si definitivamente puede ser obviado. Se calcularon las actuales tolerancias y la respectiva distancia existente entre el diámetro exterior de la canastilla y los hombros interiores del anillo exterior. Estudios realizados anteriormente en SKF, han determinado que dicha distancia está directamente relacionada con el desempeño general del rodamiento, de forma que entre menor sea, mejor el desempeño general. Por esta razón, se realizó un cálculo estadístico de tolerancias, utilizando tres sigma, para reducir dicha distancia, llamada holgura de la canastilla. Los efectos causados por la modificación de la holgura fueron determinados tanto estática como dinámicamente. Finalmente se realizó un estudio de los rodamientos fabricados por la competencia, determinando si guían la canastilla con el anillo exterior o con los rodillos, así como el acabado superficial que presentan los hombros del anillo exterior.

ABSTRACT

Cylindrical roller bearings with polyamide cages are one of the most used solutions in the engineering

world. SKF is a company that has produced world-class bearings for almost 100 years and is the leader manufacturer of cylindrical roller bearings, which are composed of inner and outer rings, cage and rolling elements (rollers). The polyamide cage can be either shoulder or roller guided to maintain its adequate position inside the bearing. Shoulder guided cages are guided by the ring shoulders, which are ground after the heat treatment to obtain a precise tolerance value as well as a good surface finish. This project investigates the consequences of the avoidance of the grinding operation after the heat treatment. The project contains four main steps, beginning with the determination of the actual guiding clearance tolerance range when the shoulders are ground and how it will be when they are not. SKF experience has shown that the size of the guiding clearance is directly related to the bearing overall performance, thus a small clearance suits better. Therefore, statistical tolerance calculation is then used to reduce the enlarged tolerance range when the shoulders are not ground. The static and dynamic effects of the new guiding clearance will be determined in the third step. Finally, a competitor analysis will be made to determine the cage guiding type and the respective clearance they use.

PALABRAS CLAVE

Rodamiento, tolerancias, canastilla, poliamida, aceleración de la canastilla, SKF, holgura de la canastilla, tres sigma.

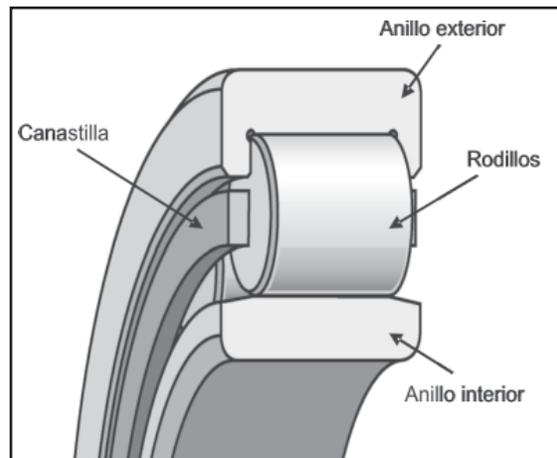
KEY WORDS

Bearing, tolerances, cage, polyamide, cage acceleration, SKF, cage clearance, three sigma.

RODAMIENTOS ESTUDIADOS

El mundo de la ingeniería demanda un gran número de dispositivos para disminuir al mínimo la fricción en elementos rodantes. La principal solución utilizada es, y ha sido por muchos años, el uso de diversos tipos de rodamientos. Los rodamientos de bolas y rodamientos de rodillos cilíndricos son los tipos más utilizados actualmente. La principal diferencia entre ambos son los elementos rodantes, bolas o rodillos cilíndricos. Los rodamientos de rodillos cilíndricos, conocidos como CRB por sus siglas en inglés, son diseñados para aplicaciones que presentan altas cargas radiales. Este tipo de rodamientos están compuestos básicamente por los rodillos, una canastilla y los anillos exterior e interior (Figura 1).

FIGURA 1
Componentes de un rodamiento de rodillos



En la figura 1, se puede apreciar un rodamiento de rodillos cilíndricos, de tipo NU con canastilla polimérica, que es precisamente el tipo específico de rodamiento que se estudió. La canastilla, que puede ser hecha de diferentes tipos de poliamida, es guiada por los hombros del anillo exterior, lo que significa que hay un contacto entre el borde exterior de la canastilla con los hombros interiores del anillo exterior. Para este tipo de rodamientos, los hombros son rectificadas para controlar la holgura que queda entre la canastilla y los hombros, así como para asegurar un perfecto acabado superficial.

SITUACIÓN ACTUAL

Los rodamientos son diseñados para operar a altas temperaturas, que, en caso de tener canastilla polimérica, puede ser de 120C (PA66¹ y AKULON²) o de 200C (PEEK³). Cuando se presentan estas temperaturas, todos los componentes del rodamiento se expanden de acuerdo al coeficiente de expansión térmica de cada material. Los materiales termoplásticos estudiados tienen un coeficiente de expansión térmica mayor que el acero, material utilizado para la fabricación de los anillos, lo que significa que crecerá más rápido, disminuyendo así la holgura de la canastilla. Por esta razón, se calcula primero la distancia mínima (Sp_{min}) que debe haber a temperatura ambiente (20C) para que al alcanzar la temperatura máxima de operación todavía exista una pequeña holgura y no se bloquee el rodamiento. Para determinar la distancia máxima, se suman las tolerancias de la canastilla y del proceso de manufactura de los hombros del anillo. Las dimensiones generales utilizadas durante el proyecto pueden verse en la figura 2. Todas las dimensiones son basadas en el diámetro.

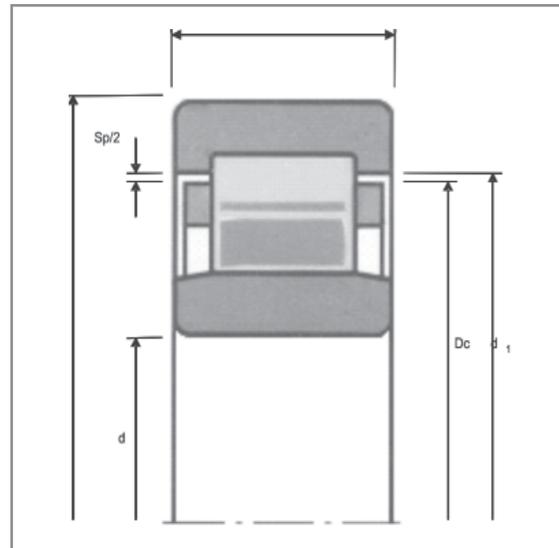
Cuando se lleva a cabo el proceso de rectificado en los hombros, se obtienen rangos de tolerancias muy pequeños. En caso de obviar dicho proceso, la tolerancia de los hombros estará regida mayormente por los cambios dimensionales que ocurren durante el tratamiento térmico, los cuales son bastante variables. De esta forma, si se dejan los hombros sin rectificar, la holgura máxima podrá ser hasta un 40% mayor que la actual. Este aumento podrá traer una notable disminución en la vida útil de la canastilla. Los valores de cambios dimensionales durante el tratamiento térmico han sido determinados

¹ PA66: Poliamida 66, termoplástico de ingeniería reforzado con 25% fibra de vidrio.

² AKULON: Poliamida 66 fabricado por DSM en Holanda con aditivos que mejoran la resistencia mecánica.

³ PEEK: Polyetheretherketona, termoplástico de ingeniería reforzado con 15% fibra de vidrio que mantiene sus propiedades mecánicas a altas temperaturas.

FIGURA 2
Medidas generales utilizadas



en estudios anteriores y fueron verificados midiendo algunas muestras. Todas las muestras estuvieron dentro de los valores máximos expresados en los planos, estando relativamente lejos de los límites. A pesar de esto, se trabajó durante toda la investigación con los valores extremos.

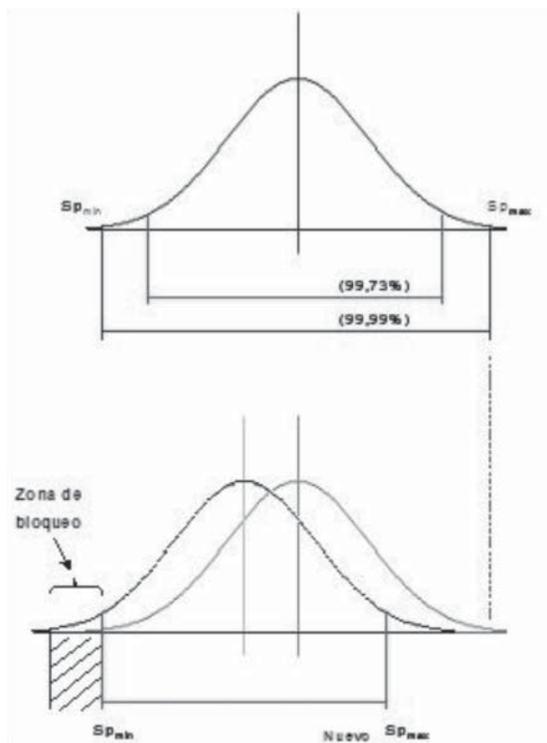
Otro aspecto a tener en cuenta es el buen acabado superficial que se deja de obtener si no se hace el rectificado en los hombros. SKF tiene un límite estimado de rugosidad superficial para este tipo específico de rodamientos de 0.4 μ m. La rugosidad obtenida después de un rectificado está siempre dentro de dicho límite, pero en caso de no hacer el proceso, se tendrá que determinar la rugosidad que arrojan los diferentes procesos de manufactura utilizados para formar los hombros del anillo. Para la fabricación de los anillos exteriores se utilizan procesos de torneado o de deformación en frío. Cada uno de ellos deja marcas en la superficie, las cuales fueron medidas y analizadas. Cuando los anillos son torneados, el valor de rugosidad superficial estuvo sobre el límite permitido; pero cuando se utiliza la deformación en frío, la rugosidad está dentro del límite. Esto significa que, en términos de rugosidad

superficial, se puede guiar una canastilla con el anillo exterior cuando éstos son fabricados por deformación en frío.

CÁLCULO ESTADÍSTICO DE TOLERANCIAS

Los rangos de tolerancias estudiados representan el mayor rango posible (100%), pero, como se vió con los cambios dimensionales, los valores extremos son bastante difíciles de alcanzar. Se asume una distribución normal para calcular un rango de tolerancia que represente el 99.73% de valores dentro del rango y calcular así un nuevo valor máximo de holgura de la canastilla. De esta forma se puede reducir el valor máximo posible de holgura (Sp_{max}) que sería ampliado en caso de obviar el proceso de rectificadado en los hombros del anillo.

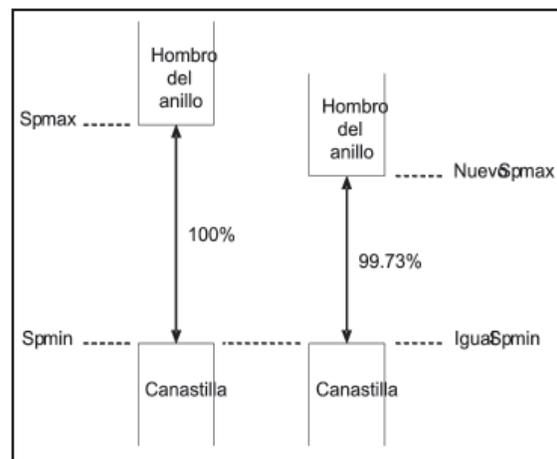
FIGURA 3
Reducción del rango mediante tres sigma



Con la reducción estadística del rango de tolerancia, se mantiene la misma media reduciendo cantidades iguales a ambos lados de la distribución. Este procedimiento hace que el valor máximo sea reducido, pero también que el valor mínimo sea aumentado. Como la intención es mantener el valor de holgura mínimo lo más bajo posible, no sería conveniente aumentarlo. Por esta razón se puede desplazar el rango total hacia el valor mínimo, manteniendo el mismo valor mínimo y reduciendo aun más el valor máximo como puede verse en la figura 3.

Este procedimiento significa que existirá una zona en la que podría presentarse un bloqueo de la canastilla cuando se somete el rodamiento a temperaturas cercanas al límite de operación. Esta zona, mostrada en la figura 3, representa apenas un 0.135% de probabilidad, lo cual es bastante bajo. Además, es importante decir que esa probabilidad solo se hará real en caso de tener temperaturas cercanas a los 120C, o la temperatura máxima de operación permitida por el material de la canastilla, y suponiendo una diferencia de temperaturas de 15C entre la canastilla y el anillo, valor que fué utilizado para calcular Sp_{min} . Todo esto hace que la probabilidad de bloqueo sea aún menor. La holgura resultante esta representada en la figura 4.

FIGURA 4
Holgura resultante



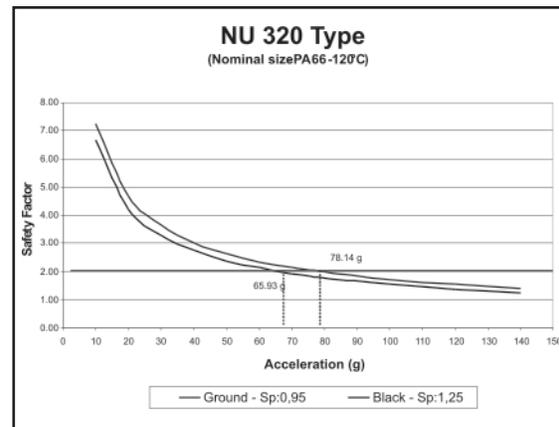
Los nuevos valores de la holgura de la canastilla son calculados para tres tipos de rodamientos específicos (NU312, NU320 y NU2230) con los tres materiales de la canastilla mencionados anteriormente. El valor mínimo de la holgura (Sp_{min}) depende del coeficiente de expansión térmica del material de la canastilla y a partir de dicho valor se calcula el valor máximo (Sp_{max}). Por esta razón, rodamientos con canastillas de materiales con bajo coeficiente de expansión térmica corriendo sobre hombros sin rectificar tienen menor holgura máxima (Sp_{max}) que rodamientos con canastillas de alto coeficiente de expansión térmica corriendo sobre hombros rectificadas.

ANÁLISIS ESTÁTICO

Las fuerzas que actúan en el rodamiento fueron analizadas inicialmente de forma estática, es decir, independientes del tiempo. Un rodamiento está sometido a fuerzas externas que generan movimientos y fuerzas internas en la canastilla y los rodillos. Debido a la holgura de la canastilla, ésta se mueve e impacta los hombros del anillo exterior. La canastilla puede ser entonces analizada como una rueda planetaria que gira alrededor de su propio eje al mismo tiempo que todo el sistema gira alrededor de un eje externo con una aceleración definida. Este movimiento hace que la canastilla se recueste contra los hombros del anillo exterior en un instante de tiempo definido, generando fuerzas que pueden producir un fallo por fatiga en la canastilla. El análisis es realizado con un programa desarrollado por SKF llamado ORION⁴, el cual determina cuál es la máxima aceleración periférica permitida antes de que se presente un fallo por fatiga en la canastilla. Las dimensiones utilizadas fueron las correspondientes al rodamiento tipo NU320 con canastillas de los tres materiales poliméricos mencionados anteriormente. Las dimensiones de la canastilla son mantenidas constantes variando únicamente la holgura, determinando así los efectos de su variación.

⁴ Programa de cálculo desarrollado por Dr. P. G. Hoch en la Universidad de Bochum, Alemania, para SKF

FIGURA 5
Aceleración permitida



El programa calcula los esfuerzos máximos antes de presentarse una ruptura a diferentes aceleraciones. En la figura 5, se aprecia la curva resultante para un rodamiento NU320 con canastilla de PA66, mostrando el factor de seguridad que existe para cada valor de aceleración periférica. La línea azul muestra el resultado utilizando la respectiva holgura de canastilla si los hombros de anillo son rectificadas ($Sp = 0.95\text{mm}$), mientras que la negra utiliza la correspondiente holgura cuando los hombros no son rectificadas ($Sp = 1.25\text{mm}$). Es claro que la ampliación de la holgura limita la aceleración permitida por la canastilla para cualquier factor de seguridad. Para SKF, el valor límite permitido es cuando hay un factor de seguridad igual a dos, es por eso que en dicho punto se hace el análisis para determinar cuál es la diferencia entre ambos valores de holgura. Este programa fue también utilizado para determinar el efecto del cálculo estadístico de tolerancias ya que las holguras fueron disminuidas. Cuando se utilizan los valores obtenidos con tres sigma, se presenta una reducción en la aceleración permitida entre un rodamiento con hombros maquinados y no maquinados es entre 9% y 14%, mientras que si se utilizan los valores totales iniciales, la diferencia será entre 15% y 25%. Esta comparación muestra los beneficios del cálculo estadístico, pues con una reducción, dejando una pequeñísima probabilidad de bloqueo, se disminuye mucho la pérdida de resistencia.

Los valores absolutos de aceleración permitida obtenidos estuvieron dentro de lo esperado, a pesar de esto se deben realizar ensayos destructivos para determinar si dichos valores son suficientes o no.

ANÁLISIS DINÁMICO

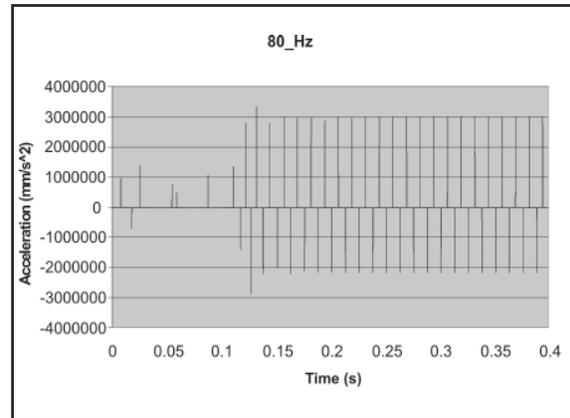
Cuando el rodamiento esta sometido a fuerzas y vibraciones externas, la canastilla reacciona a ellos de forma incierta. Si todo el sistema esta sometido a un movimiento externo cíclico, la canastilla rebotará libremente dentro del rodamiento impactando contra los hombros del anillo exterior. La fuerza de este impacto dependerá del movimiento exterior y de la holgura que tenga la canastilla, pues a medida que es mayor, el impacto será más fuerte. Dependiendo de la frecuencia con que se presente la vibración externa, la canastilla tendrá una aceleración que puede ser determinada mediante una simulación dinámica.

Pro/MECHANICA Motion es el programa elegido para simular el movimiento y determinar la verdadera influencia de la holgura de la canastilla. Las pérdidas de energía en cada impacto fueron consideradas utilizando un coeficiente de restitución como dato inicial en el programa. El movimiento externo elegido es un movimiento armónico simple de una onda cosenoidal con una aceleración constante de 4 gravedades a diferentes frecuencias. Las dimensiones de la canastilla son las mismas en todos los casos, variando solamente el diámetro de los hombros del anillo determinando así la influencia del tamaño de la holgura. Este tipo de movimientos repetitivos se presenta muchas veces en aplicaciones reales, un ejemplo típico son los rodamientos montados en los ejes de los trenes, los cuales giran a gran velocidad sobre su propio eje además de movimientos repetitivos externos generados por imperfecciones en los rieles o en las ruedas.

La figura 6 muestra la aceleración que tiene una canastilla de PA66 con una holgura de $Sp=1.2mm$, cuando es excitada a una frecuencia de 80Hz. En los primeros instantes el movimiento es un poco errático,

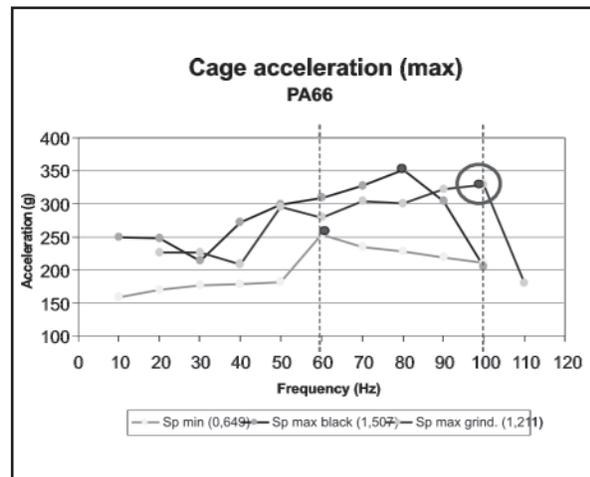
volviéndose constante más adelante. En este caso específico, la canastilla sufre una aceleración máxima de unos 300g, la cual es bastante alta.

FIGURA 6
Aceleración de la canastilla



Se realizaron simulaciones para frecuencias entre 10Hz y 110Hz, variando la holgura de la canastilla de acuerdo a los valores calculados anteriormente. Los materiales de canastilla con mayor y menor coeficiente de expansión térmica (PA66 y AKULON) fueron utilizados.

FIGURA 7
Resultados dinámicos (NU320, PA66)



Los resultados obtenidos para la canastilla de PA66 están graficados en la figura 7, donde la curva verde representa el valor mínimo de holgura, el azul la holgura que habría si los hombros son rectificadas y la negra la holgura cuando es obviado el proceso de rectificado. Se aprecia claramente un rango de frecuencias donde se presentan las máximas aceleraciones (60Hz – 100Hz), rango que fue igual en caso de usar canastilla de AKULON. Los valores máximos absolutos están directamente relacionados con el tamaño de la holgura, pues entre mas grande, mayor la aceleración. Pero hay frecuencias a las que una holgura menor puede ser más perjudicial, como se aprecia a 100Hz, donde el valor máximo es para la holgura existente cuando los hombros son rectificadas. En general se pudo determinar que efectivamente cuando se agranda la holgura, se presentan impactos mayores y la canastilla puede fallar en menos tiempo.

ANÁLISIS DE LA COMPETENCIA

Diez rodamientos fabricados por FAG (cinco NU312 y cinco NU320) fueron estudiados para determinar la holgura de la canastilla, las medidas generales de sus rodamientos y el acabado superficial de los hombros del anillo exterior. Fueron posteriormente comparados con los valores presentados actualmente por rodamientos iguales fabricados por SKF.

En ambos casos, las tolerancias utilizadas por FAG son mucho mayores que las de SKF y en algunos casos la holgura de la canastilla era mayor que en los rodamientos con hombros no rectificadas de SKF. FAG tenía algunos hombros sin rectificar para canastillas guiadas por los hombros, lo que significa sería posible obviar el proceso.

La rugosidad superficial de los hombros estaba, en algunos casos, por encima del valor límite de SKF. El tipo de acabado de los hombros, supone un proceso de producción de torneado, pues se aprecian las marcas radiales propias del mismo.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Sí se elimina el proceso de rectificado en los hombros del anillo, la holgura de la canastilla aumenta considerablemente. Esta nueva holgura puede ser disminuida de manera efectiva y exponencial utilizando tres sigma.

Rodamientos cuya holgura de la canastilla sea aumentada permitirán menores aceleraciones periféricas. En caso de obviar el proceso de rectificado en los hombros, esa disminución será entre 9% y 14%.

El análisis dinámico muestra que en algunos casos, tener una holgura pequeña puede ser perjudicial aunque los valores máximos a lo largo de todo el rango de frecuencias sí se ven afectados a medida que se aumenta la holgura. Se deben hacer ensayos que corroboren los resultados obtenidos en las simulaciones.

Cuando los hombros no son rectificadas, su acabado superficial es el dejado por el proceso de producción de los mismos. En caso de ser formados por deformación en frío, los valores de rugosidad superficial están dentro de los actuales límites establecidos. En el caso de hombros torneados, los valores de rugosidad si sobrepasan dicho límite, pero estudios más profundos deben ser llevados a cabo pues el límite puede ser muy conservador.

Los rodamientos de FAG tienen en algunos casos hombros no rectificadas y cumplen con todas las exigencias establecidas para este tipo de rodamientos. Las tolerancias que tienen son además más amplias que las establecidas por SKF que se muestran bastante conservadoras. Esto sugiere la realización de futuros estudios que podrían reducir aun mas los valores de holgura de la canastilla.

El proceso de rectificado puede ser obviado definitivamente en rodamientos cuyos anillos sean fabricados por deformación en frío y que tengan

canastilla polimérica con bajo coeficiente de expansión térmico. Este tipo de rodamientos cumple con los límites establecidos actualmente por SKF tanto de rugosidad superficial como de tamaño de la holgura. Para rodamientos cuyos anillos sean fabricados con otros procesos, se deben hacer estudios mas profundos para determinar si los límites actuales pueden ser modificados.

Las tolerancias actuales de SKF mostraron ser bastante conservadoras, por lo que se sugieren estudios futuros a cada una de ellas y reducirlas en caso de ser posible.

BIBLIOGRAFÍA

SKF Technical information (TI 1050), Selection criteria for Cylindrical Roller Bearings: SKF Cylindrical Roller Bearing division, Schweinfurt, Germany. 1995

ASM HANDBOOK. (The materials information society) Heat treating, volume 4, USA, 1991. Entire book.

BOFORS, A.B. Steel and its heat treatment: The Butterworth group: London, Great Britain 1975. Entire book.

SHIGLEY, Joseph E., MISCHKE, Charles R. Diseño en ingeniería mecánica: México, México D.F. McGraw Hill, sexta edición, 2002. Pages 72 - 78.

LIANG, Boazu and HEEMSKERK, Rut. Effect of external vibrations on CRB's performance in railway applications. SKF Cylindrical Roller Bearing division, internal document. Schweinfurt, Germany.

ERC Training, Bearings theory and performance. SKF Cylindrical Roller Bearing division, Schweinfurt, Germany.

AVNER, Sydney H. Introducción a la metalurgia física: México, México D.F. McGraw Hill, segunda edición, 1988. Pages 234 - 246.

SKF Internal brochure, Design of SKF Cylindrical Roller Bearings: SKF Cylindrical Roller Bearing division, Schweinfurt, Germany. 1995

SKF Internal brochure, Product range of SKF Cylindrical Roller Bearings: SKF Cylindrical Roller Bearing division, Schweinfurt, Germany. 1995

WEIDINGER, Alfred. SKF Zylinderrollenlagerkaefige: SKF internal information. SKF Productentwicklung CRB, Schweinfurt, Germany. 2001

SCHOEPPLEIN, Helmut. Schleifzugaben an Zylinderringen von waelzlagern im durchmesserbereich von 150 bis 420mm in abhaengigkeit von der genauigkeit der vorfertigung und den haerteverfahren. Schweinfurt, Germany. SKF Diplomarbeit 1996.

HOCH, P. G.. Tragfaehigkeit von Kaefigen in Zylinderrollenlagern fuer planeten raeder. Universitaet Bochum, Germany. 1985.

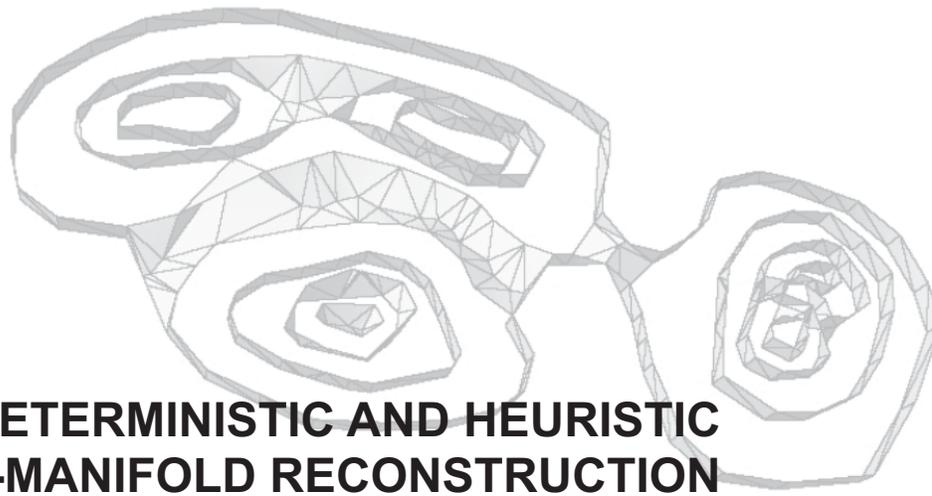
INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACION. Documentación. Presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación. Bogotá-Colombia: ICONTEC, 2002. 37p. (NTC 1486).

Internet References

<http://www.nhbb.com/engineering/precision/materials.cfm>

<http://www.megamet.com/52100.htm>

<http://www.bestar.us/Specs/52100.pdf>



DETERMINISTIC AND HEURISTIC METHODS IN 2-MANIFOLD RECONSTRUCTION

SEBASTIÁN PEÑA SERNA. spenaser@eafit.edu.co
Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS

DISEÑO DE SISTEMAS TÉCNICOS

ASESOR PRINCIPAL

Dr. Ing. OSCAR RUIZ SALGUERO

EMPRESA

GRUPO DE INVESTIGACIÓN CAD-CAM

ABSTRACT

2-Manifolds are zero-thickness walls, which bound subsets of R^3 , generally defining exterior vs. interior. Numerical computations in engineering are theoretically and practically supported on the correctness of 2-manifolds. In this context, re-construction of 2-manifolds bounding a solid sampled by cross cuts, and 2-manifolds representing terrain, housing, etc. must be geometrically and topologically sound, as well as efficiently represented to allow practical technical applications (for example electromagnetic wave tracing simulation). This project has two main topics in the context of Deterministic and Heuristic Methods in 2-Manifold Reconstruction.

(a) Recovering a surface from its traces on parallel slices is improved in this work by recognizing 2D shape similarities between consecutive cross cuts of the surface. 2D Shape similarity avoids surface reconstruction errors stemming from strategies based

solely on geometrical likeness. Instead, it relies on topologically probable events, occurring in between two consecutive cross cuts. This work presents supporting modules for an algorithm developed in the CAD CAM CAE Laboratory at EAFIT University, which discovers and administers 2D shape similarity and applies it on surface reconstruction.

(b) The representations of terrain and housing data are fundamentally different in computational geometry, as they come from satellite data on one hand and architectural files on the other. Geometrical and Topological properties of such representations are different, and preclude the merging of the two data types by using traditional geometric solid modeling operator. This work attacks the problems of surface representations for both data types, simplification, pseudo-Boolean operations and decimation or reduction of the data that merges terrain and housing CAD data, for the purpose of electromagnetic wave tracing. This part of the project was conducted in the Laboratory of Signal Theory and Communications of the Telecommunications Department at University of Vigo, Spain, as part of a European Aero-Space Project.

KEY WORDS

2-Manifold, Surface Reconstruction, Deterministic Methods, Heuristic Methods.

1. INTRODUCTION

In the context of Deterministic and Heuristic methods in 2-manifold reconstruction, two projects were developed:

1. “2-D Shape Similarity in 2-Manifold Reconstruction”
It was developed in the CAD/CAM/CAE Laboratory of the EAFIT University, Medellín-Colombia. Matching consecutive cross-sections of 3-D slice sample, based on shape similarity of the 2-D contours. To feed plausible matching contour groups to Voronoi-Delone Surface Reconstruction Algorithms.
2. “Integration of 2-manifolds for Housing and Terrain Data”
It was developed in the Department of Signal Theory and Communications of the University of Vigo, Vigo-Spain. Application of pseudo-Boolean operations between incomplete shells and decimation techniques to achieve a single-model of housing and terrain data for Electromagnetic Ray-Tracing applications.

The topologic space 2-manifold may be considered a surface in R^3 . A 2-manifold may have border (it is incomplete). A 2-manifold without border is complete, and it is informally called “watertight”.

Applications: Digitization reconstruction, engineering design, reverse engineering, numerical analysis, prototyping, manufacturing, robotics, human or animal organs reconstruction from X-Ray, virtual and robotic surgery, and virtual medical visualization.

Deterministic methods: Produce an answer which is the correct and global optimal for the problem at hand.

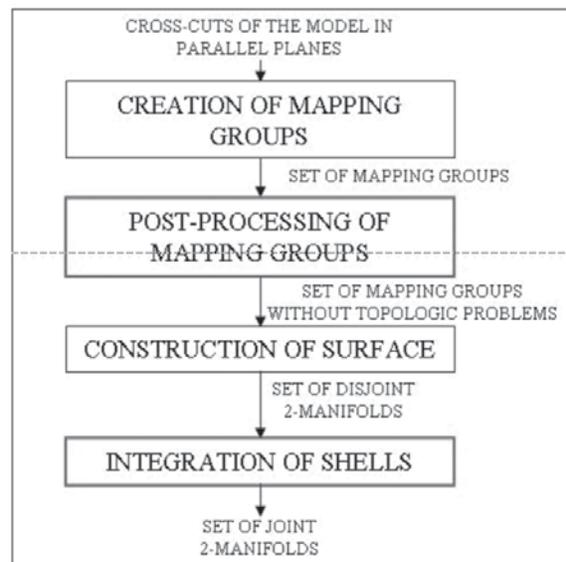
Heuristic methods: Produce a good and locally optimal solution based on thumb rules, when the global optimal solution is too expensive to find.

2. 2-D SHAPE SIMILARITY IN 2-MANIFOLD RECONSTRUCTION. CONTEXT

Surface Reconstruction methods with a set of points collected in parallel cross sections of a solid could be geometrical or topological.

Surface reconstruction process:

FIGURE 1
Chart of the surface reconstruction process



This project presents the 2-D shape similarity method for pre-processing and dividing S_i and S_{i+1} into subsets.

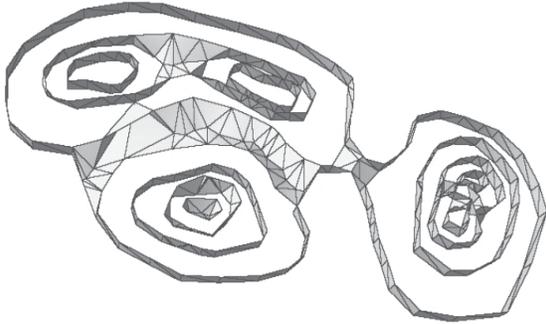
Every subset represent regions in cross-sections i and $i+1$ which are globally similar and will be referred to as “mapping groups”.

With these mapping groups is possible to steer the surface builder for the cross sections i and $i+1$.

2.1 THEORETICAL BACKGROUND

In surface reconstruction possible problems when 2-D shape similarity is not considered can be found.

FIGURE 2
Surface reconstruction example without 2-d shape similarity process



This is the rationale for 2-D shape similarity or contour matching.

Creation of Mapping groups

FIGURE 3
Consecutive cross-section to create the mapping groups



Obtained mapping groups:

$$\begin{aligned}
 mg_1 &= \{A(B(D(L), E(K)), C(F, G)), H(I(J(M)))\}, \{1(2(3(4))), 5(6(11), 7(10), 8(9))\} \\
 mg_2 &= \{B(D(L), E(K)), \{2(3(4))\}\} \quad mg_3 = \{C(F, G)\}, \{8(9), 7(10)\} \\
 mg_4 &= \{I(J(M))\}, \{6(11)\} \quad mg_5 = \{E(K), D(L)\}, \{3(4)\} \quad mg_6 = \{F\}, \{9\} \\
 mg_7 &= \{G\}, \{10\} \quad mg_8 = \{J(M)\}, \{11\} \quad mg_9 = \{K, L\}, \{4\} \quad mg_{10} = \{M\}, \{\} \\
 MG^{i+1} &= \{mg_1, mg_2, mg_3, mg_4, mg_5, mg_6, mg_7, mg_8, mg_9, mg_{10}\}
 \end{aligned}$$

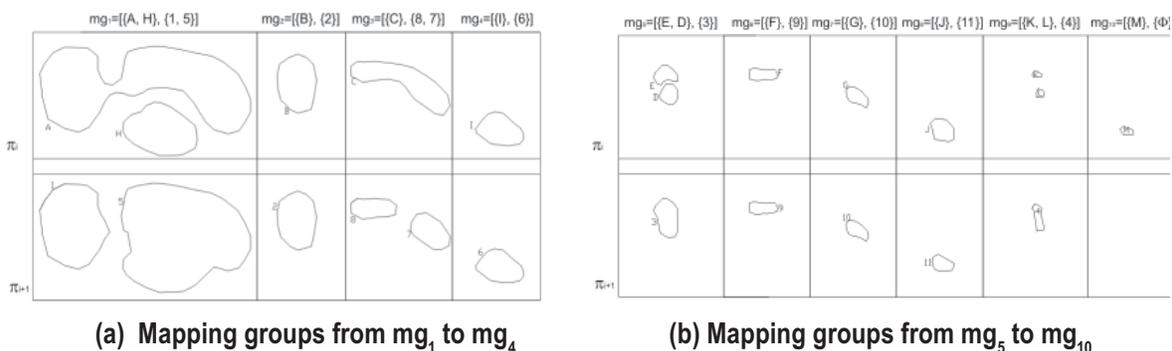
2.2 METHODOLOGY FOR MAPPING GROUP POST-PROCESSING

Mapping Group Depuration

In the mapping group creation, a contour may appear in several mapping groups.

Such participation is eliminated in all but one of the mapping groups in which it appears.

FIGURE 4
Result of the mapping group depuration



Handling of Mapping Groups involving HOLES

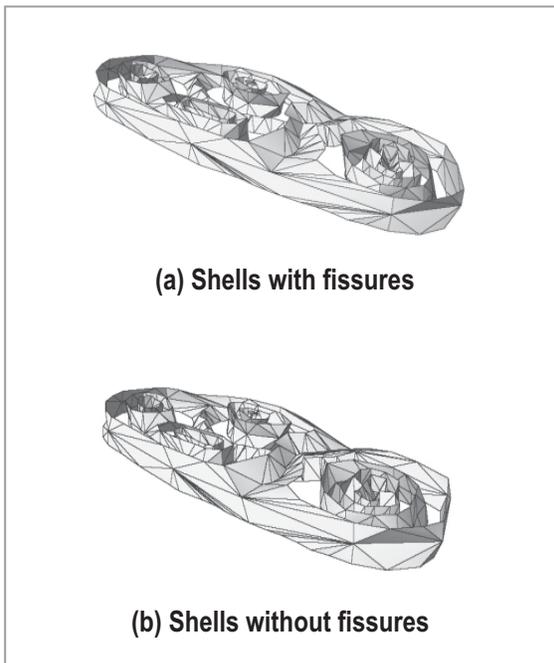
Raw mapping groups involving HOLES cannot be a base for surface reconstruction, because:

- (a) Simultaneous death or birth of contours must be solved.
- (b) Geometrically impossible surfaces must be eliminated.

Joining Shells

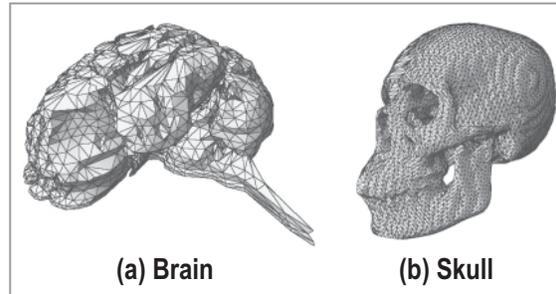
The Boundary Representation (B-REP) is used for the 2-manifold $M = M_1^2 \cup M_2^3 \cup M_3^4 \cup \dots$ with the M_i^{i+1} being the 2-manifolds (with border) produced in the surface building. The B-REP structure makes explicit the face neighborhood relations, the normal vector uniformity and the borders. In this manner, the quality of the manifold M may be evaluated.

FIGURE 5
Integrated shells difference



2.3 RESULTS

FIGURE 6
Results of the 2-D Shape Similarity
in 2-Manifold Reconstruction



2.4 CONCLUSIONS

- (i) The presented method is successful in avoiding overstretched surfaces, because of the simultaneous evaluation of geometrical and topological conditions for 2-manifold reconstruction based on 2-D shape similarity.
- (ii) The algorithm for shell integration detects and corrects discontinuities between shells caused by the differences among the boundaries of each 2-manifold with border. In addition, this algorithm permits the uniformity among the normal of the faces and therefore improves the quality of the final 2-manifold.

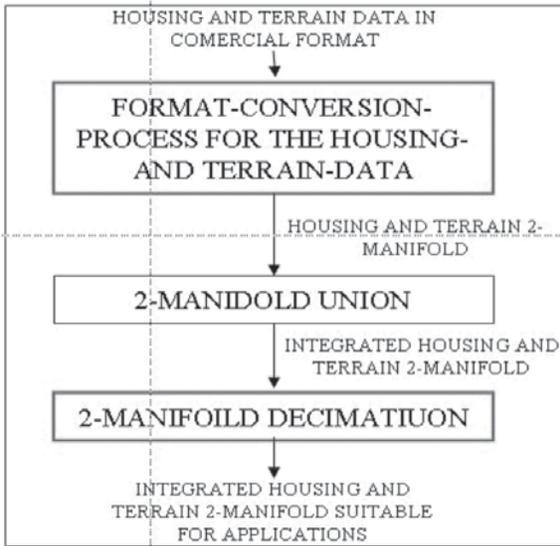
3. INTEGRATION OF 2-MANIFOLDS FOR HOUSING AND TERRAIN DATA. CONTEXT

1. Terrain data is usually available in grid or elevation form (arrays of orthogonal sampled geo-data) and iso-altitude contour.
2. Housing data is available in facet-oriented form (simplified, incomplete architectural B-Reps).

Telecommunication Ray-tracing (RT) techniques require flat facet based, integrated data with Housing AND Terrain information.

Housing and terrain modeling process:

FIGURE 7
Chart of the Integration of 2-manifolds for Housing and Terrain Data

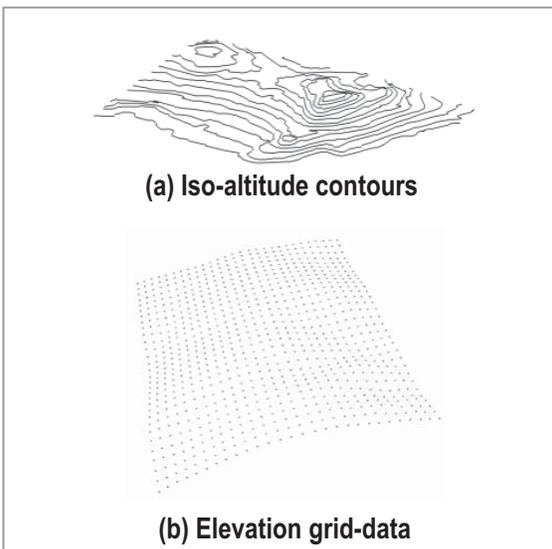


3.1 METHODOLOGY

Surface Modeling

Terrain Representation

FIGURE 8
Terrain representation



TASK 1

Format-conversion-process for the terrain-data

FIGURE 9
Closing Iso-altitud contours

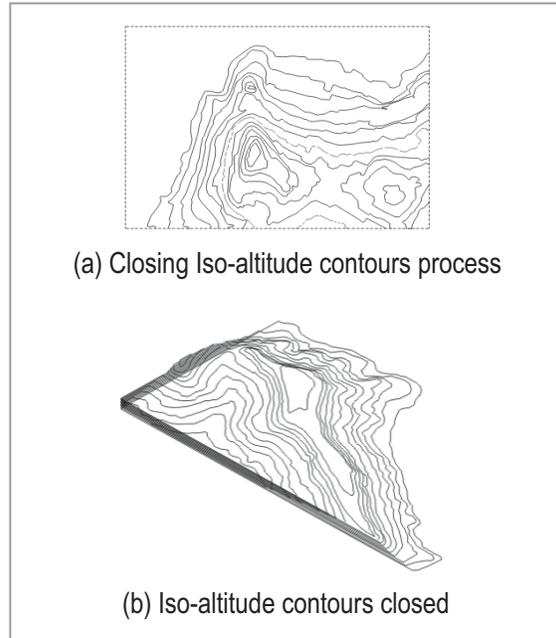
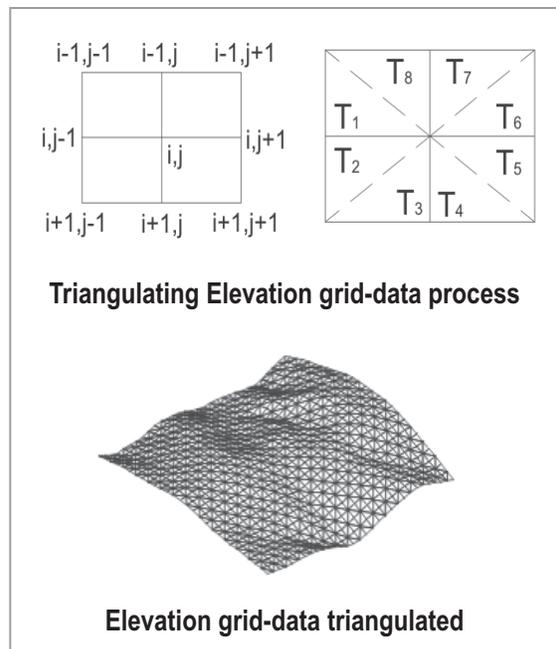


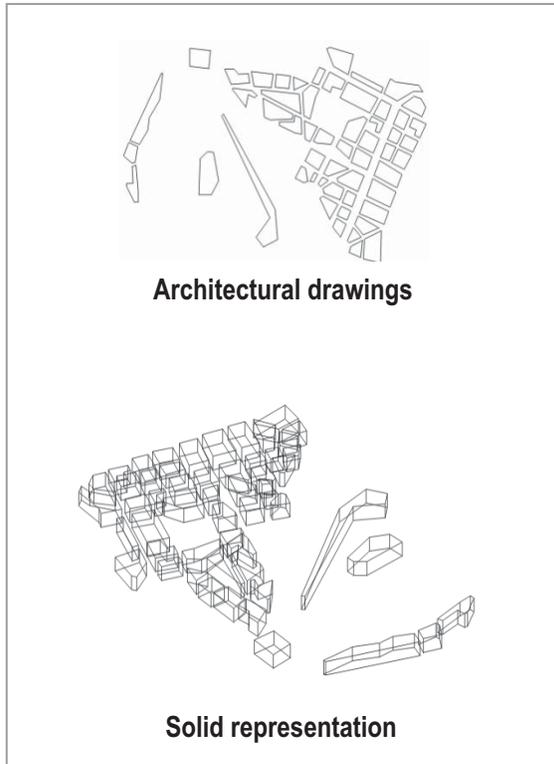
FIGURE 10
Elevation grid-data triangulation



Building Representation

TASK 2
Format-conversion-process for the housing-data

FIGURE 11
Housing conversion



Boolean Operations are not defined between 2-Manifolds with border The 2-manifold union requires

- (i) Every participant object should have border or should be an incomplete shell.
- (ii) Dangling faces or edges (by-product of surface intersection and splitting) should be eliminated.

FIGURE 12
2-Manifold union definition

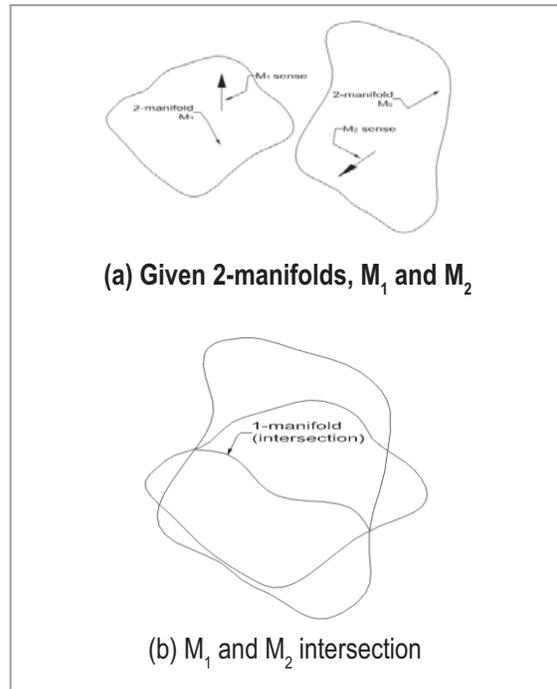
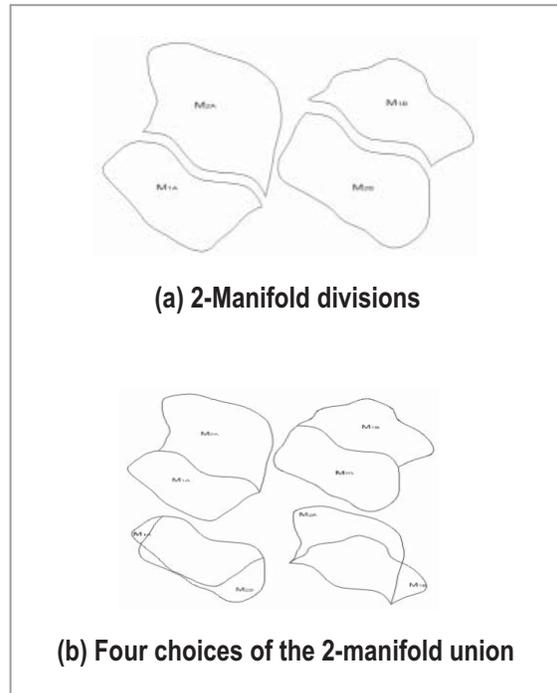


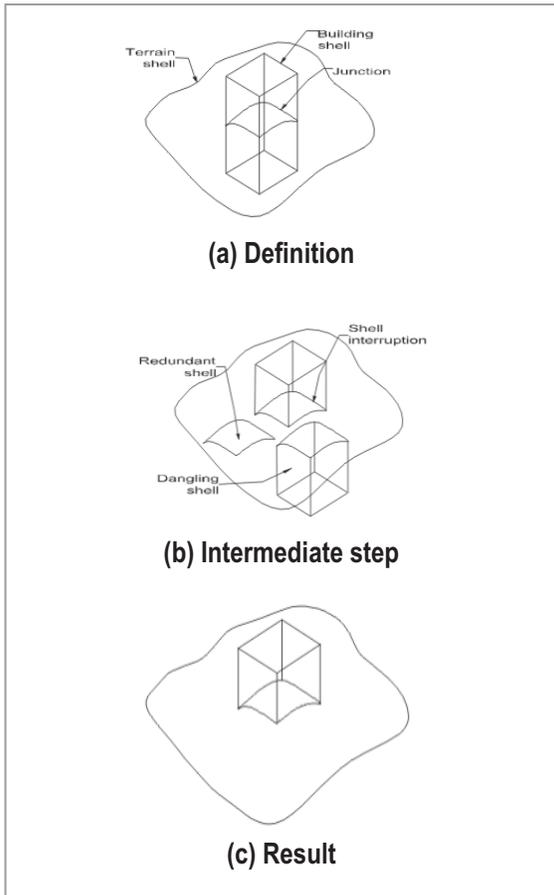
FIGURE 13
2-Manifolds union choices



TASK 3
Pseudo-Boolean Union Operations between housing and terrain shell

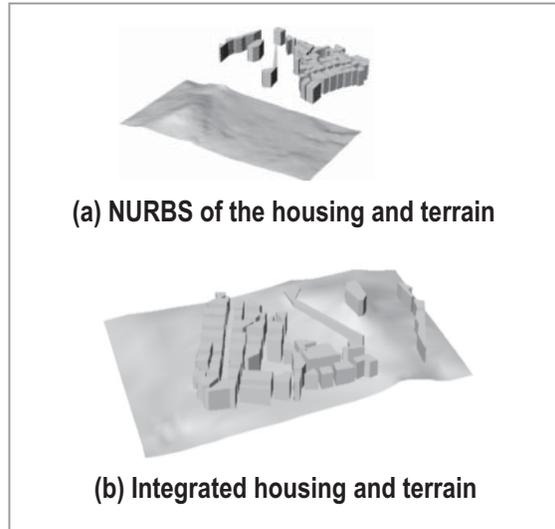
Pseudo-Boolean Operations were used so housing shells become protrusions on the terrain shell.

FIGURE 14
Housing and terrain pseudo-Boolean union process



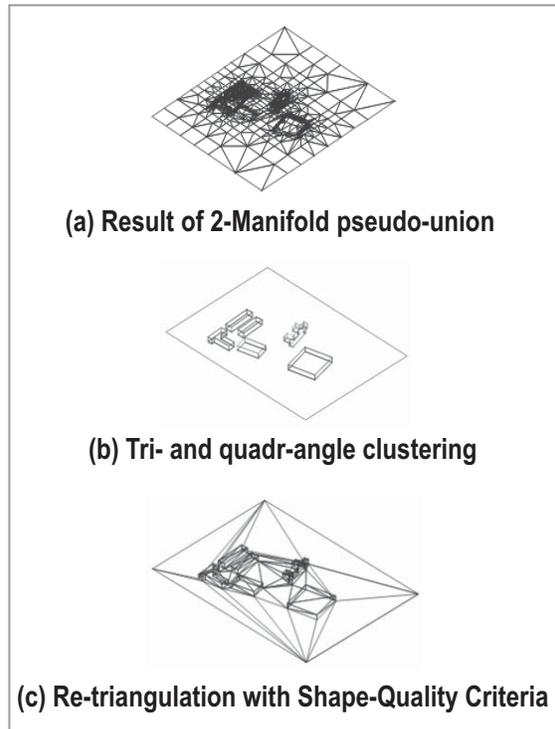
Intermediate Result

FIGURE 15
Housing and terrain in NURBS conversion for the pseudo-Boolean union



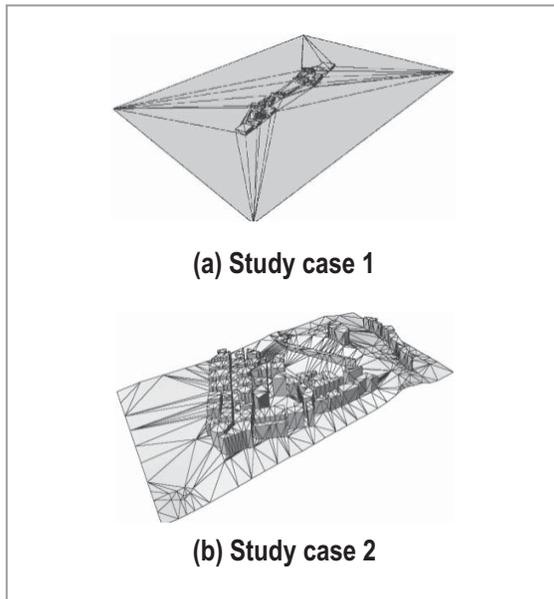
TASK 4. Decimation

FIGURE 16
Decimation process



3.2 RESULTS

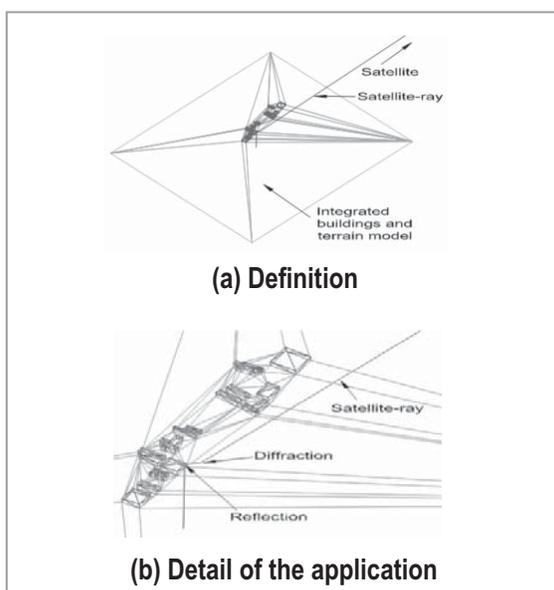
FIGURE 17
Result of the Integration of 2-manifolds for Housing and Terrain Data



3.3 APPLICATIONS

Diffracted-reflected ray

FIGURE 18
Application of the methodology



3.4 CONCLUSIONS

- (i) The presented methodology shows a process, which allows the integration of terrain and housing database in four steps, with two different format of terrain. The obtained model can be used for different applications such as Ray-Tracing, Telecommunication, Virtual Reality and Agriculture, among others.
- (ii) The modeling decimation step permits an improvement of the geometric characteristics of the resulting 2-manifold, which represents housing and terrain. This step permits a correct execution of downstream applications, as it controls the amount (and in future releases, the quality) of data.

4. PROJECT CONCLUSIONS

- (i) This project presents different methods and algorithms with deterministic and heuristic techniques, which can be applied in the administration, handling, transformation, operation and treatment of 2-manifolds.
- (ii) In addition, this project shows different processes for modeling and reconstructing surfaces, starting or getting 2-manifolds for several engineering applications.
- (iii) The algorithms presented in this project have geometric and topologic considerations, which achieve faithful models with good quality.
- (iv) Finally, this project does not only apply mathematic fields such as geometry or topology, also conceptual reasoning is applied to improve time and avoid errors in engineering calculations.

BIBLIOGRAPHY

- RUIZ, O. Understanding CAD / CAM / CG. American Society of Mechanical Engineers, ASME. Continuing Education Institute. Global Training. NY-USA. 2002. ASME Code GT-006.
- RUIZ, O., CADAVID, C., GRANADOS, M., PEÑA, S. and VÁSQUEZ E. 2D Shape Similarity as a Complement for Voronoi-Delone Methods in Shape Reconstruction. United Kingdom. 2005. Submitted to Elsevier Journal on Computer & Graphics.
- RUIZ, O., CADAVID, C., GRANADOS, M., PEÑA, S. and VÁSQUEZ E. Usage of 2D Region Similarity for Surface Reconstruction from Planar Samples. Seattle, Washington-USA. November 10-13, 2003. Submitted to SIAM, Conference on Geometric Design and Computing.
- FOTÁN, F.P., RUIZ, O. and PEÑA, S. Coupling Terrain and Building Database Information for Ray-Tracing Applications. Fortaleza-Brazil. November 17-19, 2003. Submitted to ClimDiff, Conference on Coupling Terrain and Building Database with Propagations Models for Loss Predictions.
- RUIZ, O., CADAVID, C., VÁSQUEZ E., GRANADOS, M. and PEÑA, S. Virtual Perturbations to Solve Degeneracies in Voronoi-Delone Methods. Plzen-Czech Republic. January 31-February 4, 2005. Submitted to WSCG 2005.
- RUIZ, O. and KARANGELIS, G. Boundary Representation of Anatomical Features. Computer Graphics Topics ISSN:0936-2770 2002;13(6): 24-25.
- BAREQUET, B. and SHARIR, M. Piecewise-linear interpolation between polygonal slices. United Kingdom. 1996. Elsevier: Computer Vision and Image Understanding. 63(2):251-272.
- BOISSONAT, J.D. and GEIGER, B. Three Dimensional Reconstruction of Complex Shapes based on Delaunay Triangulation. San Jose, USA, 31 Jan-05 Feb 1993. Bellingham-USA. In: Acharya RS, Goldgof DB, editors. SPIE Proceedings Vol. 1905: Biomedical Image Processing and Biomedical Visualization: SPIE Press, 1993. p. 964-975.
- FOMENKO, A. and KUNII, T. Topological Modeling for Visualization. Tokyo. 1997. Springer Verlag.
- SHINAGAWA Y., KERGOSIEN Y. and KUNII, T. Surface coding based on Morse Theory. Los Alamitos, California-USA. 1991. IEEE Computer Graphics and Applications. 11(5):66-78.
- DE FLORIANI, L., PUPPO, E. and MAGILLO P. Applications of Computational Geometry to Geographic Information Systems. Genova-Italy. 1999. CiteSeer. p 16-27.
- SÁKÖSY, F. Gis Functions-Interpolation, Periodica Polytechnica Ser. Civ. Eng. 1999. Volume 43, p. 63 - 86.
- BARBOSA, R.L. and CUSTÓDIO, J.F. Geração de um Modelo Digital de Terreno por Aproximações Sucesivas. São Paulo-Brazil. 1998. p. 5, Unesp.
- VAN BEERS, W. and KLEIJNEN, J. Kriging For Interpolation in Random Simulation. Tilburg-Netherlands, Oct. 2001.Center-Discussion paper. p. 22
- GEBHARDT, A. PVM Kriging with R. Klagenfurt-Austria. 2003. DSC 2003 Working Papers. p. 10.
- POPOVICI, V and. THIRAN, J.P. PCA in Autocorrelation Space. Quebec-Canada. August 2002. ICPR 2002. p. 4.
- RUIZ, O. and NEUGEBAUER, P. Topologically Consistent Partial Surface Reconstruction from

- Range Pictures. Las Vegas-USA. Nov. 19-23 2000. Computer Graphics and Imaging (CGIM) conference of IASTED (Intl. Assoc. of Science and Technology for Development).
- MURTA, A. A General Polygon Clipping Library. Manchester-UK. 1999. Advanced Interfaces Group, Department of Computer Science. University of Manchester.
- VÁSQUEZ, E. Surface Reconstruction. Medellín-Colombia. 2003. Final Project to obtain the B.Sc. Diploma in Computer Science. CAD / CAM / CAE Laboratory-EAFIT University.
- GEIGER, B. Three-Dimensional Modeling of Human Organs and its Application to Diagnosis and Surgical Planning. Sophia Antipolis, France. 1993. Institut National de Recherche en Informatique et Automatique-INRIA. Technical Report RR-2105.
- KRISHNAN S. and MANOCHA D. Computing Boolean Combinations of Solids Composed of Free-form Surfaces. North Carolina-USA. 1996. Department of Computer Science-University of North Carolina.
- GARCÍA, M.J. Lecture Notes in Advanced Numerical Analysis. Medellín-Colombia, January 2003. EAFIT University.
- RUIZ, O., CADAVID, C. and GRANADOS, M. Evaluation of 2D Shape Likeness for Surface Reconstruction. Journal Anales de Ingeniería Gráfica ISSN:1137-7704 2002;1(15):16-24.
- FELICÍSIMO, A.M. Modelos Digitales del Terreno. Oviedo-Spain. 1994. University of Oviedo.
- PIEGL L. and TILLER W. The NURBS Book. New York-USA. 1997. Springer-Verlag. Second Edition. ISBN 3-540-61545-8.
- HASTIE, T. and STUETZLE, W. Principal curves. Alexandria, Virginia-USA. 1989. Journal of the American Statistical Association, Vol. 84, p. 502-516.
- KEGL, B., and KRZYZAK, A. Piecewise linear skeletonization using principal curves. Los Almitos, California-USA. 2002. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 24, N. 1, p. 59 - 74.
- SHEWCHUK, J.R. Triangle: Engineering a 2D Quality Mesh Generator and Delaunay Triangulator. Philadelphia, Pennsylvania-USA. May 1996. Applied Computational Geometry, ACM. p. 124-133.

Internet Bibliography

Schlumberger Oilfield Glossary. [On line]. [Visited in September 06, 2004]. Available from: <http://www.glossary.oilfield.slb.com/>.

Fact Index, Mathematical and Natural Sciences. [On line]. [Visited in September 05, 2004]. Available from: <http://fact-index.com/>.

The Free Dictionary by Farlex. [On line]. [Visited in September 06, 2004]. Available from: <http://encyclopedia.thefreedictionary.com/>.

Outfo Open Information Project. [On line]. [Visited in September 10, 2004]. Available from: <http://outfo.org/>.



DISEÑO DE UN SISTEMA PARA SIMULACIÓN DE UN VUELO EN UN AVIÓN COMERCIAL

JUAN FELIPE TETTAY VILLEGAS. jtettay@epm.net.co
Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS
GESTIÓN DE PROYECTOS

ASESOR PRINCIPAL
Ing. IVÁN DARÍO ARANGO

SECTOR BENEFICIADO
Parques de diversión, gente de bajos recursos

RESUMEN

En el país existen varios parques que cuentan con aviones comerciales donados por alguna empresa, para que la gente pueda entrar al avión y disfrutar de él. La mayoría de las personas que visitan esta atracción no han tenido la oportunidad de hacer un viaje en un avión real debido al costo que esto implica y quieren saber cómo es un avión por dentro.

Durante el proyecto se analizan las opciones para implementar un sistema de simulación de vuelo a un avión comercial y se utiliza el diseño metódico para obtener la solución más adecuada.

El simulador consta de un sistema de movimientos que utiliza un equipo hidráulico y un controlador de movimientos, así como un conjunto de aparatos de reproducción de audio y video en la cabina de la aeronave, y un método de sincronización entre los movimientos y el video. Todos los sistemas son manejados por computador a través de una interfaz gráfica de manera que el sistema pueda ser controlado fácilmente por el operario.

ABSTRACT

Colombia has several theme parks that have commercial airplanes donated by an airline, for the people to visit the aircraft, get to know how it looks inside, and enjoy it. Most of the people which visit this attraction, have not been able to experience a real flight because of the costs this implies and want to see how an airplane inside is.

During the project, the options to implement a flight simulating system to a commercial airplane are analyzed, and then the best-suited solution is found with the help of the methodical design processes.

The simulator has a movement system which uses hydraulic equipment and electronic positioning drivers. It also has a set of devices that play audio and video inside the airplane's cabin, and a synchronization method between movements and the audiovisual media. Desktop computers are used to operate the complete system through a graphic interface so it can be easily controlled by the worker.

PALABRAS CLAVES

Avión, simulador, parques de diversión, sistema hidráulico, sistema audiovisual, sincronización.

KEY WORDS

Airplane, Simulator, theme park, hydraulic system, audiovisual system, synchronization.

INTRODUCCIÓN

Durante la carrera de Ingeniería Mecánica se ha estudiado varias áreas del conocimiento, tales como matemática, física, electrónica, informática, etc. Un área que reúne todas las mencionadas anteriormente es la mecatrónica. Ésta consiste en fusionar la ingeniería mecánica con la electrónica y la informática. Para diseñar y construir un simulador de vuelo es necesario acudir a esta área.

Con el paso del tiempo, los antiguos aviones comerciales han pasado a ser obsoletos. Algunos de ellos han sido donados en Colombia por aerolíneas comerciales como Avianca y ACES, y se encuentran exhibidos en parques de diversión, aeroparques, etc. Actualmente estos aviones son utilizados para que la gente entre a verlos, los conozca y los disfrute. Su fin entonces, no es más que el de divertir y educar a los visitantes de dichos lugares.

El proyecto consiste en diseñar un sistema de simulación de vuelo que pueda ser adaptado a un avión comercial que se encuentre fuera de uso. El simulador no será operado por los visitantes, sino por un operario encargado de hacerlo. Los espectadores presenciarían un vuelo simulado por un video mostrado en pantallas al interior del avión y por movimientos sincronizados con el video.

SISTEMA AUDIOVISUAL

El sistema audiovisual del avión consiste en un conjunto de aparatos que reproducen el sonido y el video necesario para la simulación. La persona entra al avión, se sienta en la silla y verá que en las ventanas originales del avión se encuentran pantallas planas de cristal líquido (TFT) que reproducen un video simulando un vuelo real. Es importante destacar que el sistema debe reproducir dos videos simultáneamente, uno para el lado derecho y otro para el lado izquierdo del avión.

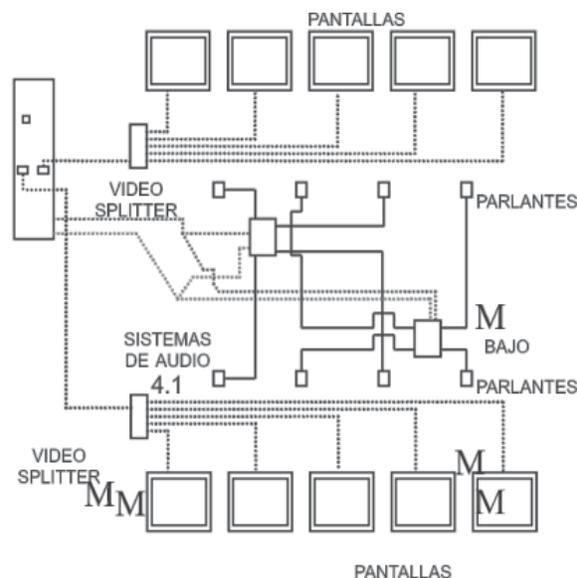
Después de analizar varias alternativas, el diseño escogido utiliza una tarjeta de video capaz de

manejar dos monitores simultáneamente, de manera que cada video pueda ser reproducido por el lado correspondiente y utiliza un video splitter, o multiplicador de imagen, para poder mostrar la misma imagen en las pantallas de cada lado.

El sistema de audio reproduce el sonido asociado con el video, a través de un sistema ubicado en la cabina (donde van los pasajeros) del avión. Éste es indispensable para poder generar la sensación adecuada. Después de analizar las alternativas disponibles se escogió un sistema dolby® digital 4.1, el cual consta de cuatro parlantes (dos frontales y dos traseros) y un reproductor de bajos. Todo este sistema es controlado por una CPU que tiene la tarjeta de video mencionada anteriormente y una tarjeta de sonido capaz de decodificar el sonido 4.1.

La configuración del sistema audiovisual puede verse a continuación:

ILUSTRACIÓN 1
Configuración sistema audiovisual



SISTEMA DE MOVIMIENTOS

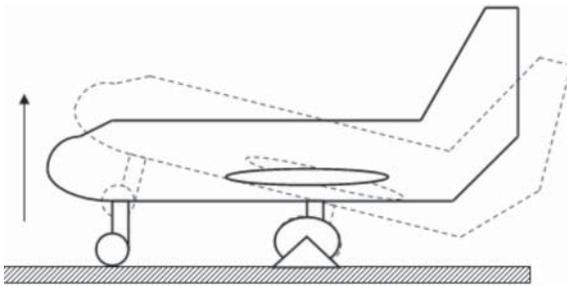
El sistema de movimiento está encargado de mover el avión en su totalidad acorde con lo que se muestra en

el video. Para ello es necesario un equipo hidráulico puesto que un sistema eléctrico o neumático no son recomendables para esta aplicación debido al costo, consecución de repuestos, facilidad de control y cargas que permiten manejar.

Se definió también un apoyo que le permitiera al avión moverse (más no moverlo) con facilidad y con una restricción de un solo grado de libertad. Se determinó que el mejor punto para apoyar el avión es utilizando el tren trasero porque viene diseñado de fábrica para asumir las cargas y distribuirlas por la estructura. Así mismo, esta parte del avión le permite girar con facilidad puesto que ya tiene los rodamientos y el mecanismo para ello.

ILUSTRACIÓN 2

Opción de movimiento con el apoyo del avión



Para la selección del equipo hidráulico se utilizó como ejemplo un Boeing 727-200, igual al que se encuentra en el aeroparque Juan Pablo II en Medellín, Colombia. Para este avión se determinó que el equipo hidráulico debía levantar una carga de 20 toneladas, incluyendo la aeronave y los pasajeros. Además se determinó una presión inicial de trabajo de 2000 psi. A partir de estos datos se determinó el tamaño del actuador y una velocidad de ascenso y descenso del avión de 10 cm/s. Posteriormente determinaron la bomba, el motor y el acople requerido. Una vez se tiene el caudal de trabajo y la presión del sistema se procedió a seleccionar cada uno de los componentes del sistema, los cuales aparecen en el diagrama hidráulico.

TABLA 1
Elementos del sistema hidráulico

Item	Descripción
1	Tanque de aceite de 90 galones
2	Visor de nivel y temperatura
3	Filtro de aire 50AT03CNXDDN
4	Filtro de succión
5	Bomba de caudal fijo PZG3A 696
6	Motor eléctrico Siemens 1LA4 187-4YA80 con acople Rexnord Omega E20
7	Válvula reguladora de presión RAH121 K 30 50 12P
8	Válvula proporcional para regular caudal DF161CD024HW12P
9	Válvula direccional Cetop 8 4/3 referencia D61VW2C1NJP
10	Válvula contrabalance BC10PH
11	Válvula de retención pilotada CPOM6DDV
12	Manómetro de 0 – 3000 psi con válvula aisladora PN 400S.
13	Cilindro hidráulico 6.00BB – 2HCTS44A – 115.570
14	Filtro de retorno con bypass 50AT03CN25DDH
15	Un arrancador trifásico de 104 A

El sistema hidráulico es controlado por un sistema de posicionamiento diseñado por la universidad EAFIT y Maquitrónica Ltda. Éste se comunica a través del puerto serial y por ende es bastante fácil de adaptar a cualquier computador. El control trabaja con PWM (pulse width modulation) y de esta manera se puede adaptar a la bobina de la válvula proporcional, regulando así la posición, velocidad y aceleración de todo el sistema.

ILUSTRACIÓN 3
Diagrama hidráulico

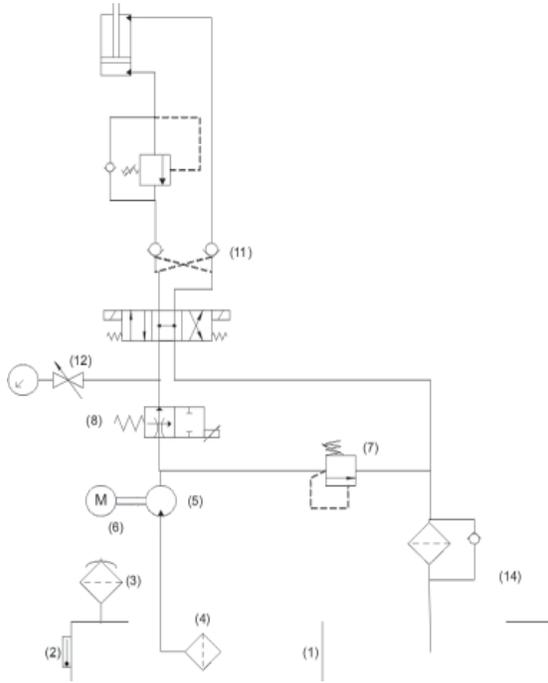
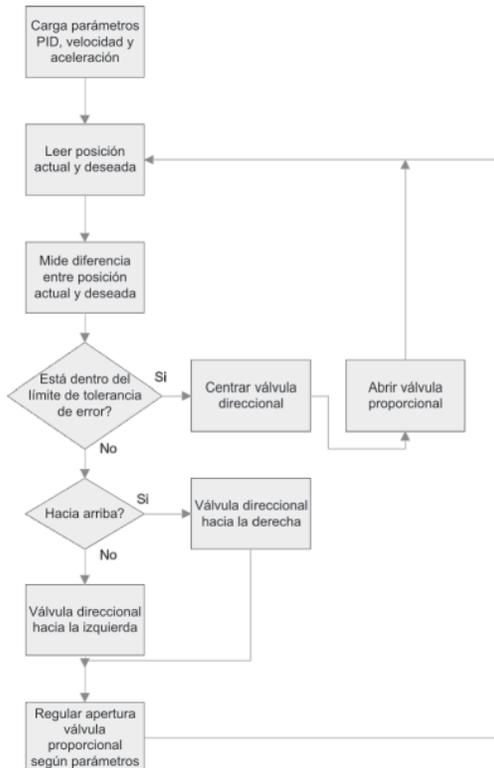
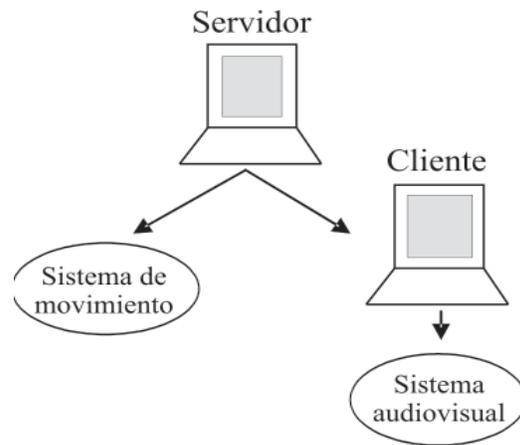


ILUSTRACIÓN 4
Diagrama del controlador



El sistema de movimientos es controlado por un computador manejado por el operario directamente, denominado servidor. Este computador, a su vez está conectado por medio de una red ethernet a la CPU encargada de controlar el sistema audiovisual, el cual es activado o desactivado mediante una interfaz gráfica en el servidor.

ILUSTRACIÓN 5
Esquema de control del simulador



Es indispensable definir previamente la rutina de movimientos que debe seguir el actuador de acuerdo a los movimientos mostrados en el video. Estos valores son almacenados en una matriz que es leída por el programa y éste envía el actuador a cada posición. La matriz contiene las posiciones del actuador para cada segundo, y por ende, el actuador es enviado a una posición nueva en este mismo intervalo de tiempo. La generación de esta matriz es algo bastante demorado y tedioso normalmente, puesto que hay que ir registrando los movimientos con una frecuencia de un (1) segundo. Para este proyecto se creó un programa que utiliza el mouse, al cual le fueron definidos unos topes de carrera que coinciden con la carrera del actuador, para registrar los puntos de la matriz. El programa se inicia simultáneamente con el video y así visualmente se

van determinando los movimientos del avión con el mouse y su posición es registrada cada segundo. Los puntos registrados eran sometidos posteriormente a un filtro que verificaba la validez de los puntos teniendo en la cuenta la rapidez del sistema para que no se fuera a superar este valor entre punto y punto. Este método resultó ser bastante rápido y eficaz.

Asegurando que el video y los movimientos comiencen simultáneamente mediante la comunicación por red, la secuencia de movimientos y la película duran exactamente lo mismo y con una tasa de lectura de las posiciones exactamente cada segundo, se garantiza la sincronización entre video y movimiento. Este es un método asíncronico, es decir, se determina una tasa de lectura de datos para ambos extremos y no como en el método sincrónico que necesita una señal de reopción del dato para enviar el siguiente. Éste método requiere mayor procesamiento y comunicación por lo que no es apto para este proyecto.

Se realizó un estudio sobre la posibilidad de programas que reporten las coordenadas del objeto, por decir el avión, en un mundo específico. Después de consultar al Profesor Helmut Trefftz de la universidad EAFIT, especialista en realidad virtual se determinó que esto es imposible con un video ya existente, factible con un video que utilice marcas en el suelo llamadas landmarks y que el método más práctico era generando un mundo con un programa de modelación 3D y luego definiendo una rutina por este mundo.

CONCLUSIONES

La tecnología actual facilita muchas de las tareas que antes eran difíciles de llevar a cabo y con costo elevado. Las pantallas planas y la capacidad de procesamiento, han permitido establecer un sistema de reproducción audiovisual de alta calidad y de buena relación costo beneficio. Antes de que las pantallas planas de cristal líquido TFT existieran esto era prácticamente imposible dado que el espacio

requerido por un monitor CRT no lo permitía. Los video splitter, o multiplicadores de imagen, nos permiten tener la misma imagen en tantos monitores como queramos. Los equipos requeridos para este proyecto se consiguen fácilmente en varias partes de la ciudad.

La sincronización del video con los movimientos debe hacerse mediante un método asíncronico puesto que la retroalimentación de posición requiere de una alta carga para el procesador lo que ocasiona que el video se congele por lo que el simulador pierde validez.

Un sistema hidráulico es el más adecuado y único capaz de lograr los movimientos de las cargas requeridas por este proyecto.

Los apoyos ideales para estos proyectos dependen de cada avión, pero en general el mejor conjunto es un actuador ubicado en la punta del avión, con el que se pueda generar el ángulo de cabeceo, y pivotar el avión utilizando sus ruedas, las cuales ya se encuentran diseñadas de fábrica para resistir el peso del avión.

Los métodos para identificación de las coordenadas del avión en un video ya existente son sumamente complejos o imposibles a no ser de que el video se haya hecho pensando en una futura extracción de las coordenadas utilizando marcas en la superficie terrestre para luego deducir la posición por triangulación. En el caso de tener un video ya grabado, el mejor método es el empleado en este proyecto ya que es sumamente rápido y se puede acondicionar tanto como el diseñador lo desee.

Estos proyectos son ejecutables en cualquier parque de diversiones que cuente con un avión y esté dispuesto a invertir para convertirlo en simulador. El proyecto es más de una índole social que lucrativa puesto que la recuperación de la inversión está sujeta a la cantidad de visitantes.

BIBLIOGRAFÍA

1. LIBROS

TETTAY VILLEGAS, Juan Felipe. Diseño de un sistema para simulación de un vuelo en un avión comercial. Medellín, 2004, 161 p. Proyecto de grado (Ingeniero Mecánico). Universidad EAFIT. Escuela de Ingeniería. Departamento de mecánica.

2. INTERNET

Creative@

Creative product Catalog

Disponible en: <http://www.creative.com/products/product.asp?prodid=446> (6 - Mayo - 2004)

DCB@

Disponible en:

http://www.camiresearch.com/Data_Com_Basics/data_com_tutorial.html#anchor418474 (02-may.-2004)

Express@

Research – Powerplant Model: JT8D-17R

Disponible en: <http://www.expressaviationusa.com/Research/JT8D-17R.html> (13–Mayo 2004)

Informatique@

Kelkoo Informatique - Caractéristiques techniques

Disponible en: http://informatique.kelkoo.fr/b/a/ps_9148734/110601.html (16 – Mayo – 2004)

Irvine@

Irvine World News Online Edition

Disponible en: <http://www.irvineworldnews.com/Bstories/mar21/flight.html> (17 – Mar – 2004)

Net@

Video Splitter – VGA Splitter

Disponible en: <http://www.networktechinc.com/vsplt-pc.html> (6 – Mayo – 2004)

Siemens@

Motores y Sistemas de Variación de Velocidad

Disponible en: <http://www.siemensandina.com/archivos/peru/042003c11.pdf> (31 – May - 2004)

Siemens Cat@

Motores trifásicos de inducción

Disponible en: http://prof.usb.ve/jaller/Guia_Maq_pdf/cat_motores_ind.pdf

(31 – May – 2004)

Theme@

An Introduction to Themed Attraction Design:

Defining Terms. Disponible en: <http://www.themedattraction.com/intro.htm> (20–abr – 2004)

3. FOLLETOS ONLINE

PARKER HANNIFIN CORPORATION. Threaded

Cartridge Valves – Proportional Valves. Catalog

3105/USA. Elyria, Estados Unidos: Parker. p. , PV 28 – PV 31. Disponible en: <http://www.parker.com/ihd/cat/english/3105e08.pdf>

_____. Threaded Cartridge Valves – Relief

Valves. Catalog 3105/USA. Elyria, Estados

Unidos: Parker. p. PC58-PC60. Disponible en: <http://www.parker.com/ihd/cat/english/3105b20.pdf>

_____. Industrial Hydraulic Valves – Directional

Control Valves. Catalog 2502/USA. Elyria,

Estados Unidos : Parker. p. A98-A112. Disponible en: <http://www.parker.com/hydraulicvalve/cat/english/2502a006.pdf>

_____. Industrial Hydraulic Valves –

Counterbalance Valves. Catalog 2502/USA.

Elyria, Estados Unidos : Parker. p. F39-F46. Disponible en: <http://www.parker.com/hydraulicvalve/cat/english/2502f003.pdf>

_____. Hydraulic Control Division –Pilot

Operated Check Valves. Catalog HY11-2500/ UK. Kaarst, Germany. p. 7-9 – 7-13.

Disponible en: http://www.parker.com/euro_hcd/new_web_page/pdf_2500uk/cpom.pdf

_____. Hydraulic and Lube Filter Products - 12AT/50AT Spin on filters. Metamora, Ohio - Estados Unidos. p. 8. Disponible en: <http://www.parker.com/hydraulicfilter/cat/english/2300a001.pdf>

REXNORD CORPORATION. Omega couplings. s.l. p. 18 Disponible en: <http://www.rexnord.com/portal/repository/4000.pdf>

4. PERSONAS

CEBALLOS, Andrés. Ingeniero mecánico Universidad Pontificia Bolivariana, Ingeniero en Hidromecánica Ltda.

TREFFTZ, Helmuth. Profesor tiempo completo departamento de Sistemas universidad EAFIT. Ingeniero de Sistemas, Master en Computer Science, Ph.D en Electrical and Computer Engineering.

VICTORIA, Kenji Ernesto. Estudiante ingeniería de producción Universidad EAFIT.

5. PROGRAMAS DE COMPUTADOR

Parker Hannifin Corporation (Cleveland, Ohio). InPHorm Cylinders [programa de computador en disco] Versión 1.5.02. Cleveland, Ohio. Parker Hannifin Corporation 1998.

Parker Hannifin Corporation (Cleveland, Ohio). InPHorm Hydraulic Filters [programa de computador en disco] Versión 1.1. Cleveland, Ohio. Parker Hannifin Corporation 1998.

Parker Hannifin Corporation (Cleveland, Ohio). InPHorm Hydraulic Pumps [programa de computador en disco] Versión 1.1. Cleveland, Ohio. Parker Hannifin Corporation 1998.

Parker Hannifin Corporation (Cleveland, Ohio). InPHorm Hydraulic Valves [programa de computador en disco] Versión 1.1. Cleveland, Ohio. Parker Hannifin Corporation 1998.

Rexnord Corporation. Rexnord's Coupling Selection Program [programa de computador en disco] Versión 3.1. Rexnord Corporation 1996.



EL MÉTODO DE DESCOMPOSICIÓN SVD EN EL DIAGNÓSTICO TÉCNICO

ALEXANDER PORTALA CONTRERAS. *aportala@eafit.edu.co*
Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS

ÁREA DE MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

ASESOR PRINCIPAL

Ing. FRANCISCO JAVIER BOTERO HERRERA

RESUMEN

Este artículo presenta los conceptos fundamentales y los resultados preliminares de la aplicación del método SVD en el diagnóstico técnico, el cual es un sistema de monitoreo de condición que evalúa múltiples fallas que afectan el estado de un sistema técnico.

El método consiste en obtener una matriz de observación de síntomas transformada la cual es descompuesta en valores singulares (SVD). Este procesamiento permite extraer la información total relacionada con las fallas del sistema mediante el uso de índices globales que miden la evolución del daño generalizado.

Haciendo uso de estos conceptos se desarrollan programas en Matlab® y Labview®, que presentan de forma gráfica la evolución de las fallas generalizadas.

El método SVD es evaluado por medio de la simulación de fallas en un banco experimental de pruebas con el fin de estimular la evolución de síntomas. Estos síntomas son almacenados en una matriz, procesados y evaluados, para determinar la pertinencia del método en la condición de estado de un sistema técnico.

ABSTRACT

This article presents the fundamental concepts and the preliminary results of the application of the SVD method in the technical diagnosis, which is a system of condition monitoring that evaluates multi faults that they affect the state of a technical system.

The method consists on obtaining a symptoms observation matrix which is decomposed in singular values (SVD). This processing allows extracting the total information related with the system's faults by means of the use of global indices that measure the evolution of the generalized damage.

Making use of these concepts is developed programs in Matlab® and Labview® that present in a graphic way the evolution of the generalized faults.

The SVD method is evaluated by means of the simulation of faults in an experimental model of

tests with the purpose of stimulating the evolution of symptoms. These symptoms are stored in a matrix, processed and evaluated, to determine the importance of the method in the state condition of a technical system.

PALABRAS CLAVE

Monitoreo de condición de estado, Vibración, Síntomas, Matriz de observación de síntomas, Descomposición en valores singulares, Índices de evolución del daño.

KEY WORD

Condition monitoring, Vibration, Symptoms, Symptom observation matrix, Singular value decomposition, Damage evolution indices.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Los equipos de monitoreo actuales trabajan bajo ciertos parámetros conocidos del sistema, que indican que parte de la máquina o que tipo de síntoma debe ser monitoreado, para clasificarlo de acuerdo algunos estándares y valores límites preestablecidos para esta medición.

Estos sistemas de monitoreo de condición de estado a pesar de predecir fallas independientes para cada síntoma en particular presentan inconvenientes para procesar múltiples observaciones de síntomas para múltiples fallas que se presenten en un sistema técnico crítico. No existe en la actualidad equipos tecnológicos que procesen múltiples síntomas y generen a su vez información relacionada con la evolución de la destrucción de la máquina.

Las cantidades fundamentales para el monitoreo de condición de estado y el diagnóstico son los síntomas quienes están contenidos en los datos medidos de un sistema variante en el tiempo. Los síntomas son observables y sensibles con respecto

a las fallas o daños. Por lo tanto, estas cantidades se pueden relacionar agrupándolas en una matriz de observación de síntomas, que las incorpora, y toma datos del sistema en instantes discretos de su vida.

El proyecto presenta el método de descomposición en valores singulares SVD utilizado para procesar la matriz de observación de síntomas de un sistema técnico, y de ahí extraer la información sobre la evolución del daño y la destrucción global de la máquina.

CONCEPTUALIZACIÓN DEL MÉTODO SVD

El proyecto esta basado en investigaciones anteriores desarrolladas por el Dr. Czeslaw Cempel en la universidad de Poznan, Polonia, quien desarrolló la aplicación del SVD a sistemas de monitoreo de condición de estado.

El método SVD trabaja con síntomas que se miden en una máquina través del tiempo, estas mediciones deben ser sensibles a las modificaciones del sistema técnico.

A partir de este concepto se crea la matriz de observación de síntomas, la cual es un arreglo de los síntomas medidos, y se define por $O_{pr} \in \mathbb{R}^{r \times p}$ donde: p , la dimensión fila, es el número de observaciones por síntoma y r , la dimensión de las columnas, es el número de síntomas observados.

Una vez elaborada la matriz de observación de síntomas O_{pr} es necesario transformar la matriz y aplicar el método del SVD, para obtener información sobre la destrucción de la máquina.

El proceso de transformación que se utilizó fue el de centrado y normalización con respecto al valor inicial. Esto hace que las columnas de síntomas sean ortogonales y se pueda pasar a la matriz O_{pr} de un espacio de síntomas a un espacio de fallas.

Después haber transformado a la matriz, se aplica la descomposición en valores singulares (SVD), con el fin de extraer diferentes modos de fallas generalizadas que evolucionan en un sistema. La aplicación del SVD para dimensionar la matriz de observación de síntomas, se expresa de la siguiente manera:

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

Donde:

U_{pp} - es una matriz ortogonal de dimensión p, de los vectores singulares izquierdos.

V_{rr} - es una matriz ortogonal de dimensión r, de los vectores singulares derechos.

\sum_{pr} - es una matriz diagonal de los valores singulares.

$$\sum_{pr} = \text{diag}(\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_z), \text{ con } \sigma_1 > \sigma_2 > \dots > \sigma_z > 0,$$

Por medio de la aplicación del SVD se puede evaluar el avance del desgaste $\sigma_i(\theta)$ y visualizar el perfil del daño generalizado del sistema técnico $SG(\theta)$ utilizando nuevos índices e indicadores relacionados con el SVD. Estos índices son presentados en la tabla 1.

TABLA 1
Indices del método SVD

Índice	Símbolo	Significado
Valor singular	σ_i	Índice del avance del desgaste. Longitud o energía de la falla generalizada
Síntoma de la falla generalizada	SG_i, SD_i	Distribución momentánea o perfil del daño
Evolución de la suma de la diagonal de los valores singulares	$DS(\theta)$	Índice global de la condición de estado del sistema técnico
Evolución de la norma de frobenius	$AF(\theta)$	Índice acumulativo de la condición de estado del sistema técnico
Evolución del determinante de desc. económica	$DS(\theta)$	Índice acumulativo de la condición de estado del sistema técnico
Suma de vectores singulares	$DS(\theta)$	Perfil total de la falla generalizada del sistema técnico

PROGRAMACIÓN DE HERRAMIENTAS VIRTUALES

Se programaron dos librerías en Labview®, y adicionalmente un programa en Matlab® que evalúan el método SVD en la matriz de observación de síntomas.

La librería Generador_Opr consiste en formar un conjunto de síntomas a partir de señales de vibración generadas a través de la medición de tres acelerómetros ubicados estratégicamente en un banco de pruebas, estos síntomas se capturan, y se almacenan en un archivo texto el cual es la matriz de observación de síntomas inicial.

La otra librería llamada MétodoSVD y el programa en Matlab® Main_svd, leen el archivo texto de la matriz formada por el programa anterior y grafican todas las representaciones del método SVD. Estos programas se ejecutan del siguiente modo:

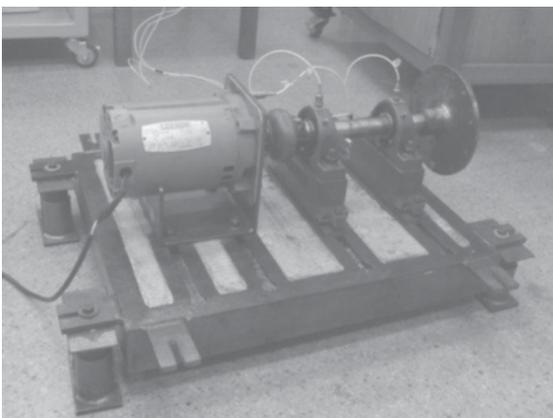
- Lectura de datos desde un archivo texto.
- Elaboración de la matriz de observación de síntomas.
- Transformación de la matriz O_{pr} .
- Descomposición en valores singulares.
- Elaboración de gráficas de los síntomas de fallas generalizadas, relaciones de covarianza, e índices de fallo generalizado del sistema técnico.

EVALUACIÓN DEL PROGRAMA

Los programas anteriormente presentados se evaluaron a partir de las mediciones tomadas a un banco experimental de pruebas perteneciente al laboratorio de mecánica experimental de la universidad EAFIT. En este banco se simularon fallos de desbalanceo de un sistema técnico.

Los datos medidos fueron capturados por medio del programa *Generador_Opr*, el cual transforma la información proveniente de los tres acelerómetros utilizados para obtener diversas características de la señal de aceleración que se analizan como síntomas.

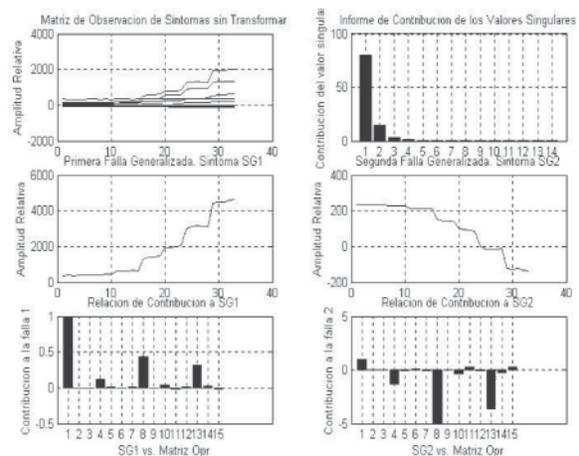
ILUSTRACIÓN 1 Banco experimental de pruebas



Entre los datos que se obtuvieron fueron descartados ciertos síntomas que por su comportamiento en las observaciones violaban el criterio de elección de síntomas dado por el Dr. Cempel en sus artículos anteriores. De esta manera se pasó de una matriz compuesta por 34 síntomas, a una matriz de 14 síntomas medidos, la cual contiene una información más relacionada con el daño interno del sistema técnico. Las características apropiadas para crear la matriz de observación de síntomas fueron valor RMS, varianza, valor máximo, valor mínimo de las señales de aceleración capturadas a través del tiempo.

Estos síntomas son luego procesados por el programa *Método_SVD* y *Main_SVD*, obteniendo así las representaciones de los índices de la evolución del daño en el sistema técnico analizado.

ILUSTRACIÓN 2 Aplicación del método SVD a la matriz de observación de síntomas



Las gráficas presentadas son incorporadas en el proyecto con el fin de demostrar que el programa cumple con el soporte teórico del método SVD y a su vez posibilita el análisis de la evolución global del daño en un sistema técnico para cualquier matriz de observación de síntomas.

ILUSTRACIÓN 3 Aplicación del método SVD a la matriz transformada

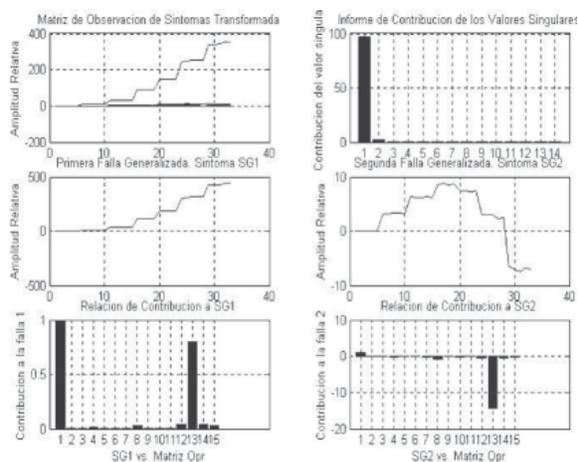
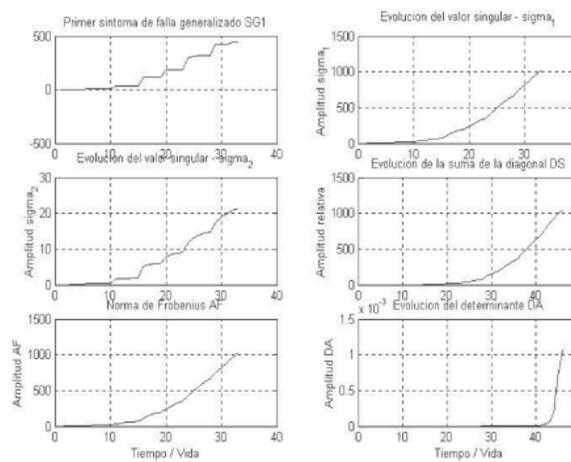


ILUSTRACIÓN 4 Índices de la falla generalizada del sistema técnico



CONCLUSIONES

La información existente de las investigaciones que tratan sobre la aplicación del SVD en el diagnóstico técnico fue recopilada, y presentada de forma clara y concisa, extrayendo de ahí conocimiento sobre el método y las bases teóricas necesarias para crear y procesar una matriz de observación de síntomas, y a su vez analizar la condición de estado de una máquina a partir de la evolución sus índices de falla generalizada.

La programación requirió la elaboración de la librería `Generador_Opr`, que permite la captura síntomas y su almacenamiento en una matriz de observación de síntomas en formato texto, que es procesada por la librería `MétodoSVD` ó por el programa `main_svd`. Estos programas ejecutan un algoritmo basado en la descomposición en valores singulares SVD y la transformación de centrado y normalización.

Desde un banco experimental de pruebas se tomaron mediciones de vibración de las cuales se extrajo ciertas características que fueron llamadas síntomas. Estos síntomas fueron almacenados en una matriz, que fue reducida por el criterio de elección de síntomas. Esta matriz fue evaluada por los programas

realizados generando representaciones gráficas concernientes al comportamiento de síntomas y a los índices del daño generalizado en la máquina.

Uno de los conceptos más importante del método SVD es el análisis de covarianza de los síntomas medidos con el síntoma de falla generalizada, que permite descartar los síntomas redundantes de la matriz de observación de síntomas y generar una matriz más sensible al daño que entregue índices certeros sobre evolución de la destrucción de la máquina.

RECOMENDACIONES

Se sugiere que al mismo tiempo en que se este midiendo los síntomas, se analice el comportamiento del sistema técnico mediante los otros tipos de monitoreo de condición de estado, para evaluar la certeza de los resultados obtenidos de los programas hechos en este proyecto.

La presencia de otros tipos de variables a medir como la temperatura ú otras propiedades físicas del sistema técnico, podrían generar alta sensibilidad con

respecto a las fallas en el sistema y serían síntomas ideales para procesar en la matriz de observación de síntomas.

La posibilidad de guardar los datos de la matriz de observación de síntomas en una tabla de Excell, y adicionalmente, el permitir eliminar columnas de la matriz de observación de síntomas desde Generador_Opr, facilitaría la manipulación de la información obteniendo así los datos de una forma más rápida y precisa.

Una vez comprobado efectivamente el método, se recomienda analizar un sistema técnico en gran parte de su vida útil, para sacar deducciones certeras sobre la aplicación del SVD al diagnóstico técnico.

NUEVAS VÍAS DE DESARROLLO

El proyecto de investigación busca servir de apoyo a futuras investigaciones de personas vinculadas en el área de mantenimiento y estudiantes para que desarrollen niveles de tendencia a partir de los índices de evolución de la falla generalizada que presenta el método SVD en el diagnóstico técnico, y de este modo se prediga con anticipación el tiempo de avería del sistema técnico.

BIBLIOGRAFÍA

BOTERO, Francisco. 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. Medellín, Colombia: Universidad EAFIT, 2003. 20 - 30 p.

CEMPEL, Czeslaw. Fault oriented decomposition of symptom observation matrix for systems condition monitoring. Hannover, Alemania: Hannover University, 2000. 2- 16 p.

_____. Multi fault condition monitoring of mechanical system in operation. XVII IMEKO world congress. Dubrovnik, Croacia. 2003. 1-4 p.

_____. Multidimensional condition monitoring of mechanical systems in operation. Mechanical systems and signals processing, Poznan, Polonia: Poznan University of technology. 2003. 1294 - 1301 p.

_____. Signals, symptoms, faults. Condition oriented multi dimensional monitoring of systems in operation. Poznan, Polonia: Poznan University of technology. 2000. 7 - 11 p.

CEMPEL, Czeslaw., y TABASZEWSKI, M. Extration methods of multi-fault information in machine condition monitoring. Key engineering materials, vol. 245 - 246. Poznan, Polonia. 215 - 221 p.

NATKE, H.G., y CEMPEL, C. Holistic dynamics and subsystem modelling: principles. International journal of systems sciences. Vol 30. Hannover, Alemania: University of Hannover, 1999. pp. 283 - 286.

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

_____ y _____. Symptom observation matrix for monitoring and diagnosis. Journal of sound and vibration. Hannover, Alemania: University of Hannover, 2001. 597 - 661, 603, 609 - 613 p.

TREFETHEN, Lloyd N. y BAU, David. Numerical linear algebra. Philadelphia, USA: SIAM. 1997. 25, 26, 33, 34, 331 p. ISBN 0-89871-361-7.

TRICICLO DE CARGA IMPULSADO POR UN MOTOR DE COMBUSTIÓN

J. CAMILO TORRES A. jtorres1@eafit.edu.co
Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS

DISEÑO DE SISTEMAS TÉCNICOS -
DISEÑO MECÁNICO

ASESOR PRINCIPAL

Ing. ALBERTO RODRÍGUEZ

EMPRESA

UNIVERSIDAD EAFIT

RESUMEN

El transporte desde el punto de vista económico es el factor que hace posible la distribución de productos, situándose en el lugar intermedio entre la producción

y el consumo. El proyecto busca ser una alternativa que ayude a fomentar la movilidad en la ciudad y en el campo con medios más económicos impulsando la economía formal e informal además del desarrollo de empresas, microempresas o negocios particulares.

La metodología utilizada inicia con la formulación de un problema que fue delimitado a partir de necesidades y deseos, expresados en forma de requisitos y convertidos en cualidades del producto final, utilizando toda una metodología de diseño que atraviesa el diseño conceptual, análisis de alternativas, identificación de fuerzas y cálculos de resistencia de materiales, sistema de transmisión y mecanismo de dirección, culminando el proyecto con la construcción del triciclo de carga.

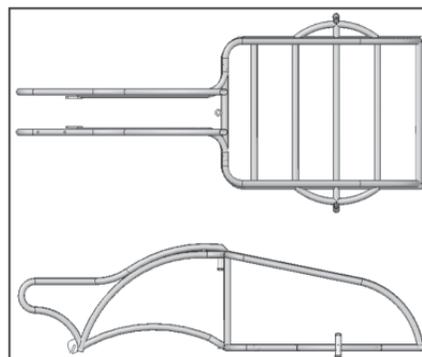
ILUSTRACIÓN 6

Producto final



ILUSTRACIÓN 7

Vistas de chasis



ABSTRACT

Transport from the economical point of view is the factor that makes possible the distribution of products, connecting products with consumers. The project seeks to be an alternative that helps to foment mobility in the city as well as in the country with less expensive means boosting formal and informal economy. The methodology used begins with the formulation of a problem delimited by desires and needs, expressed in requirements and converted in qualities of the final product, using a methodology of design that goes through conceptual design, alternative analysis, force identification and calculation of stress, transmission and steering mechanism, culminating the project with the construction of the vehicle.

PALABRAS CLAVE

Estructura organizacional, Estructura funcional, Flujos de fuerza y de energía, Inercia unitaria, área unitaria.

KEY WORD

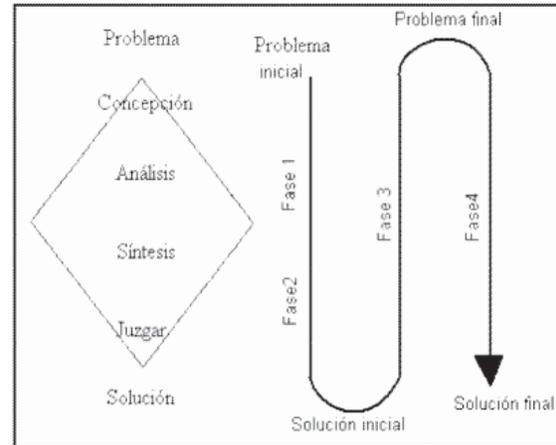
Organizational structure, functional structure, energy and force flows, unitary inertia, unitary area.

INTRODUCCIÓN

Muchos proyectos pueden llegar a productos finales similares, la pregunta entonces es ¿en que se diferencia este proyecto de otros cuyo fin es el mismo? Y la respuesta es, en los medios, en la forma como se concibe el producto, en las herramientas innovadoras que se desarrollaron: el proceso de diseño, el diseño conceptual, cálculo de resistencia y manufactura del producto. Estos son los temas que el artículo tratará.

PROCESO DE DISEÑO

ILUSTRACIÓN 8 Metodología de diseño



(VDI 2221)

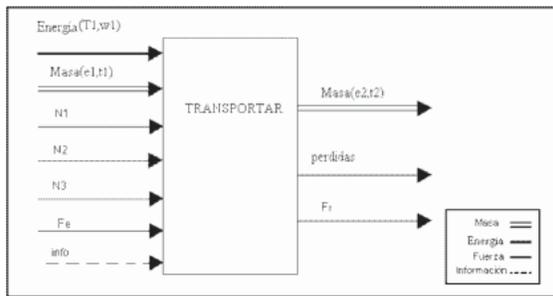
El proceso de diseño realizado fue lineal e iterativo, y se dividió en cuatro fases: la primera fase, consistió en el desarrollo conceptual del vehículo, donde se identificó la función y flujos principales, esto se expandió para determinar los flujos y las funciones secundarias. Para poder culminar esta fase fue necesario iniciar la segunda fase, lo cual implicó la generación de las posibles alternativas y la selección de una de ellas. Las fases uno y dos terminan cuando se llega a la solución inicial, donde los elementos ya tienen definida su función y su relación con otros. Este es el punto de partida del diseño corpóreo. Así se dió comienzo a la fase tres, la cual consistió en darle forma proporcional al vehículo, utilizando rectas y arcos ya sea tangentes, concéntricos o perpendiculares que representan los eje neutros de las tuberías. Obteniendo la forma se llega al problema final, que es la cuantificación de los flujos, la selección de subsistemas comerciales, y la identificación de la talla adecuada de una sección tubular, que impida que los flujos dañen el objeto, estos son los temas desarrollados en la última fase. Culminado todo este proceso se debe tener la información necesaria para la construcción del vehículo.

DISEÑO CONCEPTUAL

La primera parte del proyecto de diseño conceptual fue convencional, sin embargo a través del proceso se hizo una distinción respecto a los flujos, en vez de trabajar tres flujos como siempre se ha venido haciendo, se trabajaron cuatro flujos, haciendo una diferencia expresa entre flujos de fuerza y flujos de energía.

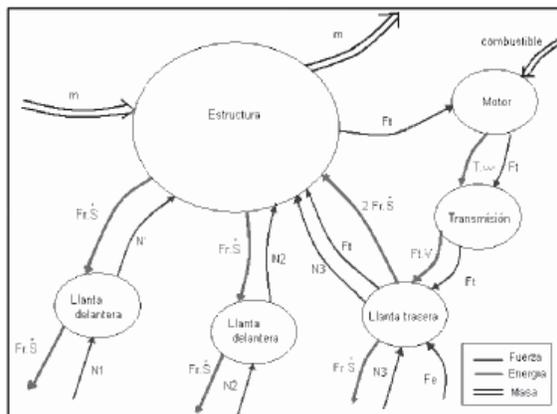
ILUSTRACIÓN 9

Función principal y flujos complementarios



Otro desarrollo en el aspecto conceptual fue desarrollar la estructura organizacional y la estructura funcional con estos flujos. Se determinaron varias características en estos diagramas, primero se identificó que las fuerzas internas manejan una ruta cíclica dentro la estructura, también se observó que para transmitir un flujo de energía se necesita un flujo fuerza.

ILUSTRACIÓN 10
Estructura organizacional



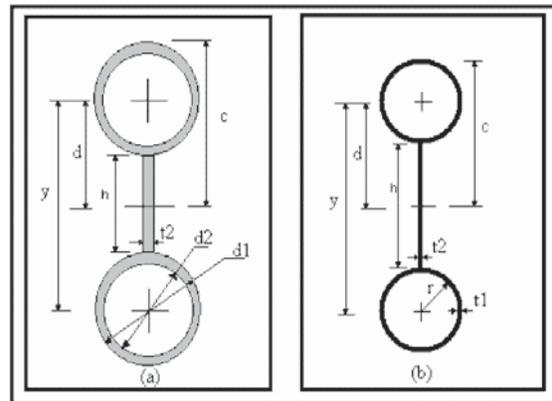
La utilidad que se da durante todo el proyecto a la estructura organizacional es muy importante ya que se utiliza como un mapa conceptual de cálculo, elaborando un cálculo metodológico tanto para los flujos como para las partes. También se puede dibujar sobre ésta volúmenes de control de fuerzas o de energía para hallar equivalencias.

CÁLCULOS

Dos desarrollos importantes se elaboraron respecto a los cálculos, el primero fue el planteamiento para calcular propiedades de secciones tubulares, verificando los resultados con el método convencional de cálculo, encontrando una desviación máxima del 0.4%, esto es importante ya que el método planteado no solo es válido sino que es fácil y rápido. El método consiste en calcular las propiedades de secciones delgadas tal cual se calculan las de la soldadura, con inercia unitaria y área unitaria.

ILUSTRACIÓN 11

Propiedades de secciones tubulares

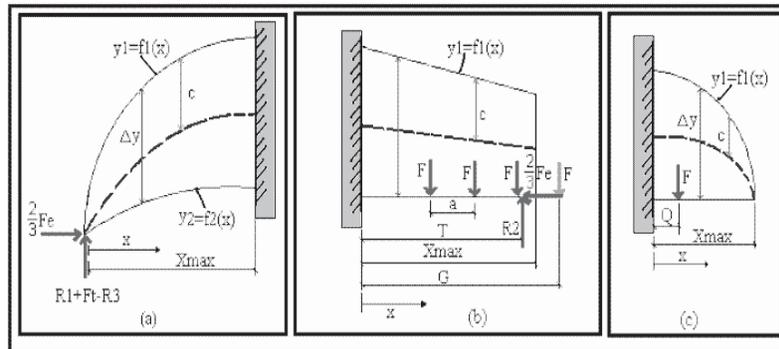


En la ilustración 6 se observa la sección cuyas propiedades se calcularon para diferentes valores de h ,

El segundo desarrollo importante fue el planteamiento matemático para vigas de sección variable conformados por contornos geométricos tales como arcos y rectas. Fue necesario desarrollar estos modelos ya que el vehículo tiene tres vigas de este tipo.

ILUSTRACIÓN 12

Vigas con contornos geométricos



Las vigas más comunes en voladizo sometidas a flexión, tienen área constante y sufren el mayor esfuerzo en el lugar de empotramiento, sin embargo las vigas utilizadas no necesariamente tienen el mayor esfuerzo allí ya que sus propiedades varían con la distancia, por esta razón se halla una expresión matemática según el modelo de carga donde los momentos y propiedades se expresan en función de X evaluándose en una hoja de cálculo en intervalos de X . Lo importante de haber desarrollado estos modelos es la conexión que se da entre forma y función, es decir se coge algo que se le dio una forma deseada y se le da funcionalidad mediante el modelo desarrollado.

MANUFACTURA

La manufactura del vehículo es simple y de gran ventaja para la producción en masa, ya que cuatro tubos conforman el chasis y el volco, las máquinas utilizadas son comunes: torno, taladro, esmeril, sierra sin fin y soldadura MIG.

CONCLUSIÓN

El producto final es muy importante para el proyecto de grado, sin embargo es más importante las metodologías y métodos que se establecieron, que en un futuro ayuden a otros procesos de diseño y construcción de otros productos. Muchas cosas se han desarrollado en 200 años de ingeniería pero faltan muchas más en el futuro por venir, y para lograr comprender y desarrollar estas nuevas metodologías, no solo se necesitan excelentes bases sino mentes abiertas.

BIBLIOGRAFÍA

BERGAMINI, David. Colección científica de life en español matemáticas. Editorial Life, México D.C. 1965, p.94.

SHIGLEY J.E., MISCHKE C.R. Diseño en ingeniería mecánica. 5 ed. Editorial Mc Graw Hill, p. 318, 320,321, 448. ISBN 968-422-778-7.

_____. Standard handbook of machine design. Editorial Mc Graw Hill, Estados Unidos. 1986. p. 11.8, 11.9, 13.12, 16.5. ISBN 0-07-056892-8.

PISARENKO G.S., YÁKOVLEV A.P., MATVÉEV V.V. Manual de resistencia de materiales. 2 ed, Editorial Mir Moscú, p. 384, 385.

HAMROCK B.J, JACOBSON B, SCHIMD S.R. Elementos de máquinas. 1 ed en español. Editorial Mc Graw Hill, México D.C, 2000, p.8, 261, 269. ISBN 970102799-X.

PAHL G, BEITZ W. Engineering Design., Editorial Pitman Press, Londres, p. 54.

LÓPEZ JOSÉ MANUEL. Manual practico del automóvil. 2da edición. Editorial Cultural, Madrid, 1987, p.731,372. ISBN 84-86424-84-4.

CATÁLOGOS, DOCUMENTOS Y NORMAS

SEW EURODRIVE. Drive engineering practical implementation. Volumen 1, edición 06/98, p. 54

RENOLD. Cadenas y piñones catalogo técnico. Editorial Renold Plc. 2000. p. 8,16.

BRIGGS & STRATTON. Motores a gasolina. Editorial Consorcio Industrial Ltda., 2003, p. 2.

NORAM. Catalogo de reductor. Editorial Noram,1998, p.1

VDI Guideline 2222, Design Engineering Methodics Conceptioning of Industrial Products Düsseldorf: VDI-Verlag (Traducido al Español U.EAFIT 1985), 1973.

VDI Guideline 2221, Sistematic Approach to the Design of Technical Systems and Products. VDI Verlag. 1987.

RODRÍGUEZ, Alberto. Triciclo de carga. Establecer flujos y transformaciones. 2003, p 1-2.

PROGRAMAS Y PÁGINAS DE INTERNET

@FERRASA. Catalogo de tubería estructural [On Line]. [Citado]: 20/02/2004. disponible en internet: www.ferrasa.com

ELAND, Peter. Programa en EXCEL. Ackermann steering design spreadsheet, Greenspeed type .1 17/01/1999



ESTUDIO DEL SISTEMA DE RECIRCULACIÓN DE GASES EN LA CALDERA DE LA COMPAÑÍA ELÉCTRICA DE SOCHAGOTA S.A. E.S.P.

LUIS ENRIQUE TABORDA TABORDA. *Itabord2@eafit.edu.co*
Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS

DISEÑO DE SISTEMAS TÉCNICOS

ASESOR PRINCIPAL

Ing. ALEJANDRO RIVERA ÁLVAREZ

EMPRESA

COMPAÑÍA ELÉCTRICA DE SOCHAGOTA S.A.
E.S.P.

RESUMEN

Este artículo presenta los efectos del uso de un sistema de recirculación de gases durante varias pruebas realizadas en la planta termoeléctrica: Termopaipa IV (Compañía eléctrica de Sochagota S.A E.S.P) ubicada en el distrito de Paipa, Boyacá (Colombia), cuya operación comercial tuvo sus inicios en 1999.

Se incluye los resultados más importantes obtenidos (temperaturas, gases y consumos) de varias pruebas con el objeto de conocer las ventajas y desventajas de usar este sistema que, se sabe, debe ser empleado solo para cargas inferiores a 150 MW netos, que es

la máxima generada. Finalmente se concluye sobre si beneficia, o no a la planta, tal sistema.

GAS RECIRCULATION SYSTEM ANALYSIS IN THE BOILER OF THE ELECTRICAL COMPANY OF SOCHAGOTA S.A

ABSTRACT

This paper presents the effects of using a gas recirculation system in the Power Plant: Termopaipa IV (electrical Company of Sochagota S.A), localized in Paipa district, Boyacá (Colombia), whose commercial operation started in 1999.

This document includes the most important results obtained (temperatures, gases produced and consumptions) of several tests with the object to know the advantages or disadvantages of using this system; It's well-known that this system should be employed in loads lower than 150 MW nets (The maximum load net generated). Finally there are conclusions about the benefits or not benefits for the plant are presented.

CONTROL LA TEMPERATURA DEL VAPOR

De acuerdo con la teoría (Babcock Wilcox, 1992) una mejora en la tasa de calor de la caldera y Turbina conduce a una alta eficiencia del ciclo con altas temperaturas de vapor.

En Termopaipa IV , cuando la carga de la unidad es máxima, en este caso 150 MW netos, las temperaturas de vapor son cercanas a 543 C, pero cuando la carga baja de este valor, las temperaturas de vapor sobrecalentado y recalentado disminuyen, por lo que es necesario ejercer un control de la temperatura del vapor. La planta posee dos medios para ejercer este control: la atemperación para disminuir la temperatura del vapor, y la recirculación de gases para aumentarla.

La atemperación, es usada inyectando sobre el vapor (sea que se encuentre este en el sobrecalentador o recalentador), agua extraída del sistema de agua de alimentación.

La recirculación de gases: la función básica es modificar la distribución de absorciones de calor dentro del generador de vapor, debido a la variación del caudal de gases y el perfil de temperaturas asociado a éstos, a lo largo del quemador. Esta reintroduce parte de los gases que van hacia la chimenea luego de salir por el ventilador de tiro inducido, y los introduce en la parte inferior del hogar en un punto cerca del fondo del mismo, y en la cual esta instalada una lamina deflectora a la entrada, para evitar que la entrada del gas recirculado se dirija al centro del hogar y no afecte la dirección de las llamas en los quemadores.

Se presenta un aumento del caudal de gas en estas superficies (sobrecalentador y recalentador), lo que mejora las características de transferencia de calor por convección.

El sistema de recirculación de gases cuenta con un ventilador, el cuál esta equipado con dampers de cierre hermético en la descarga, y en la succión para regular el flujo de gases.

RESULTADOS DESDE EL PUNTO DE VISTA DEL IMPACTO AMBIENTAL

Se observa el comportamiento de dióxido de azufre (SO_2) y óxidos de nitrógeno (NO_x). La ilustración 1 presenta este comportamiento. Teniendo en cuenta esta ilustración se desarrolla el siguiente análisis.

Dióxido de azufre (SO_2)

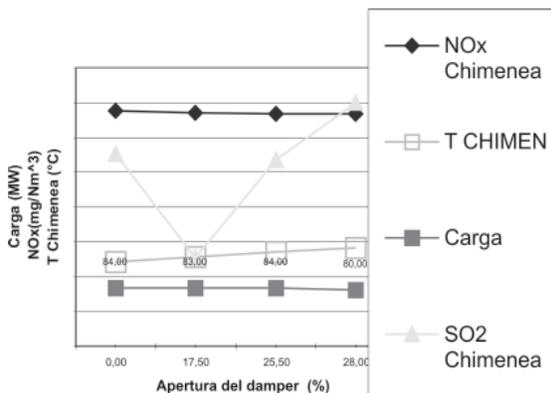
Aumenta con el uso de gases recirculados. Este efecto se debe en parte al reingreso de gases que de por si ya traen en su flujo SO_2 , que se va sumando con el generado en la combustión.

Óxidos de nitrógeno (NO_x)

El comportamiento de este en las pruebas es de descenso, a medida que se aumenta la recirculación de gases. Una razón que explica esto es que los gases de recirculación disminuyen la temperatura de la llama, disminuyendo así el NO_x térmico.

Nuestra normativa a través del decreto 02 de 1982 del antiguo ministerio de salud, cuya vigencia la establece el decreto 948 del ministerio del medio ambiente, establece como parámetros reguladores la altura de la chimenea y la dispersión de partículas al medio ambiente, en cuanto a esto la planta cumple aún usando recirculación y con amplios márgenes. Tiene una altura de chimenea de 100 m, mientras que la norma establece en este caso partícula algo más de 40 m. Igual ocurre con la rata de emisión que según la norma debe ser en este caso de 1.68 Kg/10⁶ Kilocal, la planta se encuentra muy por debajo (0.2016 Kg/ 10⁶ Kilocal).

ILUSTRACIÓN 1
Impacto ambiental – prueba a 75 MW apróx.



RESULTADOS DESDE EL PUNTO DE VISTA DE LA EFICIENCIA DE LA COMBUSTIÓN

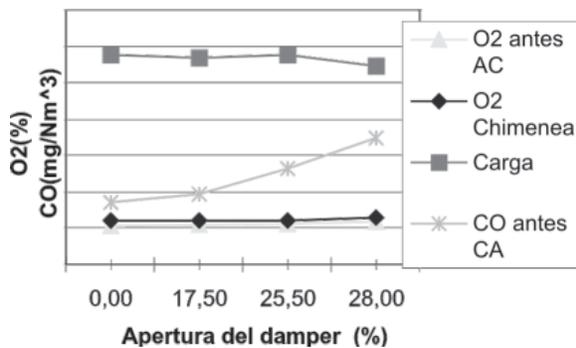
El valor que indican gases como CO y el O₂ es:

CO alto indica combustión incompleta (Ganapathy, V. (2))

O₂ alto indica demasiado aire en exceso (Ganapathy, V. (2))

De manera resumida lo que se puede en el diagrama con la tendencia del CO hacia el aumento es que se producen más inquemados, es decir, se presenta una combustión menos eficiente, explicado esto, por varias razones, entre ellas el descenso en la temperatura de los quemadores y el mayor arraste de combustible antes de que ignicione en los quemadores. La ilustración 2 permite comprobar lo dicho.

ILUSTRACIÓN 2
Comportamiento de la combustión
-prueba a 75 MW-



Inquemados. Este es un parámetro limitador del sistema de recirculación ya que aumenta con la cantidad de gases recirculados. Existen unos valores de inquemados que permiten que estos sean usados por la industria cementera por sus propiedades puzolánicas¹, ya que la alúmina y la

¹ El origen de esta palabra se encuentra en la roca basáltica, que se encuentra en Puzol, Nápoles -Italia-. Es una especie de cemento natural (Sopena).

sílice que poseen estas cenizas les son útiles –para procesos de fabricación de cemento, aplicando aquí lo que actualmente se conoce como valoración de procesos. Este valor para la planta se encuentra en 12% de inquemados. Se notó durante el estudio, que es posible llegar a valores aún inferiores sin importar que se utilice la recirculación controlando por supuesto el flujo de gases recirculados que ingresan a la caldera.

RESULTADOS DESDE EL PUNTO DE VISTA DE LAS TEMPERATURAS OBTENIDAS

Las temperaturas se miden con elementos de medición instalados de forma permanente en los lugares citados arriba, estos elementos constan de termocupla (tipo E o K)², transmisor y señal de 420 mA que va al software PROCONTROL, que da mediciones en tiempo real y permite guardar sus valores para su estudio posterior.

De las pruebas realizadas, una de las cuales aparece representada en la ilustración 3 para las temperaturas en los sobrecalentadores y recalentador, en las que se nota que estas aumentan al ascender el uso de gases recirculados. No obstante, obtener temperaturas superiores a las de operación no es bueno, ya que estos equipos no son diseñados para resistir tales temperaturas, razón por la cual se utiliza la atemperación, que es otra de las variables que se analizan dentro del presente proyecto, y que aparece posterior al análisis de temperaturas en la caldera, que se han denominado las principales temperaturas que intervienen en el proceso. Se nota que a bajas cargas, la temperatura en el recalentador permanece por debajo de la temperatura en el sobrecalentador.

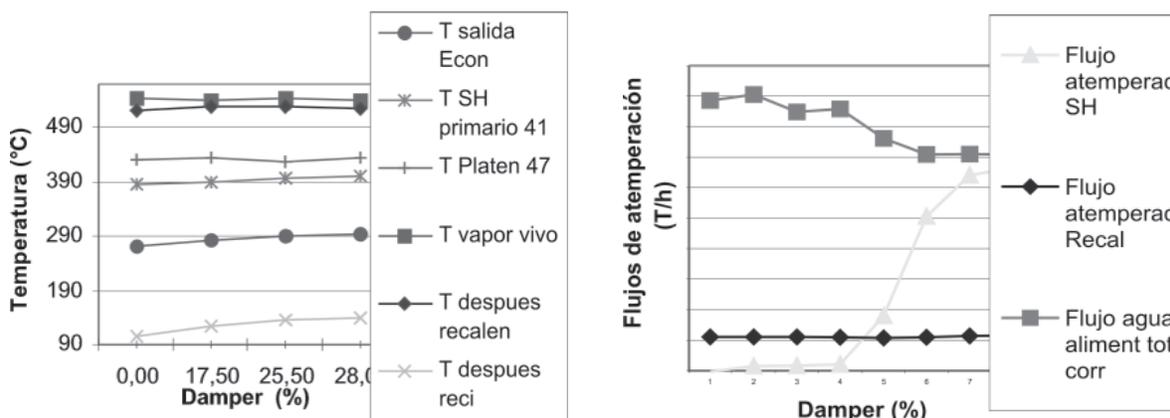
El hecho de que las temperaturas de vapor vivo y recalentado se encuentran cercanas a 540 C, es bueno desde el punto de vista que la entalpía del

² Esta termocupla tipo K es utilizada para medir temperaturas altas como las originadas en los quemadores. Mientras que la E resulta útil en sobrecalentadores, recalentador y economizador.

vapor es mayor en estas temperaturas, comparada frente a entalpías para temperaturas por debajo de la misma, por decir 480°C. Y por criterios de seguridad de los materiales la temperatura no debe ser superior a 543°C.

También se incrementan las pérdidas por aumento de la temperatura a la salida de los gases en la chimenea, esta temperatura aparece en la ilustración³ como temperatura después de recirculación (en forma abreviada T después de reci).

ILUSTRACIÓN 3
Temperatura (lado izq. y uso de atemperación durante una prueba a 75 MW)



RESULTADOS DE LAS TEMPERATURAS EN LOS QUEMADORES

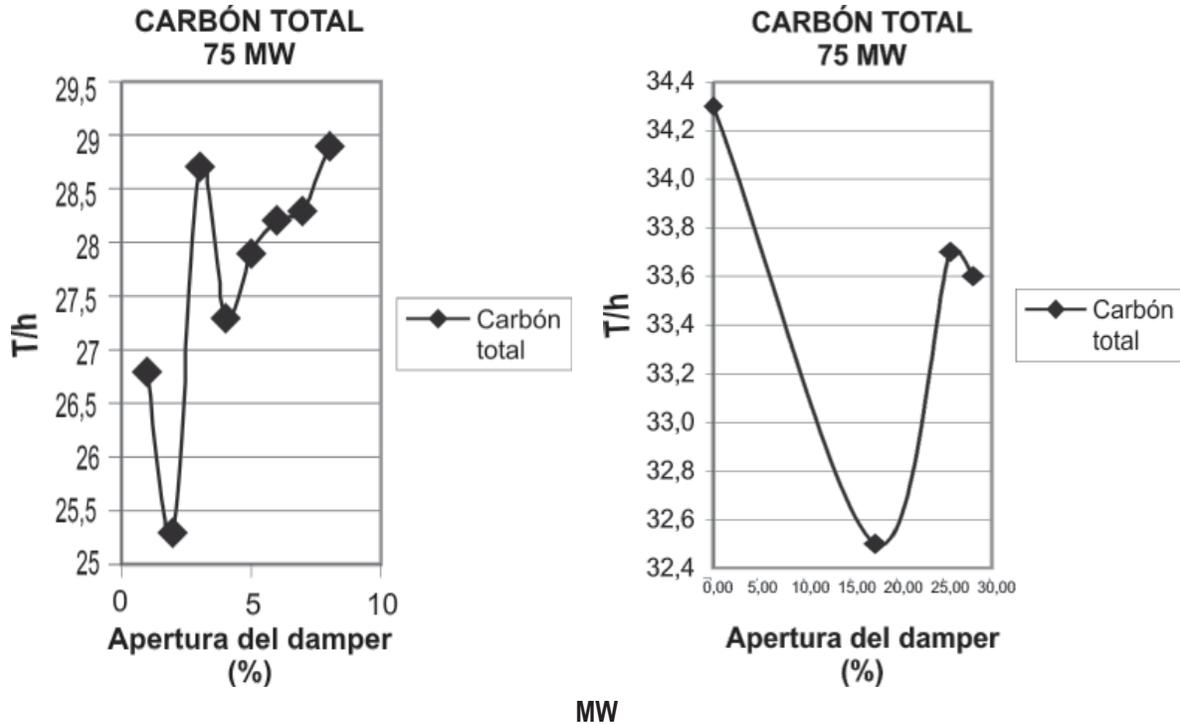
En cuanto los quemadores, el comportamiento de estos con recirculación consiste en que disminuyen la temperatura, lo que puede ocasionar que se apaguen. El peligro de un quemador apagado y que se continúe el suministro de combustible, puede hacer que este se vaya hacia la parte superior de la caldera e igniciones generando peligrosas explosiones. Contra este inminente peligro la planta posee un sistema de protección que hace que al momento de presentarse el apagado de un quemador, inmediatamente se detiene el suministro de combustible, evitando así riesgos inminentes.

CONSUMOS PRESENTADOS

En la ilustración 4 se puede ver el comportamiento del consumo de carbón con el uso de recirculación. Para dos cargas diferentes, ambas inferiores a la máxima generada: 150 MW netos.

³ Proyecto PY0302: Revisión de los procesos de implantación del TPM en las 26 empresas que más han avanzado en el tema a nivel nacional, y estudio de la dinámica de cambio desarrollada para su implantación.

ILUSTRACIÓN 4
Consumo de carbón para una prueba a baja carga 60 y 75 MW



Se puede ver la desventaja que traería el aumento en el consumo de carbón para cargas cercanas a 60 MW, sin embargo, cuando la carga aumenta como en el caso de generación de 75 MW, el consumo de carbón no presenta aumentos que aminoren las ventajas de utilizar recirculación, hablando en términos económicos.

RENDIMIENTO OBTENIDO

Se han tomado datos de una prueba a baja carga, y se analiza tanto con recirculación como sin recirculación para ser comparados. En la ilustración 5 se encuentran graficados en el diagrama de Mollier para su correspondiente análisis.

A entrada a la turbina

5 Vapor recalentado frío a la salida de la turbina

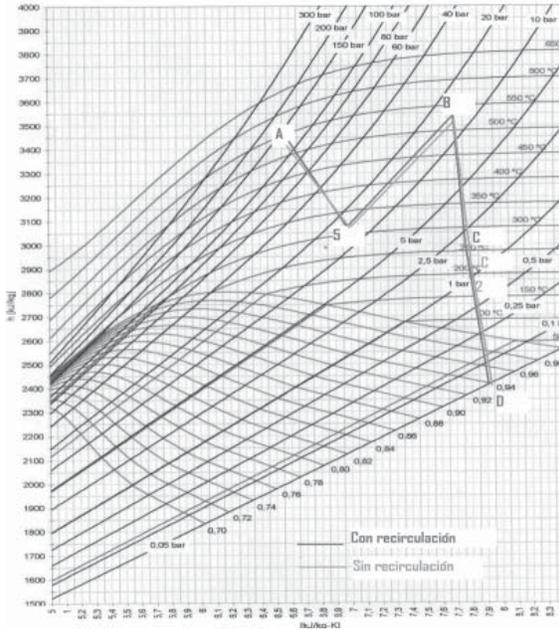
B Vapor recalentado caliente a la entrada a la turbina de media

C Entrada a la turbina de baja

D Entrada al condensador

1,2,3 y 4 son extracciones

ILUSTRACIÓN 5 Ciclo agua vapor prueba a 60 MW con y sin recirculación de gases



Se ve en diagrama la línea fucsia es operación con recirculación y la línea verde es para operación sin recirculación de gases.

Del diagrama de Mollier es importante recordar que $\eta = H / S \cdot T$

H es el diferencial de entalpía, S es el diferencial de entropía (esta por segunda ley de termodinámica, siempre aumenta), T es la temperatura y η es la eficiencia, equivalente a la pendiente de las líneas formadas.

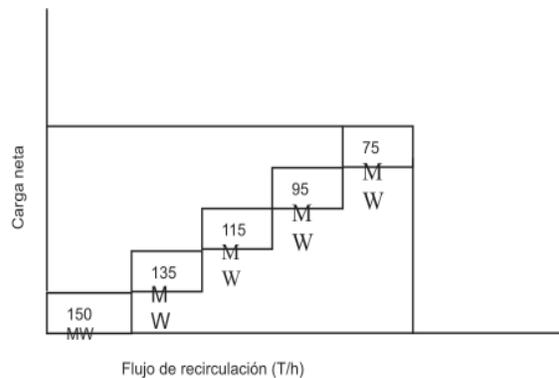
De acuerdo a lo mostrado en la ilustración 5, no se aprecia una diferencia considerable, aunque en la primera etapa de la turbina se nota mayor inclinación de la pendiente (mayor eficiencia) para trabajo con recirculación de gases, en la segunda también es leve y mayor la pendiente, también para el empleo de recirculación de gases. Para la parte de baja presión no hay cambio significativo.

Todo lo anterior quiere decir que no se aprecia un aumento significativo en la eficiencia en la turbina para esta prueba a 60 MW Netos, representada en la ilustración 5. Para cargas superiores a esta, se notan efectos más notorios y positivos en cuanto a la eficiencia.

CONCLUSIONES FINALES

Lo que se ha visto hasta el momento en el análisis de estas variables conduce a pensar en una serie de efectos que se presentan en prácticamente todo el ciclo de vapor, lo que hace que no se pueda uno colocar tajantemente de lado del uso del sistema de recirculación; así como tan poco se puede dejar en desuso este importante sistema de control de la temperatura de vapor. Con diversas pruebas, ojalá durante más largos periodos y nuevas mediciones permiten afinar el uso del sistema en condiciones cada vez mejores. En definitiva se puede decir que si es beneficioso usar este sistema pero para cargas superiores a la media, tal como aparece en la siguiente ilustración:

ILUSTRACIÓN 6 Recomendación acerca del uso de recirculación de gases



En esta ilustración se muestra donde se recomienda usar la recirculación de gases. Se basa en que para cargas medias o superiores, el consumo de carbón no aumenta, y también la eficiencia comienza a presentar algunas ventajas ha tener en cuenta. Se ha relacionado en esta ilustración la carga con

el flujo de gases de recirculación que se pueden calcular con la velocidad del gas y el área del ducto de recirculación. La velocidad se obtiene midiendo la temperatura de gas, y sus presiones:

$$V = \sqrt{\frac{P_{diff} * 2g * R * T}{M * P}}$$

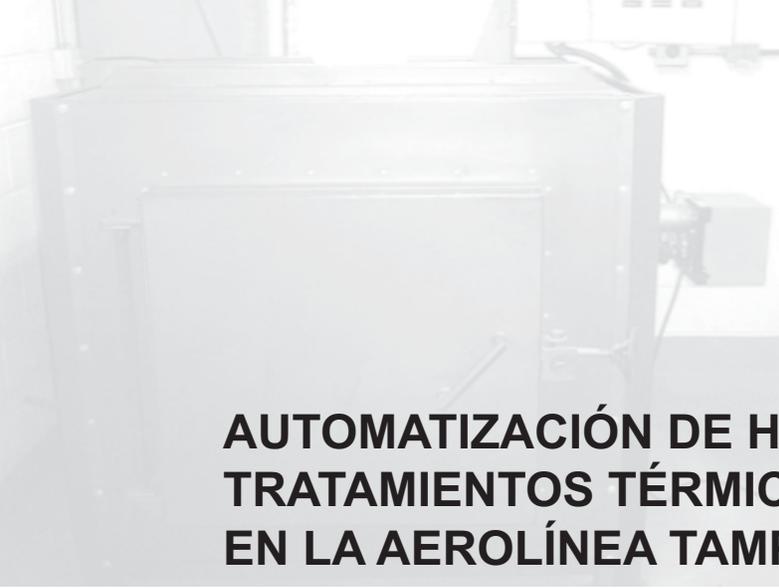
P_{diff}, es la presión diferencial, g es la aceleración de la gravedad, R la constante universal de los gases, T la temperatura, M el peso molecular y P la presión absoluta del gas.

Los criterios tenidos en cuenta para aconsejar el uso del sistema o no, son: las temperaturas del vapor sobrecalentado y recalentado, los inquemados generados, el impacto ambiental, el consumo de carbón y la eficiencia de la caldera, de la turbina y por supuesto de toda la planta.

La recirculación de gases produce un efecto similar a el aumento de exceso de aire: aumento de flujo de gases, aumento de temperaturas de vapor sobre y recalentado, más inquemados, más presencia de monóxido de carbón y aumento de las pérdidas de calor, y también es antieconómico.

BIBLIOGRAFÍA

- BABCOCK WILCOX COMPANY. Recirculación de gases de combustión para controlar la temperatura del vapor. Procedimiento PMP027. Edición del 21 de mayo de 1998
- .. Steam: its generation and use. December 1992. 40Th edition.
- DE LORA SORIA, Federico. Técnicas de defensa del medio ambiente. Volumen 22. Editorial Labor S.A Barcelona. 1978.
- ESSO COMPANY. Principios fundamentales para la eficiencia de calderas (documento).
- GANAPATHY, Viswanathan. Steam plant calculations manual. Calderas de Vapor. Segunda edición. Ed. L.L. Faulkner. Ohio, EEUU
- L & K INTERNATIONAL TRAINING. Formación de operadores de centrales térmicas. Estudio de Casos I. Texto de apoyo 6009 –AOT No. 9. Ontario Canada.
- .. Operación del generador de vapor. Libro de trabajo del estudiante. Ontario Canada.
- RODRÍGUEZ GUERRERO, Gonzalo. Operación de calderas industriales. Tratado práctico operacional. Editorial Ecoe ediciones. Primera edición. Santa Fe de Bogotá. 2000
- ### REFERENCIAS DE INTERNET
- Boiler room, @: Boilers Industrials. Company. Boston. EEUU. 2004. (En línea). 26 de Marzo de 2004. Disponible en: <http://www.boilerroom.com/>
- CES@: Compañía Electrica de Sochagotra S.A. E.S.P. Red interna. 2003. (En línea). 6 de mayo 2003
- Indisa, @: Ingeniería de Proyectos, Indisa S.A. Medellín, Colombia. 2003 (En línea). 12 de Enero y 25 de abril de 2004. Disponible en: http://www.indisa.com.co/homecampos/home_campos.htm
- Rincondelvago, @: Información técnica, tecnológica. Salamanca, España. 2004. (En línea) 3 de junio de 2004. Disponible en: html.rincondelvago.com.htm
- Unal virtual, @: Universidad Nacional de Colombia, Centro de información en formato electrónico. Bogotá, Colombia. 2004 (En línea). 14 de febrero de 2004. Disponible en: www.virtual.unal.edu.co/cursos/ingenieria/23410/frames/contenido.html



AUTOMATIZACIÓN DE HORNO DE TRATAMIENTOS TÉRMICOS DE ALUMINIO EN LA AEROLÍNEA TAMPA CARGO S.A.

MARIO BETANCUR RODRÍGUEZ. *mbetanc5@eafit.edu.co*
Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS

DISEÑO DE SISTEMAS TÉCNICOS

ASESOR PRINCIPAL

Ing. FRANCISCO JAVIER BOTERO HERRERA

EMPRESA

AEROLÍNEA TAMPA CARGO S.A.

RESUMEN

Este artículo ilustra una aplicación particular para la automatización del horno de tratamientos térmicos de aluminio utilizado por la aerolínea TAMPA CARGO S.A.

La automatización del horno de tratamientos térmicos de aluminio es de gran valor dado que permite el control de la variable temperatura de una manera más precisa y predecible asegurando calidad, fiabilidad y eficiencia en la ejecución del proceso de tratamiento térmico.

El horno de tratamientos térmicos se automatizó mediante la creación de un programa, que monitorea y controla variables a través de la comunicación entre el computador, el controlador, las entradas y salidas del sistema.

El programa de control se desarrolla a partir del software de programación Labview™ que posee un entorno de programación gráfico muy aplicado en la instrumentación y automatización de procesos industriales.

El proyecto bajo esta perspectiva mejora la operación del sistema con la disminución del factor humano, aumento de la calidad del tratamiento térmico con la regulación automática, facilidad del manejo de la información y la adquisición de datos del proceso a través de una supervisión continua y detallada.

ABSTRACT

This article illustrates a particular application for the automation of the furnace of aluminum heat treatments used by the airline TAMPA CARGO S.A.

The automation of the furnace of aluminum heat treatments allows the control of the temperature, assuring quality, reliability and efficiency in the execution of the process of heat treatment.

The furnace of heat treatments is automated by means of a executable application, that watches and controls the temperature through the communication between the computer, the controller, the inputs and outputs.

The control program is developed from Labview™, this software is very applied in the instrumentation and automation of industrial processes.

The project improves the operation of the system with the diminution of the human factor, increase of the quality of the heat treatment with the automatic adjustment, facility of the handling of the information and the data acquisition of the process through a continuous and detailed supervision.

PALABRAS CLAVE

Automatización, Control, Horno, Tratamiento térmico, control automático.

KEY WORD

Automation, Control, Furnace, Heat treatment, automatic control.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La aerolínea TAMPA CARGO S.A. es una empresa dedicada al transporte de carga nacional e internacional con una flota de aviones actualmente compuesta por cuatro Douglas DC – 8 – 71F de su propiedad, un DC – 10 – 30F y además cuatro Boeing 767 - 200 ER disponibles a partir del segundo semestre del 2004.

Los aviones tienen elementos estructurales de aleaciones de aluminio que deben cumplir con ciertas propiedades en su micro estructura para asegurar la resistencia requerida y condiciones de trabajo confiables.

La empresa dentro de sus rutinas de reparación y mantenimiento aplica procedimientos de tratamientos térmicos a componentes estructurales de las aeronaves para asegurar las condiciones adecuadas de funcionamiento.

Los procedimientos de tratamientos térmicos para piezas de aluminio son especificados según el

fabricante, por ejemplo Douglas Aircraft Co., Inc, de acuerdo a las rutinas de recocido, tratamiento térmico en solución y envejecimiento.

Los procedimientos requieren del control de la variable temperatura en función del tiempo para asegurar que las piezas de aluminio logren las especificaciones requeridas.

La precisión de la aplicación del procedimiento de trabajo es vital para garantizar un tratamiento térmico acorde con los estándares internacionales y asegurar la máxima confiabilidad de las piezas tratadas, para ello una excelente alternativa es regular automáticamente el horno de tratamientos térmicos del que dispone ésta empresa, y así disminuir el error y a su vez dejar de lado en parte la dependencia del factor humano en el monitoreo y supervisión del proceso.

La necesidad de la empresa esta definida por desarrollar un programa de mando que permita asignar rutinas de trabajo automáticas al horno (Ver figura 1) existente en sus instalaciones, las cuales permitan supervisión, acceso a los datos y control.

FIGURA 1

Horno de tratamientos térmicos de aluminio

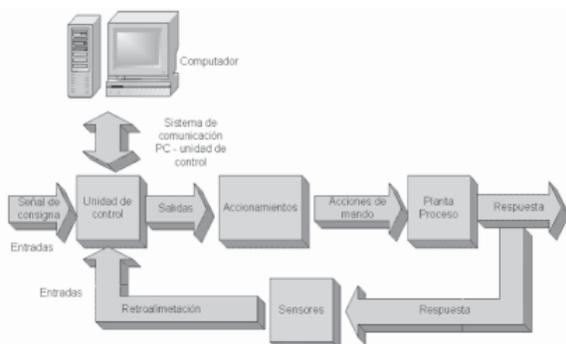


El programa debe permitir la gestión de la información, es decir, debe tener herramientas para la codificación de órdenes de trabajo, almacenamiento de la información y presentación de informes que sirven de soporte a la aplicación de procedimientos.

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

El proyecto desarrolló un ejecutable para el control de un horno de tratamientos térmicos de aluminio bajo Labview™ como lenguaje de programación para el mando y monitoreo de la operación del sistema. Los elementos del sistema de control de lazo cerrado del horno son: computador, unidad de control de temperatura, sistema de comunicación entre computador y controlador, accionamientos y sensores de temperatura, ver figura 2.

FIGURA 2
Descripción del sistema



El sistema de control es de lazo cerrado, es decir, que existe realimentación dado que las salidas de la unidad de control dependen de la respuesta captada por los sensores que muestrean el valor de la temperatura de manera discreta a una tasa de tiempo establecida y la comparan con el valor de la señal de consigna para minimizar el error entre la temperatura real y el valor objetivo.

El ejecutable tiene la capacidad de crear informes de los procedimientos desarrollados indicando el comportamiento de la temperatura como variable de control en función del tiempo y asociando

este seguimiento a una orden de trabajo y a la identificación de la pieza a la que se aplicó.

GENERALIDADES DEL PROCESO DE TRATAMIENTOS TÉRMICOS

Los procedimientos empleados en el horno son tratamientos térmicos para piezas de aleaciones de aluminio, los valores de temperatura en estos procedimientos tienen un rango entre 100 °C y 600°C, y son fijados por el fabricante de las piezas y dispuestos por TAMPA CARGO S.A. para la ejecución de la automatización del horno.

Los materiales más usados son las aleaciones de aluminio 2024 y 7075, otros materiales usados en menor medida son las aleaciones 2014, 6061, 7079 y 2219.

Las rutinas empleadas en el horno se enuncian a continuación:

- Tratamiento de solución sólida
- Endurecimiento por precipitación
- Recocido total
- Recocido de alivio de tensiones

Comunicación entre computador y unidad de control de temperatura

La comunicación entre el computador y el controlador se hace a través del puerto serial, la señal pasa por un convertidor RS232/RS485 que va conectado directamente al controlador.

La figura 3 describe el sistema de comunicación aplicado entre el computador y la unidad de control.

La comunicación RS 485 permite conectar simultáneamente hasta 32 controladores y manipular parámetros de consigna, modos de control y modos de alarma, a una distancia de hasta 1220 metros.

La comunicación RS – 485 es usada industrialmente, para controlar sistemas y transferir datos en pequeños volúmenes.

FIGURA 3
Sistema de comunicación entre el controlador de temperatura y el PC



La comunicación serial entre el controlador de temperatura y el computador viene definida por las características técnicas del protocolo de comunicación del fabricante.

La estructura de la comunicación serial se describe en la tabla 1.

TABLA 1
Estructura protocolo de comunicación serial

Característica	Descripción
Tipo de comunicación	Asíncrona
Interfase	Aplica para RS – 232 y RS - 485
Baud rate	Entre 110 y 9600 bps
Estructura de los datos comunicados	Un bit de inicio (Start) Ocho bits de datos Un bit de paridad (Odd parity) Un bit de stop
Formato de los datos comunicados	Se envían ocho bytes que contienen: comando, identificación, dirección, datos y verificación.

DISEÑO Y DESARROLLO DE LA APLICACIÓN

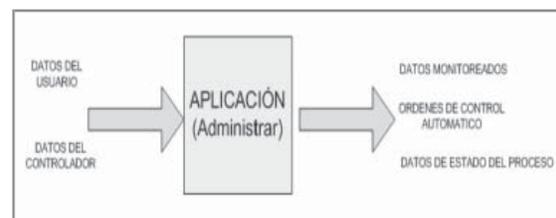
La solución de un problema de automatización requiere de una fase de diseño que defina las directrices funcionales para el desarrollo de la aplicación.

La aplicación como solución al problema de automatización tiene los siguientes elementos conceptuales para el diseño:

- El objeto: La aplicación
- El verbo (La acción): Administrar (Controlar, monitorear y presentar)
- El flujo: La información del proceso.

Los elementos conceptuales del diseño se sintetizaron en la caja negra, véase figura 4.

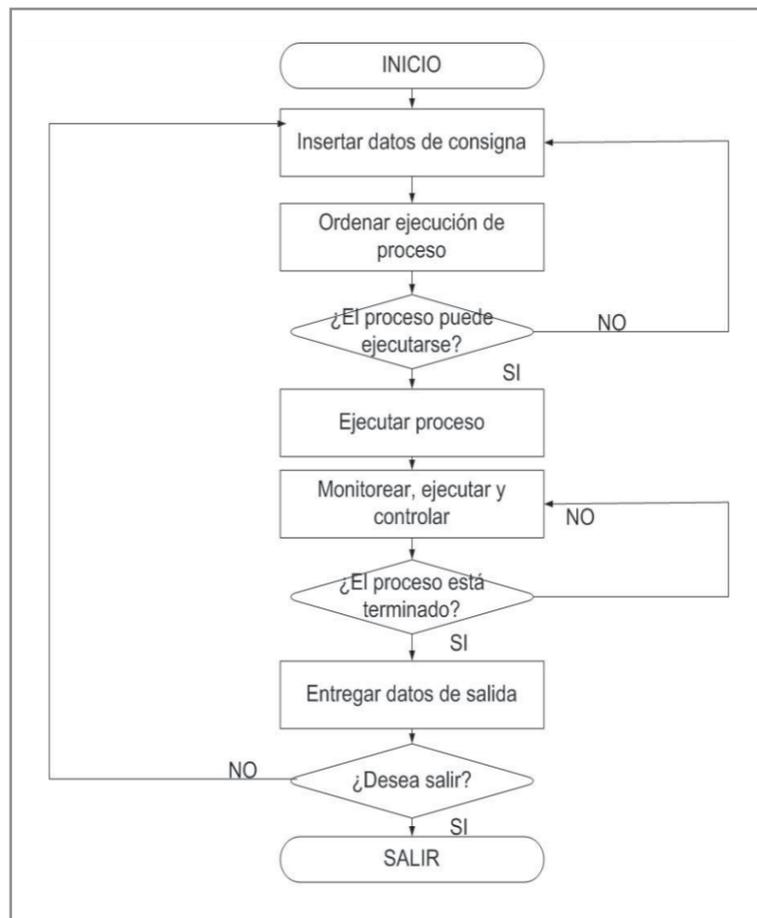
FIGURA 4
Caja negra



La caja negra produjo la estructura funcional básica de la aplicación, la cual esta sintetizada en el diagrama de flujo básico, veáse figura 5.

El diagrama de flujo básico es la base para la generación del diagrama de flujo detallado, en el cual se especifican las funciones que deben ser programadas.

FIGURA 5
Diagrama de flujo básico

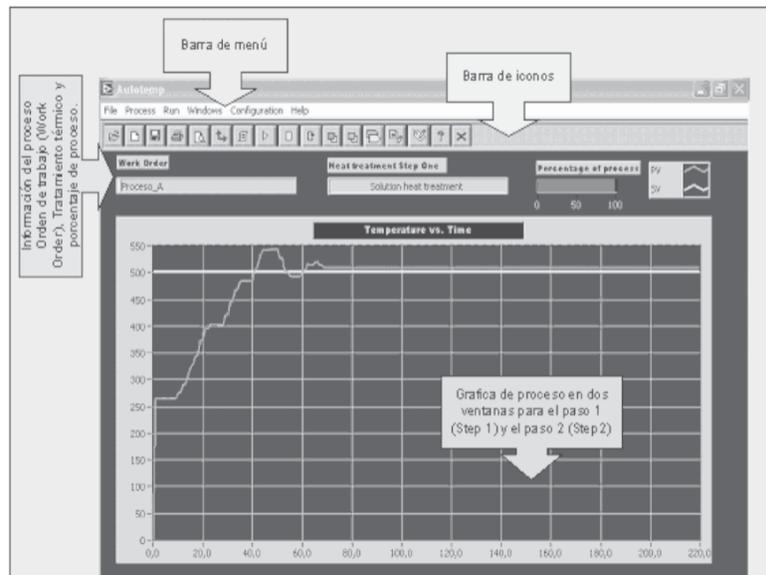


La aplicación desarrollada tiene el nombre de Autotemp. Autotemp deriva su nombre de las palabras automatización y temperatura, indicando cómo el usuario del horno de tratamientos térmicos de aluminio puede controlar la variable temperatura de una manera más precisa y predecible asegurando calidad, fiabilidad y eficiencia en la ejecución del proceso de tratamiento térmico a partir de esta aplicación.

SOFTWARE DE AUTOMATIZACIÓN – AUTOTEMP –

Autotemp es una aplicación cargada con herramientas para controlar, monitorear y analizar datos de tratamientos térmicos de aluminio automáticamente, desarrollada a partir de Labview™.

FIGURA 6
Estructura del panel frontal de Autotemp



Autotemp está constituido en su panel frontal por diferentes elementos que permiten una interacción amigable entre el usuario y el sistema de automatización, tal estructura esta compuesta fundamentalmente por las barras de menús, barras de iconos, los indicadores de estado que proveen información actual del proceso y la gráfica de monitoreo que muestra los valores almacenados del proceso ejecutado, véase figura 6.

Autotemp provee al usuario varios beneficios que comparte con otras aplicaciones del mismo tipo desarrolladas en Labview™ como software para la automatización industrial, es importante que estos beneficios estén descritos para asegurar que el usuario pueda utilizar toda la capacidad del programa y lograr así máximo desempeño del sistema y mejores resultados de los procesos desarrollados.

A continuación se describen las ventajas más relevantes de Autotemp como software de automatización de tratamientos térmicos de aluminio:

- Permite la medición, control y automatización de los procesos térmicos con un mejor aprovechamiento de los componentes del sistema.
- Incremento de eficiencia y calidad del proceso de tratamiento térmico
- Generación automática de informes.
- Fácil manipulación del usuario dado que el diseño esta acorde con programas bajo Windows permitiendo una rápida familiarización del usuario de manera intuitiva.
- Permite integración con cualquier instrumento o dispositivo de medición de temperatura tales como tarjetas insertables, controladores de temperatura y controladores lógicos programables (PLCs)

Autotemp tiene incluido un manual de usuario que detalla todos los aspectos que el usuario debe tener en cuenta para utilizar el software.

PRUEBAS Y RESULTADOS

Los resultados y pruebas de control permiten evaluar el desempeño del sistema de automatización implementado con la aplicación Autotemp 1.0.

Se evalúa el desempeño de la aplicación Autotemp 1.0 frente a las condiciones reales de trabajo, para garantizar al usuario confiabilidad y respaldo al utilizar el sistema de automatización implementado.

Las pruebas de control automático evaluaron la capacidad del software para adaptarse al Hardware con el cual necesita trabajar, y evaluaron la respuesta del horno a los estímulos de control automático generados por Autotemp 1.0.

El desempeño de Autotemp 1.0 fue adecuado a las condiciones de trabajo en las cuales necesita trabajar, dado que logró implementarse en función de los parámetros definidos por el controlador de temperatura, el computador y el sistema de comunicación.

La evaluación de desempeño del horno verifica el comportamiento del sistema sometido a las órdenes generadas por el programa, y caracteriza la capacidad del horno para ejecutar las rutinas de tratamientos térmicos aplicados en TAMPA CARGO S.A.

El comportamiento a bajas temperaturas es muy variable, dado que la potencia del quemador es muy alta aun estando en la llama baja.

Para valores de consigna entre 100°C y 280°C el quemador trabaja ON/OFF lo que provoca una desviación que puede incidir en la calidad del tratamiento térmico de envejecimiento artificial que opera dentro de estos valores.

En la tabla 2 se encuentran los resultados obtenidos durante el desarrollo de las pruebas de control automático en el horno.

TABLA 2

Resultados de pruebas de control automático

No.	Temperatura de consigna	Temperatura real Promedio	Desviación Estándar
1	116 °C	121,7 °C	2,8 °C
2	270 °C	272,8 °C	5,1 °C
3	300 °C	301,9 °C	1,0°C
4	400 °C	400,9 °C	0,6 °C
5	350 °C	350,2 °C	0,9 °C
6	490 °C	489,6 °C	1,0 °C

CONCLUSIONES

Se automatizo el horno de tratamientos térmicos de aluminio de acuerdo a las necesidades especificadas por TAMPA CARGO S.A.

El sistema automático de control permite al operador administrar los procesos de tratamientos térmicos desde el computador mediante una interfaz de trabajo intuitiva y fácil de operar.

El programa creado cumplió con las expectativas del personal de TAMPA CARGO S.A. por tener herramientas suficientes para la administración de los procesos de tratamientos térmicos de aluminio, por poseer un entorno de trabajo amigable y seguro para el manejo de la información, y por trabajar de manera independiente de otras aplicaciones.

El programa desarrollado Autotemp 1.0 tiene la capacidad para gobernar, supervisar y adquirir datos de manera confiable.

Autotemp tiene integradas rutinas de tratamientos térmicos acordes con los manuales y procedimientos utilizados en TAMPA CARGO S.A.

La comunicación serial entre el controlador de temperatura y el computador permite el envío y recepción de datos de manera confiable, dado que

la probabilidad de pérdida de datos es del es del 0.00005%.

El manual de usuario es una herramienta importante para asegurar el éxito de los procesos entre el usuario y la maquina, para ello Autotemp 1.0 viene con un manual de usuario que capacita al operador sobre el uso de Autotemp 1.0 y la estructura del sistema automático de control implementado en el horno.

La generación automática de informes permite al usuario acceder a la presentación de datos automática de Autotemp, asegurando agilidad en la generación de los reportes. Además Autotemp tiene integradas herramientas de análisis estadístico que presentan la información de una manera resumida y clara, para la comprensión rápida de los resultados del proceso.

Las pruebas de control automático permitieron verificar el funcionamiento del sistema automático de control implementado y corregir defectos que en la fase de diseño no habían sido previstos.

La automatización industrial es una buena alternativa para desarrollar proyectos de grado en ingeniería, puesto que requiere un alto nivel de conocimiento de los procesos, ayudan al desarrollo de la industrial y son de bajo costo.

RECOMENDACIONES

Los usuarios del sistema automático de control deben consultar el manual de usuario y la ayuda que Autotemp suministra antes de manipular el programa.

Si los usuarios tienen problemas que no pueden resolver con el manual o la ayuda pueden contactar al autor del proyecto.

El desempeño del horno a bajas temperaturas entre 100 °C y 280°C tiene una alta variabilidad, porque el quemador tiene una potencia muy alta para el valor de consigna demandado.

Por lo tanto se recomienda al personal de TAMPA CARGO S.A. evaluar el desempeño y buscar una solución a este problema.

Posibles soluciones a este problema podrían ser la instalación de un quemador de menor potencia en paralelo, rediseñar el horno actual, montar un quemador que permite regulación proporcional de la llama, rediseñar el horno actual ó montar un horno que trabaje en un rango menor de temperatura.

NUEVAS VÍAS DE DESARROLLO

El desarrollo de automatizaciones industriales en Colombia es un campo poco explorado, y está lleno de posibilidades para el desarrollo de prácticas de ingeniería.

El autor expresa su deseo de que el presente proyecto sirva de motivación para que más ingenieros y personas interesadas en el mejoramiento de los procesos industriales, desarrollen sus propias aplicaciones de automatización y contribuyan al desarrollo tecnológico colombiano.

BIBLIOGRAFÍA

ARANGO ESCOBAR, Juan y VILLA MEJÍA, Juan. Control y monitoreo de un horno eléctrico por medio de un microcontrolador. Medellín Colombia: Universidad EAFIT, 1995. 120 p.

BOLTON, W. Mecatrónica: Sistemas de control electrónico en ingeniería mecánica y eléctrica. México: Alfaomega, 2001. 542 p.

COCK RAMÍREZ, Jorge Andrés. Guía Labview TM: Programación general uso en control y toma de datos aplicación en ingeniería sísmica. Medellín Colombia: Universidad EAFIT, 1996. 104 p.

DOUGLAS AIRCRAFT CO., INC. DC – 8 Structural repair manual: Heat – treatment of aluminum alloys. Estados Unidos: DOUGLAS AIRCRAFT CO., INC, 1966. 21p.

- LÁZARO, AntonioMánuel. LabviewTM: Programación gráfica para el Control de Instrumentación. Madrid España: Paraninfo, 2001. 357 p.
- MAXTHERMO – GITTA GROUP CORPORATION. Especificaciones de controlador de temperatura MC - 2838. Taiwán: Maxthermo. 3 p.
- MEDICIÓN Y CONTROL LTDA. Controles de temperatura: Manual de instrucciones. Medellín Colombia: Medición y control Ltda., 2001.10 p.
- MOMPÍN POBLET, José. Transductores y medidores electrónicos. Barcelona España: Marcombo, 1983. 322 p.
- OGATA, Katsuhiko. Ingeniería de control moderna. México: Prentice Hall, 1985. 902 p.
- SANCHEZ DE LEÓN, José y ANGULO USATEGUI, José María. Control de procesos industriales por computador. Madrid España: Paraninfo S.A., 1987. 175p.
- SMITH, Carlos y CORRIPIO, Armando. Control automático de procesos: Teoría y práctica. 2 ed. México: Limusa, 1997. 717 p.
- VALENCIA GALLÓN, J. Hernán. Sistemas automáticos de control. 2 ed. Medellín Colombia: Universidad Pontificia Bolivariana, 1997. 205 p.
- VELÁSQUEZ GALLO, Álvaro. Control de horno por computador. Medellín Colombia: UPB, 1988. 432 p.
- VÉLEZ R, Juan Manuel. Primer encuentro nacional de tratamientos térmicos: Tratamiento térmico de aleaciones de aluminio. Medellín Colombia: Universidad de Antioquia, 1992. 30 p.
- ZAPATA ACOSTA, Cristina. Automatización de los sistemas de bombeo de abastos del edificio del edificio empresas públicas de Medellín ESP. Medellín Colombia: Universidad EAFIT, 2002. 100 p.

IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA CMD EN LA MÁQUINA FORMADORA DE ENVASES DE CRISTALERÍA PELDAR S.A.

JUAN FELIPE JARAMILLO ÁLVAREZ. juanfelipejaramillo@hotmail.co

GERMÁN ESTEBAN GONZÁLEZ CALLE. gergo@hotmail.co

Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS

MANTENIMIENTO DE SISTEMAS TÉCNICOS

ASESOR PRINCIPAL

Dr. Ing. LUIS ALBERTO MORA GUTIÉRREZ

SECTOR BENEFICIADO

CRISTALERÍA PELDAR S.A.

RESUMEN

Este artículo es el resultado de la implementación de un mantenimiento CMD en una máquina formadora de envases en Cristalería Peldar S.A. Después de Investigar y comprender los parámetros CMD, se incorporaron como índices de gestión con el propósito de optimizar los programas de mantenimiento de las máquinas, incrementando su disponibilidad.

Para el estudio, se adecuó una hoja de cálculo electrónica que da como resultado los parámetros de análisis CMD. De los cálculos realizados se pudo detectar cuáles son los mecanismos que fallan con mayor frecuencia y analizar sus causas, en consecuencia, se implementaron programas de evaluación preventiva y de capacitación con el

propósito de incrementar los índices de productividad de la empresa.

ABSTRACT

This article it is the result of a implementation of a maintenance named RAM in a container forming machine in Cristalería Peldar S.A. after Investigating and understanding the maintenance control tools, the parameters was incorporated as administration index with the purpose of optimizing the maintenance programs of the machines increasing their availability.

For the study you adapts a of electronic worksheet that gives as result the analysis parameters RAM. Of the carried out calculations could detect which are the mechanisms that fail with more frequency, analyze their causes, in consequence implement preventive maintenance, give training, increasing the productivity index of the company.

PALABRAS CLAVES

Confiabilidad, Mantenibilidad, Disponibilidad, Implementación.

KEY WORDS

Reliability, Availability, Maintainability

1. INTRODUCCIÓN

Las empresas mediante la implementación de adecuadas políticas y estrategias de mantenimiento, buscan alargar la vida útil de la maquinaria, con el fin de disminuir los fallos repentinos y las paradas imprevistas y que a su vez aumenten la frecuencia en tiempo de los paros programados para el mantenimiento rutinario o normal buscando aumentar la productividad y disminuir al máximo posible los costos de mantenimiento.

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 y posterior evaluación.

2. OBJETIVO GENERAL

Fundamentar los conceptos básicos de confiabilidad, mantenibilidad, disponibilidad, con todas sus aplicaciones a la máquina formadora de envases en Cristalería Peldar con el ánimo de realizar las mediciones CMD en relación a sus fallas y reparaciones.

3. CONCEPTUALIZACIÓN

La confiabilidad es una medida que resume cuantitativamente el perfil de funcionalidad de un elemento y ayuda en el momento de seleccionar un equipo entre varias alternativas.

La mantenibilidad es la característica inherente de un elemento, asociada a su capacidad de ser recuperado para el servicio cuando se realiza la tarea de mantenimiento necesaria según se especifica.

La necesidad de mantenimiento esta unida al concepto de disponibilidad. Este puede expresarse en una primera aproximación como la proporción de tiempo que un equipo se encuentra apto para cumplir

su misión, en condiciones dadas, respecto al tiempo que debió cumplir su misión y no lo hizo.

4. REGISTRO DE TIEMPOS DE FALLAS Y REPARACIONES

Para el siguiente estudio tomamos los datos de los tiempos perdidos de la maquina formadora de envases en la posición B2 de la planta de Envigado, estos datos fueron digitados del sistema de información de producción desde junio de 2003 hasta abril de 2004.

5. MEDICIÓN DE LOS PARÁMETROS CMD

Para el estudio, se adecuo una hoja de cálculo electrónica que da como resultado los parámetros de análisis CMD. De los cálculos realizados se pudo detectar cuales son los mecanismos que fallan con mayor frecuencia y analizar sus causas.

6. PRONÓSTICOS DE LOS INDICADORES CMD

Las previsiones o proyecciones se obtienen mediante la metodología estadística de series temporales, desarrollando el proceso lógico y reglamentado de análisis de los modelos clásicos ajuste de tendencia (linear, quadratic, exponential power y S curve), suavización exponencial (Brown (simple, linear y cuadrático, adaptative, simple y double exponential, Holt, simple y double exponential más linear trend) y modelos de descomposición (Holt's Winter y Winter aditivo y multiplicativo) y modelos modernos (A.R.I.M.A. o Box Jenkins).

Los pronósticos aportados son una ayuda para la gestión técnica y operativa del fenómeno evaluado; en ningún momento se deben tomar como de estricto cumplimiento, puesto que simplemente son una aproximación estadística al futuro, con sus limitantes de ocurrencia, para poder planear estratégicamente las acciones que se deben tomar en el presente

con el fin de atenuar las amenazas y aprovechar las oportunidades futuras pronosticadas.

7. PLANTEAMIENTO DEL MANTENIMIENTO A IMPLEMENTAR

Plantear estrategias, tácticas, acciones, análisis de fallos, etc., para determinar el mantenimiento a implementar en las máquinas formadoras de Cristalería Peldar, a partir de los indicadores CMD obtenidos y su análisis en la curva de Davies.

Los elementos y dispositivos con funciones clave de seguridad, además de ser idóneos ante unas exigencias del sistema, deben asegurar una correcta respuesta en el tiempo. Para ello es imprescindible establecer un programa de mantenimiento que permita mantenerlos en buenas condiciones de uso, renovándolos antes de que su tasa de fallos sea inaceptable. (Mora, 2000)

8. CONCLUSIONES

Después de todos los análisis realizados se pudo concluir cuales son los mecanismos que fallan con mas frecuencia, cuales son los que llevan mayor tiempo de reparación, se detectaron problemas en los procesos de capacitación y retroactividad de los empleados y por ultimo determinar cuales son los principales índices de evaluación para mejorar la productividad de la planta.

Los sistemas susceptibles de fallar no tienen dificultades importantes en su mantenibilidad pero se podrían disminuir los tiempos de su reparación teniendo herramientas que faciliten su desmonte, ya sea en estándares mundiales o las que los técnicos determinen para que les facilite la operación de reparación.

Los términos confiabilidad y mantenibilidad no sólo son expresiones importantes en la gestión y operación de mantenimiento; el uso de ellos también

radica en etapas como determinación de conceptos, diseño y desarrollo, producción, soporte operacional, etc.

Para obtener una alta disponibilidad de equipos se debe procurar disminuir los tiempos de reparación (MTTR) y procurar que se mantenga el servicio de la máquina.

La comparación de índices permite que una organización evalúe su propia gestión con respecto a otras, para ver la realidad de su eficiencia en cualquier aspecto; ésta acompañada de la calidad, aumenta los índices de productividad.

El factor de forma, beta, tiende a estabilizarse en uno, lo que indica que la distribución de fallas es aleatoria; en consecuencia, no se tienen problemas importantes de diseño, y más importante aún, y puesto que la máquina está en una fase de vida media, pues no presenta frecuencia de fallas crecientes que indiquen un degeneramiento, se recomienda realizar entrenamientos al personal para eliminar fallas por mala operación y definir estándares y normas que protejan la vida de cada uno de los mecanismos, como presiones de operación recomendadas, frecuencias de lubricación y secuencia óptima de ciclos.

Si no existen índices de evaluación de cualquier gestión, no es posible evaluarla, ni tomar medidas para mejorarla, pues no se sabe en qué situación se encuentra; por lo tanto todo lo que se mide se puede controlar.

9. BIBLIOGRAFÍA

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

ÁVILA, Rubén – Fundamentos de Mantenimiento: Guías económicas, técnicas y administrativas – México D.F., México – Limusa – 2003.

- BARLOW, Richard E.; PROSCHAN, Frank y HUNTER, Larry C. – Mathematical Theory of Reliability – New York, NY, USA – John Willey and Sons. – 1965.
- BLANCHARD, Benjamin S. VERMA, Dinesh, y PETERSON, Elmer Maintainability: A Key to Effective Serviceability and Maintenance Management. New York, NY, USA: John Wiley & Sons, Inc. 1995.
- CALABRO, S.R-Reliability Principles and Practices, New York, USA, McGraw-Hill Companies, 1962.
- CÉSPEDES, Pedro y TORO, Juan C. Metodología para medir confiabilidad: mantenibilidad y disponibilidad en mantenimiento. Medellín Colombia 2001 Proyecto de grado, Ingeniería Mecánica, Universidad EAFIT.
- DÍAZ M, Ángel. Confiabilidad en mantenimiento: 1ª. ed. Caracas-Venezuela: ED IESA, 1992.
- DOUNCE, E. La productividad del mantenimiento industrial- México D.F., México. CECSA. 1998.
- EBELING, Charles E. An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering, New York, NY, US McGraw-Hill, 1997.
- GARCÍA, Luis – La disponibilidad como objetivo – En: Ingeniería Química. No.3-20 Enero de 1996. pp. 206.
- GONZÁLEZ, Claudio Julián y ZAMBRANO, Alejandro – Aproximación al control estratégico de mantenimiento mediante indicadores CMD: estándares internacionales – Medellín, Colombia – 2002 - Proyecto de grado – Ingeniería Mecánica, Universidad EAFIT.
- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Documentación. Presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación. Bogotá-Colombia: ICONTEC, 2002. 37p. (NTC 1486).
- IRESO, W. Grant. Reliability Handbook. New York, NY, USA. McGraw-Hill. – 1966.
- KAPUR, K.C. y LAMBERSON L.R. Reliability in Engineering Design. New York, NY, USA. John Wiley & Sons, Inc. – 1977.
- KECECIOGLU, Dimitri. Maintainability and Operational Readiness Engineering. Upper Saddle River, NJ, USA. Prentice Hall. 1995.
- KNEZEVIC, Jezdimir. Mantenibilidad: Madrid-España: Isdefe, 1996. pp. 305.
- KOPETZ, H. Software Reliability. Londres, Inglaterra. The Macmillan Press. 1979.
- MONTOYA, José Andrés y LÓPEZ, Juan Camilo. Modos de falla y análisis de efectos (FMEA). Medellín, Colombia. 2001. Proyecto de grado – Ingeniería Mecánica, Universidad EAFIT.
- 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 23 al 26 de julio de 2001.
- MORROW, Mohammed. What Every Engineer Should Know About Reliability and Risk Analysis. New York, NY, USA. 1993.
- NACHLAS, Joel A. Confiabilidad. Madrid, España. Isdefe. 1995.
- O’CONNOR, Patrick D. T. Practical Reliability Engineering: New York, NY, USA, John Wiley & Sons, Inc. 1989. pp. 4.
- OMDAHL, T.P. Reliability: Availability and Maintainability Dictionary. 1a ed. Milwaukee-USA: ASQC Quality Press. 1988.
- RAMAKUMAR, R. Engineering Reliability: Fundamentals and Applications. Englewood Cliffs, NJ, USA – Prentice Hall, Inc. – 1993.

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

ROJAS, Jaime. Introducción a la Confiabilidad: Bogota-Colombia: Universidad de los Andes, 1975. pp. 1- 4.

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

SOTSKOV, B. Fundamentos de la teoría y del cálculo de confiabilidad de elementos y dispositivos de automatización y técnica del cálculo. Moscú, Rusia. Editorial MIR. 1972.

VALENCIA, José Orlando y ZAPATA, José Guillermo. Investigación y análisis de los Índices de Mantenimiento en ISA. Medellín, Colombia. 1983. Trabajo de Grado (Ingeniero Mecánico). Universidad Nacional. Facultad de Minas. Área de Mantenimiento.



ESTACIÓN AUTOMÁTICA DE CARGA DE TUBOS DE CALOR

GABRIEL FELIPE MONTOYA PELÁEZ. gmontoy1@eafit.edu.co
Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS

DISEÑO DE SISTEMAS TÉCNICOS

ASESOR PRINCIPAL

Ing. LUIS SANTIAGO PARIS

EMPRESA

UNIVERSIDAD EAFIT – ÁREA DE DISEÑO

RESUMEN

En este proyecto se desarrolla la estación automática de carga de tubos de calor utilizando herramientas modernas tales como Labview, para registro y procesamiento de datos, un PLC siemens S7-200 para la adquisición de datos y control de actuadores tales electroválvulas y se desarrolla un modulo para el manejo de la potencia requerida por las electroválvulas utilizadas al igual que el acondicionamiento de las señales proporcionadas por los sensores.

Con esta estación es posible realizar el proceso de construcción de tubos de calor en su etapa de carga de los fluidos de trabajo, tales como la presión de vacío y el nivel de líquido. El propósito de controlar las etapas del proceso de carga es de garantizar dentro de valores preestablecidos las propiedades

que determinan la operación de los tubos de calor y termosifones y así obtener resultados deseados de acuerdo a los requerimientos del diseño. Para ello se hace uso de elementos electromecánicos que permiten realizar las funciones perfectamente y controlados desde un computador permitiendo tener un registro de los estados del sistema y facilitando las actividades del operador de la estación.

ABSTRACT

In this project developed one station automatic of heat pipe load with modern tools how Labview for registry and process of data acquisition (DAQ) and control of actuators something like electroválvulas and developed one kit for handle the signals of power need it for this elements like the same as conditioning of signal provide of the sensors.

Whit this station is possible to do the process of construction of heat pipes in his stage of work liquid load something like pressure of vacuum and level of liquid . The purpose of control the stages of process of load is guarantee inside of pre establish values the properties that determine the operation of the heat pipes and termosifons and in this way obtain wish for results agree with the requirements of design. For this reason this use electromechanics elements that allow do the functions perfectly and controlated from one computer (pc) allowing have one register

of states of system provided the activities of system operator.

PALABRAS CLAVE

Automatización de procesos, Proceso de carga de tubos de calor, Fabricación de tubos de calor, Tubos de calor.

KEY WORD

Process automation, Load process of heat pipes, Manufacture of heat pipes, Heat pipes

INTRODUCCIÓN

En la Universidad EAFIT de Medellín se desarrolla con el apoyo de Colciencias un proyecto de investigación en el área de transferencia de calor y termodinámica, el cual involucra dispositivos denominados tubos de calor y termosifones, elementos que hacen parte del sistema de alta conducción de calor de un lugar a otro con características que los diferencian de la transmisión de calor con metales convencionales.

En este proyecto se desarrolla un sistema automático de carga que permite realizar las etapas de incorporación de los fluidos de trabajo específicamente la carga de los tubos de calor y termosifones. Esta estación es un módulo mediante el cual es posible cargar el tubo de calor con un volumen de líquido y en condiciones de vacío, determinados en su diseño; teniendo una interfase con el sistema logrando la interacción de un software diseñado para la comunicación mediante equipos electrónicos y electromecánicos.

Con este proyecto se diseña y construye una herramienta que facilite la investigación y el desarrollo de los tubos de calor y termosifones como nueva tecnología para la transferencia de calor, facilitando mediante la automatización la fabricación de estos elementos en aspectos relacionados con el proceso de carga.

El propósito de controlar las etapas del proceso de carga es de garantizar dentro de valores

preestablecidos las propiedades que determinan la operación de los tubos de calor y termosifones y así obtener resultados deseados de acuerdo a los requerimientos del diseño.

En este proyecto se describe el proceso convencional de carga de los tubos de calor y termosifones, lo cual proporciona la identificación de las variables a controlar y la determinación de los dispositivos electromecánicos y electrónicos que permiten tanto cuantificarlas como controlarlas. Se propone así una configuración de un sistema, utilizando un software apropiado.

El software que se desarrolla como parte de este proyecto, considera que los datos de cantidad, tipo de fluido y consideraciones de operación ya han sido previamente definidos.

LISTA DE TÉRMINOS

AQ: Salida analógica del PLC.

AI: Entrada analógica al PLC

CPU: Con este término en este proyecto se hace referencia a la unidad central de procesamiento del equipo PLC.

DI: Entrada de señales electrónicas digitales de tecnología TTL.

DO: Salida de señales electrónicas digitales de tecnología TTL.

Módulos de expansión: Módulos adicionales a la CPU del PLC.

Módulo de válvulas: Modulo desarrollado en este proyecto para el control de electroválvulas.

PIC: Controlador integrado programable

PLC: Controlador lógico programable

LCD: Display de cristal líquido

TUBOS DE CALOR Y TERMOSIFONES

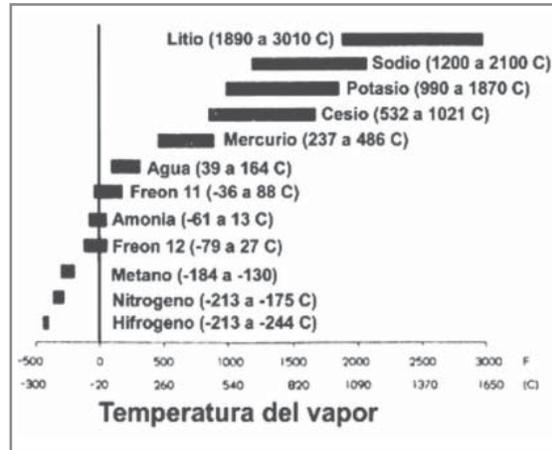
Con el termino “tubo de calor” se hace referencia a los dispositivos que permiten la transferencia de calor de un lugar a otro, con una conductancia térmica equivalente mejor que cualquier otro elemento conocido, esto es debido a su conductividad térmica que es 4 o 5 veces mayor que la del cobre, el cual, es uno de los materiales con mejor conductividad térmica, (KATSUTA, 1984) paralelo a ésto, la velocidad en la transmisión de calor de un extremo a otro se encuentra del orden de 500 a 1000 veces mas altos que en los metales conocidos (SILVERSTEIN, 1992).

El tubo de calor al igual que el sifón térmico bifásico (termosifón) consiste en un contenedor sellado de aluminio o cobre cuyas superficies interiores pueden tener un material fibroso capilar aunque normalmente se fabrica liso. Dentro del contenedor se encuentra un líquido, por ejemplo alcohol o agua, el cual penetra los poros del material capilar, humedeciendo todas las superficies interiores. Al aplicar calor en cualquier punto a lo largo de la superficie del tubo de calor, ocasiona que el líquido en ese punto hierva y logre un estado de vapor. Cuando eso sucede, el gas capta el calor latente de vaporización. El gas, que para entonces tiene una presión mayor, se mueve dentro del contenedor sellado hacia un lugar más frío en donde se condensa, ver figura 1. De esta forma, el gas deja el calor latente de vaporización y mueve el calor desde la entrada hasta el extremo de salida del tubo de calor. Este proceso se lleva cabo a una gran velocidad alcanzando más de 223.5 m/s. (PETERSON, 1994).

Fluido de trabajo

El fluido de trabajo es seleccionado de acuerdo al rango de operación del tubo de calor; la temperatura para la selección del fluido debe estar relacionada con la temperatura del vapor en la sección de evaporación del tubo y tiene un amplio rango entre 0° C y 1650° C (SILVERSTEIN, 1992).

FIGURA 1
Rangos de temperatura de operación para varios fluidos de trabajo



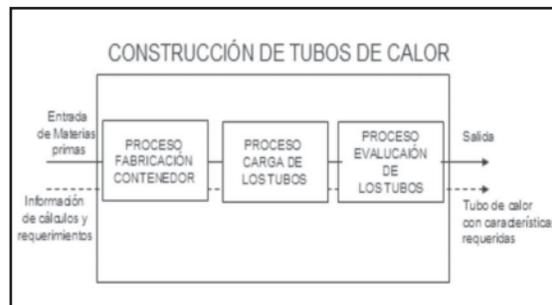
SILVERSTEIN, 1992.

Para este proyecto el fluido de trabajo utilizado es agua, debido a que presenta un rango de temperatura alcanzable fácilmente para realizar pruebas.

PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DE LOS TUBOS DE CALOR

Para la construcción de los tubos de calor puede definirse 4 principales etapas o procesos que son: el proceso de diseño, proceso de preparación del contenedor, proceso de carga y proceso de prueba, para cada proceso se debe contar con una estación que permita realizar correctamente el proceso. Ver figura 2.

FIGURA 2
Procesos necesarios para la construcción de tubos de calor



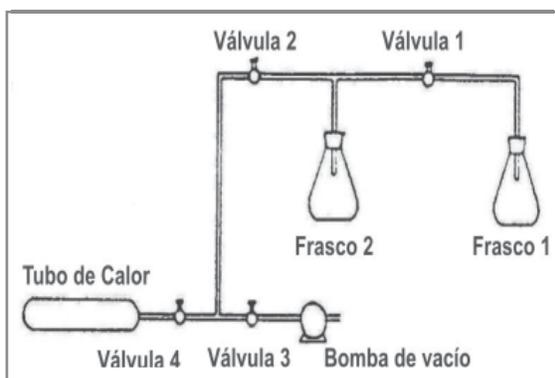
Proceso de carga de los Tubos de Calor

Para realizar correctamente el proceso de carga, debe existir una relación de ensamble entre el contenedor y la estación de este proceso, esto para poder realizar correctamente el procedimiento de carga, como se trato en mas detalle en la sección anterior; por otro lado se debe estimar correctamente aspectos como el fluido de trabajo teniendo en cuenta las condiciones de operación de tubo, igualmente el volumen de este fluido y la compatibilidad de este con el contenedor.

Alternativas del proceso de carga de tubos de calor
Luego de superado el primer proceso de fabricación, se continúa con el proceso de carga. En este punto se pretende introducir el volumen del fluido calculado dentro del tubo de calor, para ello se recomiendan cuatro posibles procedimientos (PETERSON, 1994).

1. Evacuación del aire y llenado del fluido en estado de vapor o líquido. Ver figura 3.
2. Llenado de líquido y evaporación por calentamiento.
3. Llenado utilizando la técnica de sublimación.
4. Llenado usando vapor supercrítico.

FIGURA 3
Esquema de carga de doble destilación
cargando fácilmente



PETERSON, 1994.

El procedimiento de carga utilizado en el desarrollo de este trabajo es el primero de los métodos enunciados anteriormente, el método de evacuación de aire y luego llenado de líquido dentro del recipiente, este procedimiento tiene la ventaja de evitar que se introduzcan gases no condensables dentro del tubo.

La secuencia de operación de esta estación puede describirse de la siguiente manera, luego de haber conectado el tubo a la estación.

PASO 1 - Preparación inicial y conexión de tubo de calor. Se debe de conocer el peso del tubo de calor, incluyendo la válvula de carga, dejando el registro de dicho peso para una futura validación de la carga, luego el tubo mediante la válvula de interfase debe ser conectado a la estación este debe ser conectado a la estación mediante la válvula de interfase, preferiblemente en forma vertical.

PASO 2 - Preparación de vacío. Se procede a ubicar la válvula de 4 vías 4 posiciones de manera manual de forma tal que se conmute el punto común de la conexión de el tubo de calor con el ramal correspondiente a la entrada de vacío, luego de ello se abre la válvula manual que se encuentra sobre esta línea al igual que la válvula manual de protección del vacuómetro.

PASO 3 - Evacuación de aire. Se enciende el equipo compresor y se inicia el proceso de hacer vacío en el Tubo hasta llegar a un nivel máximo de presión negativa de aproximadamente -10 psi. con el uso de una bomba de vacío neumática.

PASO 4 - Fin de vacío y preparación carga de líquido. Se cierra la válvula de paso que se encuentra sobre la línea de vacío, y se cierra la válvula de protección del vacuómetro, se ubica la válvula principal de manera que se conmute la línea de líquido con el punto común de entrada al tubo y se abre la válvula de paso que se encuentra entre la probeta donde se encuentra el líquido a llenar y la conexión al tubo.

PASO 5 - Carga de fluido en forma líquida. La introducción del fluido se regula mediante la válvula de carga y la cual permanece abierta teniendo en cuenta la lectura visual del nivel de líquido en la probeta hasta llegar al volumen de líquido deseado, para luego cerrar la válvula de de paso entre las dos partes.

PASO 6 - Cierre de válvula de carga, fin de carga de fluido. Se cierra la válvula que se encuentra incorporada al tubo de calor y este se desprende de la estación.

PASO 7 - Pesaje del sistema cargado. Pesar de nuevo el tubo cargado y comprobarlo con el peso obtenido en el paso uno, y de acuerdo a la densidad de este determinar el volumen en el interior del tubo. De hallar algún error en el peso se debe de evaluar el nivel de líquido y proceder a adicionar el líquido resultante.

PASO 8 - Preparación para purgado del sistema. Se mueve la válvula principal hasta conmutar la línea de aire con el punto común donde se encontraba el tubo y se abre la válvula de paso que une el equipo compresor de aire y la salida de conexión del tubo de calor.

PASO 9. Purga con aire comprimido. Se activa el compresor de aire para hacer un desalojo del líquido remanente en la estación, para poder dejarla preparada para una próxima carga y se cierra de nuevo todas las válvulas ubicando la válvula principal en posición de cerrada, para en el próximo tubo comenzar la secuencia desde el paso 1 anteriormente enunciado.

Aplicación de la automatización al proyecto

En cualquier tipo de proceso se puede utilizar la automática ya que esta es la disciplina que trata los métodos y procedimientos cuya finalidad es la sustitución del operador humano por un operador artificial en la ejecución de una tarea física o mental previamente programada (HOSTETTER, 1984).

La automatización puede introducirse en todas las tareas que el hombre considera como trabajo, pero sin ser la misma para todas las aplicaciones. En los procesos los materiales que se manipulan son casi siempre gases o líquidos y cuando no es así no se opera sobre unidades sino sobre un flujo de producto; actualmente se presenta la diferencia entre los procesos de producción y los procesos de fabricación (SÁNCHEZ, 1987).

En este proyecto se busca alcanzar un nivel de automatización en el cual el operario no requiere intervenir directamente en la estación de carga, y desde su puesto de trabajo puede realizar cargas a diferente tipo de tubos con diversas características, operando y monitoreando cada una de las variables que intervienen en el proceso dejando incluso un registro para alguna futura inspección o análisis del producto terminado.

Automatización del Proceso de Carga

El proceso de carga de tubos de calor es un proceso discontinuo o por lotes. En este tipo de procesos, se reciben a la entrada las cantidades de las diferentes piezas discretas que se necesitan para realizar el proceso. Sobre este conjunto se realizan las operaciones necesarias para producir un producto acabado o un producto intermedio listo para un procesamiento posterior. (TAR, 2003)

Un proceso discreto y discontinuo como el de carga de tubos de calor podrá controlarse mediante el mismo tipo de sistema de control, llamado controlador secuencial.

Los procesos que se pueden controlar en forma secuencial tienen las siguientes características:

- El proceso se puede descomponer en una serie de estados que se activarán en forma secuencial.
- Cada uno de los estados cuando está activo, realiza una serie de acciones sobre los actuadores.

- Las señales procedentes de los sensores, controlan la transición entre estados.
- Las variables empleadas en el proceso y sistema de control, son múltiples y generalmente de tipo discreto, solo toman dos valores: activado o desactivado.

Dependiendo de cómo se realice la transición entre los estados, los controladores secuenciales pueden ser de dos tipos: asíncronos y síncronos.

- **Asíncronos.** La transición entre estados se produce en el mismo instante en que se produce una variación en las variables de entrada.
- **Síncronos.** La transición a un estado determinado se produce en función de las variables de entrada y de la variable asociada al estado anterior. Las variables de entrada y la variable interna (asociada al estado anterior) están sincronizadas mediante una señal de reloj de frecuencia fija. La transición entre estados sólo se produce en un flanco de la señal de reloj.

Identificación de los Procedimientos y las Variables del Proceso de Carga

Las variables a controlar durante el proceso de carga es el nivel de líquido dentro del tubo de calor y la presión de vacío antes de realizar la carga, esto es de acuerdo al procedimiento descrito por Peterson para este proceso. (PETERSON, 1994).

1. Evacuación de los gases no condensables encontrados en el interior del tubo mediante el

procedimiento de generación de vacío conocido y determinado por el diseño del tubo en el interior de este elemento.

2. Introducción del líquido de trabajo en el elemento, cuidando de manera especial el valor de nivel cargado ya que este es una condición del funcionamiento del tubo de calor de acuerdo al diseño de este dispositivo.

DESARROLLO Y CONSTRUCCIÓN DE LA ESTACIÓN AUTOMÁTICA DE CARGA

Componentes de la Estación Automática de Carga

Dicha estación esta compuesta de 4 módulos generales adicionales al usuario quien opera el equipo, tales módulos son:

Computador para registro y visualización de variables, PLC para control y adquisición de datos, Modulo de comunicación con visualización LCD, para ver datos de estado durante el proceso de carga, sistema mecánico de válvulas, las cuales son los elementos finales de control encargados de realizar la conducción de los fluidos de carga de vacío y de líquido.

El software para la comunicación entre los equipos se desarrolla en labview aprovechando la interfase grafica y amena que esta ofrece al usuario para el control y registro de las señales.

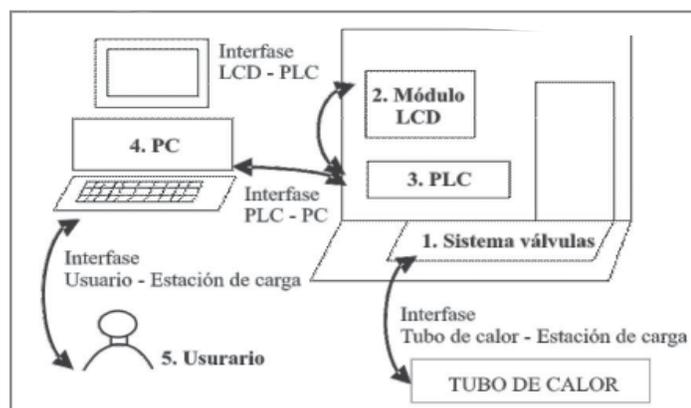


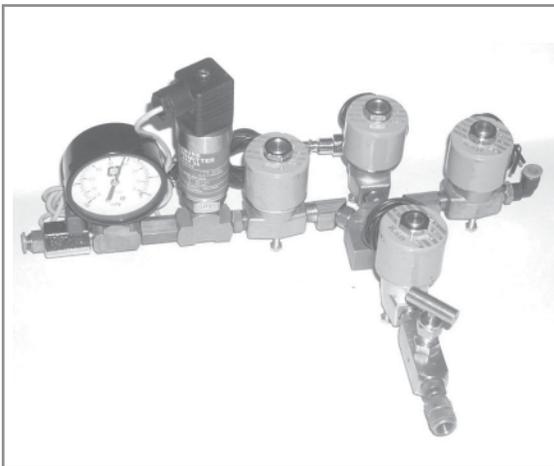
FIGURA 4
Diagrama general de componentes de la estación automática de carga

Sistema Mecánico

Para realizar las acciones de carga donde interviene la conmutación de los diferentes fluidos (aire y agua generalmente) en un mismo recipiente, se optó por utilizar diferentes elementos mecánicos, electromecánicos y de unión entre estos, distribuidos de forma tal que conforman la estación automática de carga.

1. Electroválvulas solenoides.
2. Accesorios (Te, codos 45° NPT DN 1/4", manguera).
3. Compresor de aire.
4. Bomba de vacío (Neumática).
3. Accesorios generales para la unión entre válvulas.
4. Válvula reguladora de Flujo.
5. Probeta para precarga de líquido.
6. Sensor de presión.

FIGURA 5
Arreglo principal de válvulas para estación de carga



Sistema Electrónico

Sensor de presión

De acuerdo a las consideraciones de diseño realizadas en la universidad eafit con relación a la presión de vacío con la que deben ser cargados los tubos de calor, se debe considerar una presión de aproximadamente 60 cmHg (centímetros de mercurio), Para satisfacer los requerimientos de medición de presión en la estación, se ha seleccionado el sensor Danfoss AKS33 el cual genera una señal de corriente de 4-20mA para presiones de -1 hasta 20 bar ó -14.5 hasta 290 PSig.

FIGURA 6
Sensor de presión Danfoss AKS33



Datasheet Danfoss

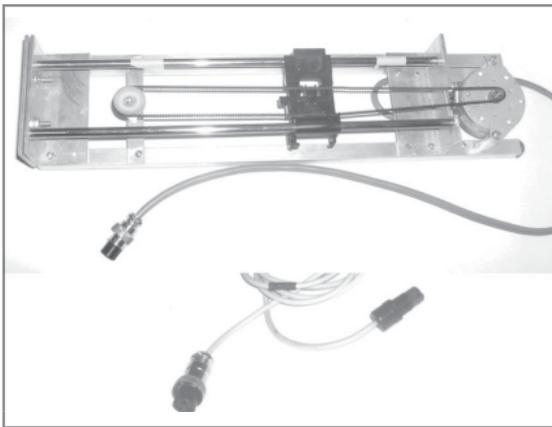
Para la calibración de este instrumento de presión se utilizó un medidor de peso muerto, basado en un pistón el cual aplica una presión conocida sobre un fluido para activar al instrumento bajo calibración.

Sensor de nivel

El funcionamiento de este sensor consiste en detectar la posición del flotador que se encuentra sumergido en el líquido dentro de la probeta de precarga y para ello el sensor debe ubicarse al frente de dicha

probeta como se ilustra en la figura 35, donde puede verse una pareja de sensores fotodiodo y foto emisor infrarrojo. La función del foto emisor consiste en emitir un haz de luz con longitud de onda del infrarrojo la cual es detectada por el fotodiodo al reflejarse contra la pared del flotador. Dicha señal es adquirida y procesada dando información de la posición del flotador dentro de la probeta.

FIGURA 7
Sensor de nivel



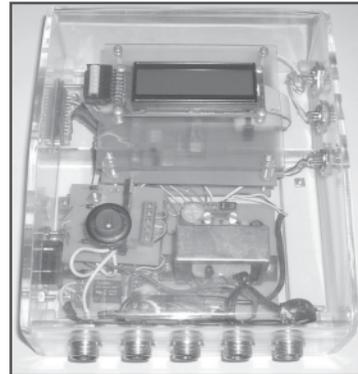
Módulo de interfase PLC - Válvulas

Para la comunicación entre el PLC y las válvulas, se construye un módulo que permite conectar este dispositivo a los elementos finales de control y sensores, además de tener la capacidad de mostrar en una pantalla de cristal líquido LCD datos relacionados con el proceso de carga.

Este módulo contiene:

1. Pantalla LCD
1. Tarjeta de microcontrolador PIC 16F873 para control de pantalla LCD
2. Tarjeta con circuito de fuente +5vdc y +12vdc.
3. Tarjetas para el control de 6 electroválvulas solenoides.
4. Tarjeta de sensores

FIGURA 8
Módulo conexión de válvulas



Interacción con la estación de carga

- **Adquisición de datos.** Consiste en la recogida, tratamiento y almacenamiento de los datos.
- **Supervisión.** En esta función el computador no efectúa directamente el control de proceso. Se conecta a los controladores del proceso (autómatas, reguladores PID...) por medio de un sistema de comunicación serie o por una red de comunicaciones industrial. La principal función es la ayuda al operador de planta. El computador suministra al computador unas informaciones elaboradas como pueden ser alarmas, tratamiento de fallos, procedimientos de rearme.
- **Control secuencial.** En esta función el computador suele tomar la forma de autómatas programable, en el cual se ejecutan programas de control de sistemas secuenciales.
- **Control analógico digital.** Es una forma de control que se utilizaba con los primeros computadores en la cual el computador se encargaba de elaborar la consigna de los bucles analógicos.
- **Control digital directo.** El computador ejecuta directamente el control del proceso continuo. Toma la forma de regulador industrial o de computador industrial con tarjetas de interfase con el proceso.

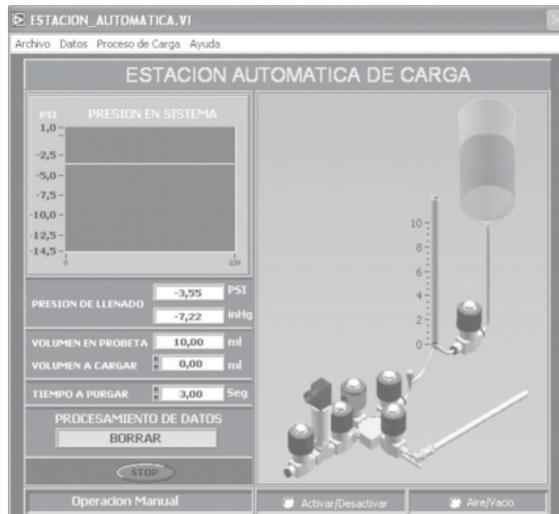
- **Análisis de datos.** Función clásica de los computadores de gestión en el que se analizan los datos de producción por medio de herramientas de informática. (TAR,2003)

Software para el Control de la Estación

El software fue desarrollado en labview y consta básicamente de dos estructuras funcionales, una de ellas es una programación del software de manera secuencial la cual realiza un cambio en los eventos y en el control de los actuadores de acuerdo a la señal de los sensores, y la otra de ellas es una posibilidad de utilizar el módulo de forma manual, es decir activando de forma independiente cada uno de los diferentes actuadores de la estación, esto con el fin de poder realizar pruebas y nuevos procedimientos para dejar la puerta abierta a la investigación en el área del desarrollo de los tubos de calor.

El software consta de un programa principal y 3 subprogramas en donde se puede realizar cada uno de los procedimientos establecidos en el procedimiento de carga de tubos de calor.

FIGURA 9
Programa principal



El programa principal consta de un menú que permite seleccionar cada uno de los procedimientos tales como carga de vacío, Carga de líquido y purgado

del sistema realizando las respectivas acciones de adquisición de datos de las señales de los sensores y control de actuadores tales como las electroválvulas

Para la comunicación del software de control con el PLC se programó el PLC siemens S7-200 de manera que mediante interrupciones provocadas por la recepción de determinados caracteres se realizarán acciones específicas.

FIGURA 10
Subprograma para carga de presión de vacío

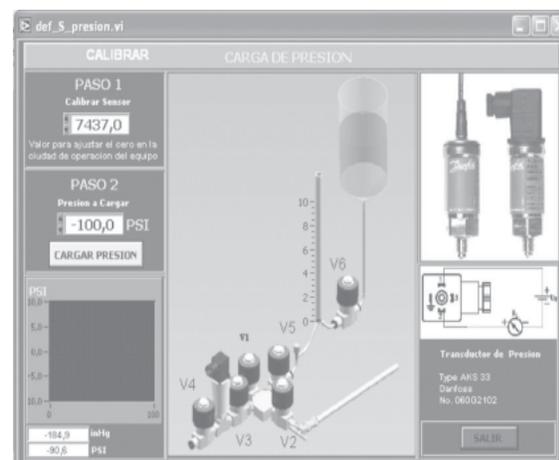


FIGURA 11
Subprograma para carga de líquido

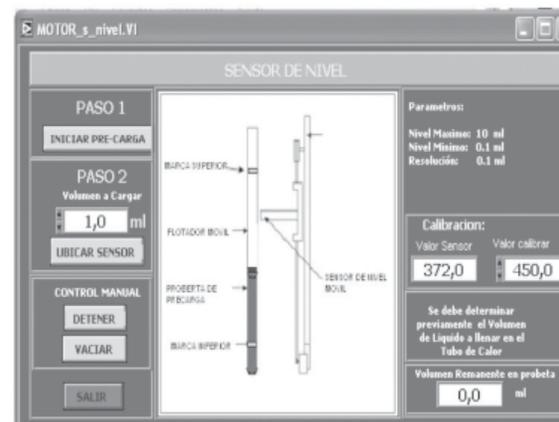
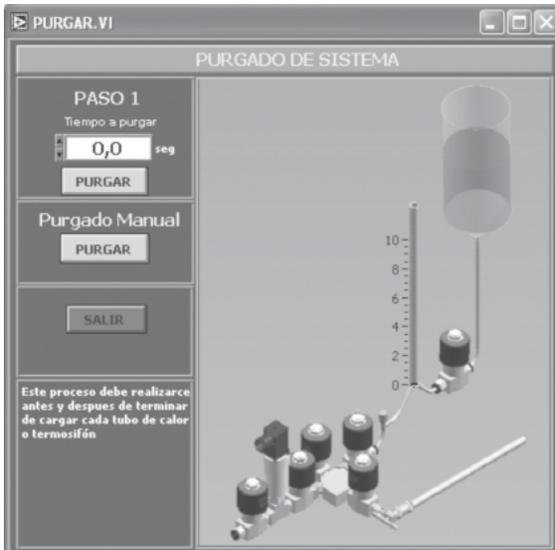


FIGURA 12
Subprograma para purgar el sistema
antes de la próxima carga



CONCLUSIONES

En este proyecto se describe el funcionamiento básico de un tubo de calor, los elementos que lo componen y el proceso de fabricación llevado a cabo en la universidad Eafit, lo cual permitió desarrollar una estación de carga automática para realizar la carga de estos elementos de una manera más eficiente.

El nivel de automatización lograda en este proyecto permite realizar futuras modificaciones al proceso de fabricación de los tubos de calor, logrando así poder interactuar con los otros procesos necesarios para su fabricación y prueba.

Los sensores tanto de nivel como de presión realizan excelentemente la función de detección de las variables a controlar en este proceso ya que ambos constan de una escala adecuada para los niveles de respuesta de las variables del proceso, y a pesar que la medición de nivel no se realizó de manera análoga o continua, con el sensor de nivel desarrollado en este proyecto se alcanza una precisión suficiente en la medición de esta variable, lo cual hace que

esta estación se encuentre muy bien dotada en la medición de las variables que afectan la calidad de la carga de los tubos.

La repetitividad y el registro de los datos son factores característicos de esta estación automática que la diferencia enormemente de la estación manual, donde se carece de la certeza y validez de estos datos ya que eran adquiridos de forma experimental y por lo tanto estaban sujetos a la pericia del operador.

Se logró establecer una muy buena comunicación e interfase entre los equipos PLC y computador mediante el software de Labview, permitiendo adquirir las señales de corriente y voltaje de una manera casi continua con una frecuencia de muestreo de 0.08 segundos, y simultáneamente es posible controlar cada una de las salidas digitales de la CPU del PLC para accionar las electroválvulas.

El tiempo de carga de los tubos de calor en la estación desarrollada en este proyecto es de 30% inferior a la que se tenía en la estación manual, lo cual permite realizar mayores elementos en menor tiempo y con más bajo margen de error durante la carga.

El sistema de control secuencial utilizado en este proyecto facilita la programación y la adaptación de posibles elementos adicionales a dicha estación para futuras incorporaciones de equipos a dicho proyecto.

Los programas de operación de la estación automática tanto el programa de test como el de operación, permiten que el diseñador de los tubos no solo cargue tubos con valores predeterminados matemáticamente, sino que interactúe con cada una de las variables, lo que ofrece una herramienta para la investigación del desarrollo de estos elementos.

La importancia del módulo de comunicación PLC válvulas, es que no está limitado a un PLC con una CPU de salidas digitales por relees, sino que puede estar conectado a cualquier tipo de PLC con salidas digitales.

SUGERENCIAS

Con relación a la estación de carga de sería interesante conocer la temperatura que alcanza el tubo al ser cargado y evaluar su comportamiento, esto con el fin de conocer la perturbación que genera una variable en el medio como esta.

Respecto a la medición de volumen de carga en el tubo, en el medio se consiguen sensores de nivel análogos de muy alta resolución entre los que se encuentra en sensor de presión de columna de agua el cual proporciona una mediada de nivel partiendo del peso de su columna de agua, el cual no fue incorporado en este proyecto debido a su alto costo.

Considerando los tres procesos de fabricación de tubos de calor, fabricación del contenedor, carga y prueba, es importante continuar desarrollando módulos automáticos de los otros 2 procesos (fabricación de contenedor y prueba) para poder alcanzar un nivel completo de automatización de la producción de los elementos tubos de calor.

Adquisición de otro tipo de señales externas diferentes a las necesarias para realizar el proceso de carga, tales como peso del tubo luego de ser cargado, y temperatura durante la carga, esto con el fin de tener mayor información acerca de las condiciones de la carga de los tubos de calor.

Adecuación mecánica y electrónica de la estación de carga para la carga simultanea de más de un tubo, con el fin de aumentar la productividad de carga de estos elementos en este proceso permitiendo sacar series de tubos cargados en el mismo instante de tiempo.

BIBLIOGRAFÍA

ANDERSON, W.T. Hydrogen evolution y niquel – water Heat pipes. Washington D.C. United States 8th AIAA Thermo physics conference. 1973 paper N° 73-726.

ANDREWS,J; AKBARZADEH,A and SAUCIUS,I. Heat pipe technology, Theory, applications and prospects. Proceedings of the International Heat Pipe Symposium, Melbourne, Australia, 17-20 November 1996. Pergamon, Firs edition,1997.

BENJAMÍN, C. Kuo. Sistemas automáticos de control. Ciudad de México . Prentice hall séptima edición,1996. p210.

BENTLEY, John P. Sistemas de medición Principios y aplicaciones. Ciudad de México. Compañía editorial Continental, 1993. p 15 .

BRYAN, L.A. and Bryan, E.A. Programmable Controllers; Theory and Implementation, Industrial Text Co, 1988.

CAMARDA C.J. Rummeler. multiheat pipe panels. Arizona – United states of America. Nasa tech brief. p. 50. 1994

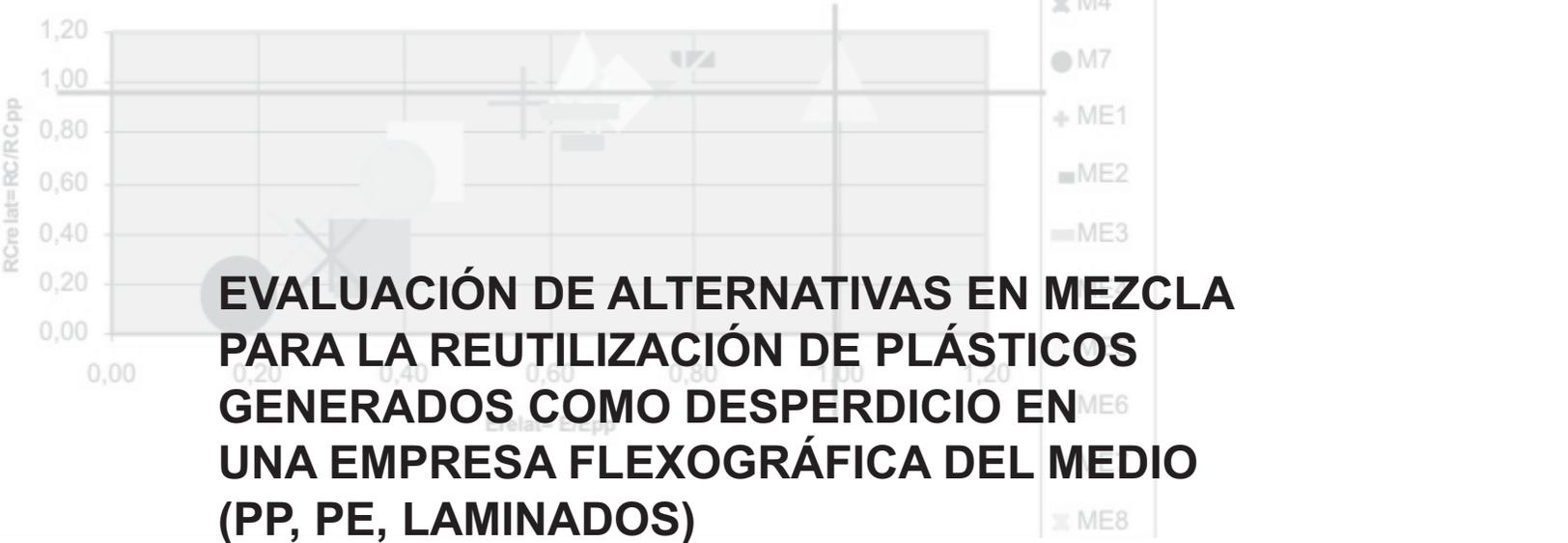
CATAÑO Juan Esteban, Appleby Botero Eduardo. Diseño y contruccion de Tubos de Calor, 2003.

CEKIT, Curso básico y avanzado de micro-controladores PIC. Pereira-Colombia, Editorial Cekit S.A, 1999.

CUENCA, Eugenio Martín. Microcontroladores PIC la solución en un chip. Madrid España. Editorial Paraninfo ITP An international Thomson Publishing company, 1998. p455 .

DANIELS, T.C. investigations of factors affecting the performance of a rotating heat pipe. Ohio –United states. ASME journal of heat transfer. Volumen 94 pp. 155-162. Mayo 1979.

- DANIELS.T.C. and WILLIAMS, R. J, The effect of external boundry conditions on condesadation heat tranfer rotating heat pipes. New jersey –united states of America. p125. Volume 22. international journal of heat mass transfer. 1979.
- DUNN,P. and REAY, D.A Heat pipes. Second edition. Great Britin, Pergamon press, 1978.
- FESTO. Introducción a la técnica neumática de mando. Barcelona–España. Editorial festo didactis. 1982. p12.
- GOSLING. P.E. Códigos para ordenadores y micro-procesadores. Madrid–España. Paraninfo. 1981 p. 50.
- GOULD, L. Computers get it all together. NJ-United States. Ed. Electronics week 1985.p55
- HARRISON, Controles automáticos. Acapulco – México. Editorial México 1985. p546.
- HOSTETTER, Gene. Sistemas de control. Ciudad de México – México, editorial interamericana, 1984. p. 300.
- INFOTECH, Factory Automation. Londres–Inglaterra. Infotech state of the art reprot.1980. p. 134.
- KARLEKAR B.V. Transferencia de Calor. Mexico D.C Agosto 1995. McGraw-Hill. pp19-50.
- KATSUTA, N., Kigami. Performance and characteristics of rotating heat pipes. Tokyo - Japón P106. Ed. T. Sukuba 1984.
- KLAASSEN. Klaas B. Electronic Measurement and instrumentation. New York - Usa 1996. Publisher by the press syndicate of the university of Cambridge p5.
- KOBLER, M . Iniciación a la neumática, Barcelona – España. Editorial festo didactics 1989. p89.
- KUO, Benjamín. Sistemas automáticos de control. Barcelona - España 1973. p54.
- LAPINSKI, R.J. Characterization of aging mechanics in aluminum/ammonia heat pipes. Honolulu Hawai. AIAA paper numero 91-1361 Junio de 1991.
- LILEN, H. Del microprocesador al micro ordenador. Madrid – España. Paraninfo 1986 p. 80.



EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS EN MEZCLA PARA LA REUTILIZACIÓN DE PLÁSTICOS GENERADOS COMO DESPERDICIO EN UNA EMPRESA FLEXOGRÁFICA DEL MEDIO (PP, PE, LAMINADOS)

CARLOS ESTEBAN ROBLEDO GÓMEZ. *carloser@epm.net.co*
Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS
PLÁSTICOS

ASESOR PRINCIPAL
Ing. LUIS ALBERTO GARCÍA

SECTOR BENEFICIADO
EMPRESAS RECICLADORAS DE MATERIAL PLÁSTICO

RESUMEN

En este proyecto se evalúan soluciones en mezcla para el problema que se presenta con el material Laminado de desperdicio que se genera en una empresa flexográfica el medio y con el que actualmente trabajan algunas empresas recuperadoras de plástico en Medellín. En el proyecto se desarrollara una solución que consiste en elaborar y analizar mecánicamente Varetas (tablillas) y Estacones, fabricados a partir del reciclaje y la reutilización de materiales como Polipropileno, Polietileno y Laminado (mezclas de Poliéster, BOPP, PE, PP, PET), como elementos modulares para el desarrollo de futuros producto tales corrales, mesas, sillas, estanterías, estibas y otros.

Para el desarrollo de estas formas (Vareta y Estacones) realizó un análisis de las propiedades mecánicas (resistencia a la Flexión y Compresión) variando los porcentajes de los materiales que se adicionan a la mezcla para obtener las mejores propiedades.

ABSTRACT

In this project are evaluated solutions in mixture for the problem that appears with de Laminated material of waste that is generated in a flexographic company and with that one that is actually used by the recycling plastic companies in Medellín. In the project it was develop a solution that consist of elaborating and analyzing mechanically Varetas (small boards) and Teeth, made from the recycling and the reusability of materials like Polypropylene, Polyethylene and Laminate (Polyester mixtures, BOPP, PE, PP, PET), like modular elements for the development of futures product such corrales, tables, chairs, bookcases, rammers and others.

For the development of these forms (Small boards and Teeth) it was made an analysis of the mechanical properties (resistance to the Flexion and Compression) varying the percentage of the

materials that are added to the mixture to obtain the best properties.

PALABRAS CLAVES

Reciclaje de plásticos / Madera plástica / reutilización / Extrusión / Varetas / Largueros.

KEY WORDS

Recycling plastics / Plastic Lumber / reusability / Extrusion / Small boards / Teeth.

INTRODUCCIÓN

Hasta el día de hoy las empresas han venido desarrollando estibas plásticas, entre otros, con los materiales de desperdici, pero este proceso no ha sido analizado a fondo ya que el material Laminado es considerado como un único tipo de material y no como una mezcla de materiales lo cual implica que el control del procesos sea mínimo por lo que se ha generado que las pruebas no sean muy homogéneas y por el contrario su variación esta en un rango muy amplio.

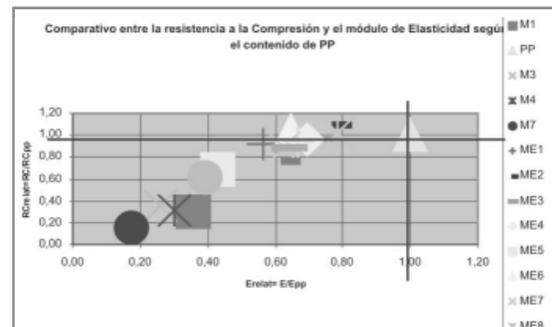
A nivel nacional se han desarrollado algunos producto y procesos en diversas empresas que generan el mismo tipo de desperdicio. Este es el caso de Carpak S.A., empresa fabricante de empaques en Colombia, que desarrollo un proceso a escala piloto que le permite aprovechar los desperdicios postindustriales de la fabricación de empaques flexibles para hacer adoquines para vías vehiculares y peatonales. El proceso consta de dos etapas, una, de aglomeración del desperdicio, y otra, de formación del producto por moldeo por compresión a bajas temperatura y presión.

DESARROLLO

Para el proyecto se analizaron 17 muestras (14 ensayos y 3 comprobaciones) conformadas por diferentes porcentajes de material PP, PE y Laminado. El material que se obtuvo para los ensayos se encontraba en presentación de película. Este se

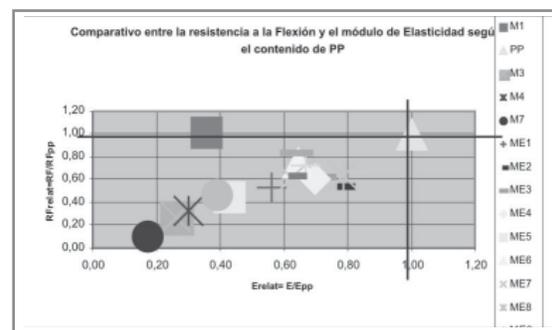
molio y aglutino para obtener el material granulado que se adicionó a la extrusora para elaborar las probetas que se ensayaron en el Laboratorio de Materiales de la universidad EAFIT, a partir de los resultados obtenidos en los ensayos se obtuvieron los siguientes resultados.

ILUSTRACIÓN 1
Comparativo entre la resistencia a la Compresión y el módulo de Elasticidad según el contenido de PP



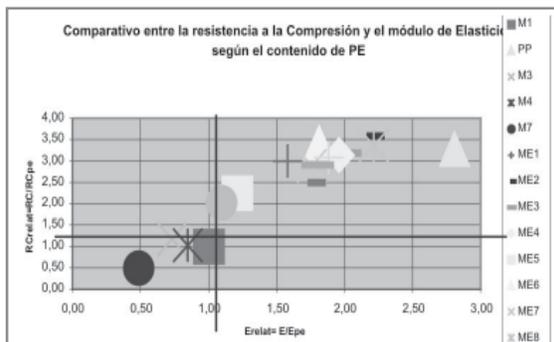
En la gráfica podemos observar que la muestra ME2 presenta el mayor valor de la resistencia a la Compresión con respecto al PP (se encuentran por encima de 1), esto hace que esta muestra sea muy apropiada para emplearla en aplicaciones que trabajen bajo cargas a compresión. Con respecto al módulo de Elasticidad todas las muestras tiene un comportamiento similar debido a que se encuentran graficadas en la misma zona.

ILUSTRACIÓN 2
Comparativo entre la resistencia a la Flexión y el módulo de Elasticidad según el contenido de PP



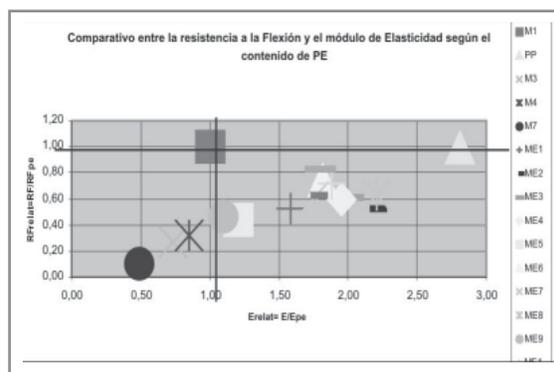
En la gráfica podemos observar que la muestra M1 presenta el mayor valor de la resistencia a la Flexión con respecto al PP, esto se debe a que esta muestra es la 100% PE que es el material que le aporta las propiedades de resistencia a Flexión a las muestras.

ILUSTRACIÓN 3
Comparativo entre la resistencia a la Compresión y el módulo de Elasticidad según el contenido de PE



En la gráfica podemos observar que la mayoría de las muestras presentan un comportamiento mejor que el PE en resistencia a la Compresión y el Modulo de Elasticidad ya que se encuentran ubicadas a la derecha y encima de 1. Esto demuestra que para estas propiedades el PE no presenta grandes aportes a la resistencia a la Compresión.

ILUSTRACIÓN 4
Comparativo entre la resistencia a la Flexión y el módulo de Elasticidad según el contenido de PE



Las propiedades de las mezclas muestran que aquellas que minimizan las cantidades de material laminado son aquellas que obtuvieron mayores valores numéricos durante las pruebas. Esto implica que el uso de estas mezclas debe determinarse para el tipo de aplicaciones que se deseen trabajar por ejemplo para la elaboración de estibas, torres bananeras, y demás es recomendable utilizar mezclas donde sea mayor la presencia de Polipropileno y Polietileno, mientras que las mezclas que contiene una mayor cantidad de material laminado pueden ser empleadas para aplicaciones que no necesiten mayores esfuerzos como canecas, casas para perros, etc.

CONCLUSIONES

Se concluyó que las mezclas que obtuvieron mejores resultados están compuestas por Polipropileno entre un 50% y un 70%, Polietileno entre 10% y 20% y material Laminado entre un 20% y un 40%, dando esta mezcla muy buenas propiedades para elementos que tengan que soportar grandes cargas.

Las muestras MF1, MF2 Y MF3 demostraron que las mezclas propuestas anteriormente cumplen con las propiedades deseadas y resisten ente 18 y 22 MPa a compresión y entre 0.8 y 1.1 MPa a flexión lo cual indica que es un material muy apropiado para la elaboración de estibas.

El área de la recuperación de plásticos por medio del proceso de Extrusión apenas se esta desarrollando. Hasta el momento en lo único que se ha avanzado se ha hecho de manera empírica, por experiencia o por ensayo y error, lo cual propone una línea de estudio e investigación poco explotada.

En los últimos años se ha generado una conciencia local y mundial sobre la recuperación de los materiales plásticos pos-industriales y pos-consumo como materia prima para la elaboración de nuevos productos y evitar la degradación del medio ambiente.

Recientemente los productos elaborados con madera plástica han empezado a desplazar aquellos elaborados con madera natural y que son diseñados para trabajos pesados o en exteriores donde la madera natural sufre los rigores del medio ambiente.

La recuperación de plásticos se realiza fabricando productos diferentes de los que proviene, pero generalmente de larga duración, tales como tabloncillos de piso, tableros para diferentes usos, postes, estibas, cajas contenedoras, canaletas y hasta adoquines para pisos.

Con la utilización de productos elaborados en plástico reciclado como reemplazo de la madera natural, se estarían presentando también excelentes alternativas de costo, de calidad y durabilidad ya que las estructuras en plástico tienen ciclos de vida extremadamente largos, presentando entonces una propuesta más ecológica y económica a largo plazo.

Aunque es notable el esfuerzo de algunas empresas en la solución del desperdicio plástico por medio del reciclaje, en Colombia este tipo de material tiene una imagen de baja calidad por ser utilizado para disminuir costos en productos de plástico virgen.

La mayoría de las empresas que trabajan actualmente en la recuperación del plástico por diferentes métodos, cuenta con maquinaria de fabricación casera o máquinas de muy baja productividad ya que las inversiones para adquirir nueva tecnología son muy elevadas lo cual restringe el proceso de desarrollo de reciclaje de materiales plásticos.

Las mezclas que contienen mayor cantidad de material laminado pueden ser empleadas en otras aplicaciones que no requieran soportar grandes cargas tales como canecas, casas para perros entre otros.

La resistencia de este material puede incrementarse mejorando el proceso y la maquinaria de manera que el área transversal sea menos porosa y más continua logrando que las fuerzas tengan más espacio por donde fluir sin encontrar concentradores de esfuerzos que generen falla.

BIBLIOGRAFÍA

ENCICLOPEDIA del plástico. Cap. III, IV y XX. Editorial IMPI. México, 1997

ECHEVERRI, Elizabeth y RUIZ, Nelson. Modelación y documentación del proceso de conformado de estacones en polímero reciclado. Medellín, Antioquia, Colombia. Universidad EAFIT, Biblioteca, 2001.

GÓMEZ, Catalina y VIVES, Laura. Estudio de factibilidad para el montaje de una planta de reciclaje de plástico post consumo. Medellín, Antioquia, Colombia. Universidad EAFIT, Biblioteca, 2004. 45 pag.

AGUIRRE Flores, Rafael. Conceptos básicos del reciclado de plásticos. En: Plásticos Universales. Vol 000, Nro. 0066(Diciembre-Enero, 2001); pag. 94-95

REDACCIÓN PU. Se recupera el 36% de los plásticos. En: Plásticos Universales. Vol 046, Nro. 0076(Mayo, 2002); pag. 100

SERRANO, Carlos. Revista. Reciclaje de desperdicios plásticos mezclados. En: Tecnología del plástico. Vol.000, Nro.0113 (Febrero, 2001); pag. 6-8

SOLIS, Miguel Ángel, MARTÍNEZ Sergio Andrés y DE MENDOZA, Adriana. Elaboración de un producto a partir de plástico reciclado. En: Informador técnico. Vol. 000, Nro. 63 (2001); pag. 35-43

GIRALDO Abisambra. Paola Andrea, Gómez Velásquez Lina Maria. Estudio de factibilidad de producción por Extrusión de cuerpos tubulares de PET reciclado. Medellín, Antioquia, Colombia. Universidad EAFIT. Biblioteca. 1999.

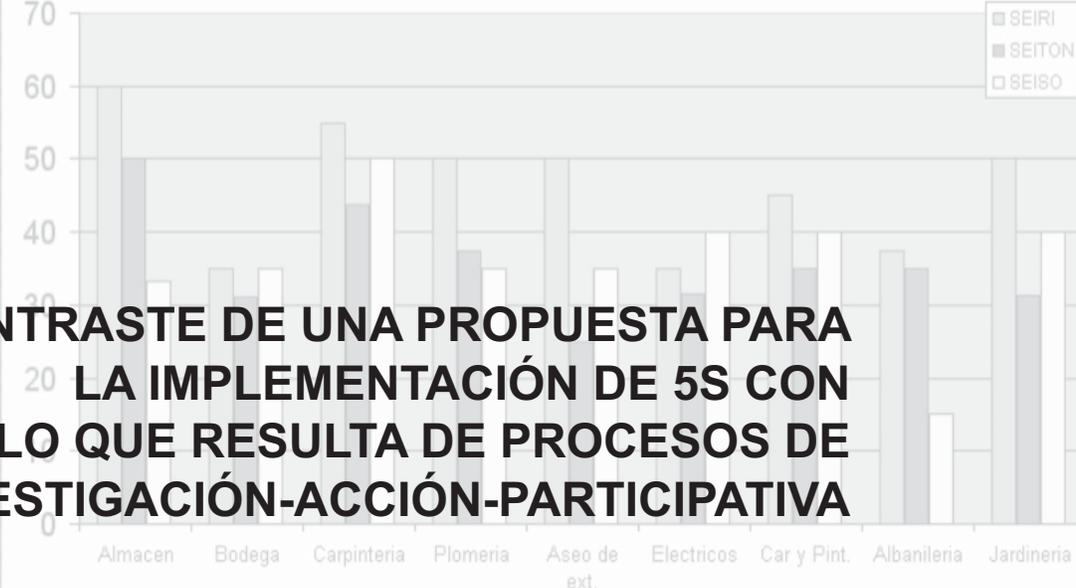
PELÁEZ V. Juan David, Ramírez V. Juan Sebastián. Alternativas para el uso de PET reciclado en artículos extruidos. Medellín, Antioquia, Colombia. Universidad EAFIT. Biblioteca. 1999.

RUIZ Aviles. Gladis. Notas guía de clase de Ciencia de los Materiales II (Producción). Primera edición. Medellín, Colombia. 1996.

BEER. Ferdinand P., Johnston. Russell E. Mecánica de Materiales. Segunda edición. Bogotá, Colombia, 1993.

ASTM 6108. Standard Test Method for Compressive Properties of Plastic Lumber and Shapes. Estados Unidos. ASTM Internacional. 1997, pag. 4|| STD. ASTM D6108-97.

ASTM 6109. Standard Test Method for Flexural Properties of Plastic Lumber and Shapes. Estados Unidos. ASTM Internacional. 1997, pag. 3|| STD. ASTM D6109-97.



The chart shows the following approximate values for SEIRI, SEITON, and SEISO across departments:

Departamento	SEIRI	SEITON	SEISO
Almacen	60	50	30
Bodega	35	20	35
Carpinteria	55	45	50
Plomeria	38	35	35
Aseo de ext.	50	50	35
Electricos	35	20	40
Car y Pint.	45	35	40
Albanileria	38	35	15
Jardineria	50	20	40

CONTRASTE DE UNA PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE 5S CON LO QUE RESULTA DE PROCESOS DE INVESTIGACIÓN-ACCIÓN-PARTICIPATIVA

JUAN MANUEL CARDONA VELÁSQUEZ. jcardo13@eafit.edu.co
ALEJANDRO VELÁSQUEZ VÉLEZ. avelasq8@eafit.edu.co
Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS

MANTENIMIENTO DE SISTEMAS TÉCNICOS

ASESOR PRINCIPAL

Dr. Ing. GUSTAVO VILLEGAS LÓPEZ

SECTOR BENEFICIADO

UNIVERSIDAD EAFIT

RESUMEN

La necesidad de las empresas por llegar a un nivel de mejoramiento continuo, ha comprometido la búsqueda de nuevas metodologías para poder cumplir con estas metas. Las 5'S es una metodología fuertemente relacionada con las actividades de calidad, productividad y competitividad, que al combinarse con un proceso IAP podrá lograr de forma simultanea un avance teórico y un cambio cultural dentro de la organización. Esto es implementado en el Departamento de Servicios Generales de EAFIT. Basados en la información de los grupos de 5'S de la Universidad y el GIAP. Se realiza un avalúo de la cultura organizacional (valores opuestos) y del empoderamiento, para poder hacer un contraste de ambas metodologías en el Departamento para su posterior implementación.

ABSTRACT

Company's needs to achieve a level of continuous development has evolved the search of new methodologies to reach these goals. The methodology of 5'S is strongly related with activities such as quality, productivity and competence. When these are combined with an IAP process, it'll be possible to obtain simultaneously a theoretical advance and a cultural change in an organization. This will be implemented in the Department of General Services at EAFIT. Based on the information from 5'S groups form the subject TPM and support by the GIAP (Participative-investigation-Action Group). An asset is made by means of cultural organization and empowerment, all this to be able to make a contrast of both methodologies inside the organization for its later development.

1. INTRODUCCIÓN

Este proyecto de investigación contrasta las metodologías para la implementación de 5'S con los resultados obtenidos en los procesos de IAP dentro de una Dependencia Administrativa de la Universidad EAFIT, como un programa piloto para las demás Dependencias con las que cuenta la Universidad.

Se data el razonamiento de la situación a profundizar, enfatizando en la metodologías básicas que se usarán durante el desarrollo del proyecto.

Se presenta la propuesta metodológica para la implementación de 5'S desde la teoría dentro del Departamento y se desarrolla la fase de implementación en cada una de las áreas que se acogieron para el proceso. Luego se evalúa la necesidad de la metodología surgida de IAP.

Primero se enfoca desde la Cultura Organizacional, y luego desde un punto de vista más puntual: el Empoderamiento.

La muestra de los resultados obtenidos por cada metodología, vislumbrar la posibilidad de un contraste entre las 5'S e IAP, o demarcar la incompatibilidad entre estas.

Finalmente se concluye a partir de la información obtenida, y se plantean rutas posibles para dar un enfoque con menos pérdidas dentro de la evolución del proceso de mejoramiento.

2. INVESTIGACIÓN ACCIÓN PARTICIPATIVA

La IAP es al mismo tiempo una metodología de investigación y un proceso de intervención social; propone el análisis de la realidad como una forma de conocimiento y sensibilización de la propia población, que pasa a ser, a través de este proceso, sujeto activo y protagonista de un proyecto de desarrollo y transformación de su entorno y realidad más inmediatos (ámbitos de vida cotidiana, espacios de relación laboral, social, etc.).

3. CULTURA ORGANIZACIONAL

La transformación de cualquier organización de la jerarquía a la colaboración es, en el mejor de los casos, un proceso difícil. En este momento la única

manera de explotar la productividad oculta, energía productiva, orgullo y compromiso de nuestra gente es comprometerlos entera y proactivamente en el proceso de transformación.

Usando un proceso cooperativo como compromiso, reconocemos el papel fundamental interpretado por los valores básicos como respeto, confianza, autoestima e integridad en el alma de la corporación. Llevando todos estos valores a un organizado arreglo de herramientas y procesos, el método cooperativo provee un vehículo efectivo y eficiente para la verdadera transformación de la organización.

4. EMPODERAMIENTO

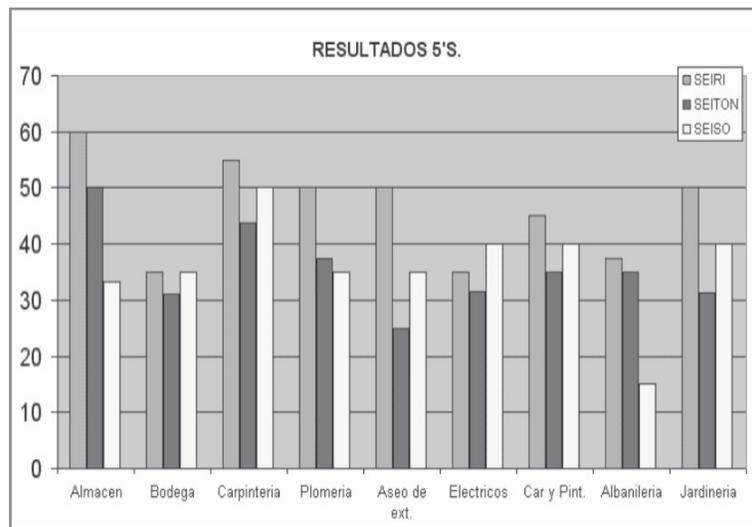
Con el fin de evaluar la necesidad de autocontrol y autogestión de la muestra, ya que la IAP enfoca hacia su mejoramiento, se hace uso de la siguiente metodología, que ha mostrado ser exitosa en empresas que tienen como misión la prestación de servicios.

Con el manejo de las habilidades se busca ayudar con el control del comportamiento de los demás. El enfoque es hacia cuanto puede incrementar el desempeño, conformidad, o motivación de los empleados para alcanzar ciertos objetivos. Para captar este enfoque, se plantean como base las habilidades de empoderamiento. Además, incluye las habilidades que aportan en la motivación de las personas al hacer su trabajo, u obtener poder e influencia sobre ellos.

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

5'S

De la evaluación de las 5'S se definen unos resultados totales por cada una de las áreas, estos son llevados a una representación grafica, con el fin de establecer el estado actual de la implementación en el Departamento.



Elaboración propia.

IAP

Con el fin de analizar este proceso de transformación cultural se realizó la encuesta de valores opuestos, y para observar la capacidad de autocontrol, mejoramiento y auto gestión, se realizó la encuesta de apoderamiento. Los resultados de cada proceso se muestran a continuación:

Resultados sobre Cultura Organizacional

Descripción Organizacional	Organización			
	a	b	c	d
Características dominantes	23,9	20,556	34	22
Líder organizacional	16	19,2	42,5	22,5
Cohesión organizacional	5	43,33	35,83	15,83
Clima organizacional	11,7	18,33	26,67	43,33
Criterios de éxito	15	18,33	25,833	40,83
Estilo gerencial	0	44,72	28,056	27,22
Promedio total	11,9	27,411	32,148	26,6183333

Elaboración propia.

Resultados de Empoderamiento

Área de Habilidad	Valor	Media	Tercio superior	Tercio inferior
Auto-eficacia (competencia)	5,125	5,76	6,52	5
Auto-determinación (alternativas)	4,1	5,5	6,28	4,72
Control personal (impacto)	4,4	5,49	6,34	4,64
Significado (valor)	6,255	5,88	6,65	5,12
Credibilidad (seguridad)	3,55	5,33	6,03	4,73

Elaboración propia.

CONCLUSIONES

- Desarrollar 5'S en el Departamento de Servicios Generales de la Universidad es una necesidad primordial para dar cumplimiento a las peticiones de servicios que demanda la comunidad universitaria. Además de ser una institución que promulga en sus programas académicos metodologías de calidad, productividad, administración, mejoramiento continuo entre otras.
- La iniciativa de este proyecto, es un paso importante para establecer metas claras como la conformación de un grupo de investigación que preste servicios o asesorías a diferentes grupos industriales y a las demás dependencias que conforman la Universidad.
- En cuanto a la aplicación del proyecto, se puede mencionar que el ambiente de Servicios Generales de la Universidad es propicio para la aplicación de las 5S, considerando:
 - La gran extensión de bodega que posee.
 - El estado de almacenamiento de elementos.
 - La carencia de información histórica que permita evaluar eficacia y eficiencia.
 - La necesidad de un cambio transformación cultural para optimizar el proceso de cambio.

- La diversidad de disciplinas y personas que interfieren.
- La necesidad de aplicar y evidenciar una gestión humana y administrativa para el área.

Teniendo en cuenta lo anterior, debe valorarse la importancia de aplicar de manera práctica y efectiva la teoría y metodología de las 5'S con los beneficios que trae la transformación de la IAP, todo esto apoyados en los resultados obtenidos con los estudios hechos con las metodologías de cultura organizacional y empoderamiento.

- En cuanto a los logros se puede mencionar la gran cantidad de información recogida y documentada. Dicha información permitirá vislumbrar de manera más detallada el verdadero alcance, el recurso humano, físico y económico necesario. Dicha recopilación de información se une al propósito de la IAP para generar conocimiento.
- Con el trabajo realizado, se pueden percibir las dificultades para alcanzar un cambio cultural en un ambiente rígido y antiguo, en el cual la costumbre impone ritmo y metodología de trabajo. Lo que se puede deducir es que el desorden actual en Servicios Generales es el producto del factor humano que allí labora en un 80%, sin afirmar que son concientes de ello.

- Hubo muchos aportes con el método de IAP, ya que los grupos interdisciplinarios trabajaron en conjunto por solucionar un problema planteado, los estudiantes como teóricos y los empleados como práctica, llegando a las mejores acciones a tomar.
- Con el uso de las metodologías que apoyaron la evaluación de la posible sinergia entre las 5'S e IAP, se corroboró la posibilidad de combinar ambas, con el objetivo de tener una transformación enfocada al mejoramiento continuo. Pero, teniendo en cuenta la explotación de la producción oculta de este Departamento (el personal).

BIBLIOGRAFÍA

- ALLOY, L.B., Peterson, C.; Abrahamson, L. Y.; and Seligman, M. E. P. (1984). Attributional style and the generality of learned helplessness. *Journal of Personality and Social Psychology* 46: 681-687.
- AVERILL, J. R. (1973). Personal control over aversive stimuli and its relationship to stress. *Psychological Bulletin* 80: 286-303.
- BANDURA, Alfred. (1977). Self-efficacy: Toward a unifying theory of behavioral change. *Psychological review* 84: 191-251.
- BANDURA, Alfred. (1986). *Social foundations of thought and action: A social cognitive theory*. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall.
- BELASCO, James A. (1991). *Teaching the elephant to dance, The Manager's guide to empowering change*. New York: Penguin Group.
- Finding Common Ground to Achieve Uncommon Results. [Online]. USA. Bennie L. Crane and Dr. Julian Williams Softcover [citado en el 2002]. <<http://shop.store.yahoo.com/pennwell/peremacinand.html>>
- El arma secreta del Japón. [Online]. USA. Peter Gruber: [Citado en 18 de abril del 2004]. Disponible en internet. <<http://bionomics.tempdomainname.com/text/spanish/cap18.htm>. >
- Cambio cultural: 5S, Change management and empowerment. [Online]. USA. 5S Portal [citado el 19 de abril del 2004]. Disponible en internet. <http://membres.lycos.fr/hconline/5S/index_us.html>
- Seminario. Investigación-acción. [Online]. Universidad Católica del norte, vicerrectoría académica, centro de educación a distancia. [Citado en 12 de abril del 2004]. Disponible en internet. <http://www.ced.ucn.cl/seminario_taller/temas/investigacion.htm>
- Necesidad de la estrategia 5S, S.L. [Online]. 2000. [Citado en 18 Abril de 2004]. Disponible en internet. <<http://www.ceroaverias.com/5s/>>
- Six primary imperatives for business success offer enormous challenges and promise for most organizations. [Online]. USA. The Big Six by Karl Albrecht [citado en otoño de 1995]. <<http://www.qualitydigest.com/aug95/albrecht.html>>

1. INTRODUCCIÓN

El punto de partida de este proyecto, fue el resultado de otro trabajo de grado en el cual fueron seleccionadas las empresas que mas han avanzado en técnicas de mejoramiento asociadas con el TPM, en Colombia. La información recolectada sobre estas empresas, fue extraída de diversas fuentes, entre las que podemos citar: La Superintendencia De Sociedades, La Superintendencia De Valores, El Departamento Nacional De Estadística (DANE), Bases de datos de publicaciones seriadas y especializadas, entre otras.

Las 26 empresas que fueron objeto de estudio en este proyecto, están distribuidas a lo largo del territorio Colombiano.

La información que se recolecto, en este proyecto sirve de apoyo para el levantamiento de cada uno de los casos de implementación de TPM en las empresas seleccionadas, proporcionando información requerida para estos, a través de fuentes secundarias. Estos casos serán documentados en futuros proyectos de grado, de los estudiantes de la maestría que hacen parte del grupo de investigadores del proyecto institucional, y en ellos se pretende describir como a sido el proceso de cambio y otros aspectos a lo largo de la implementación de las técnicas de mejoramiento en cada una de las 26 empresas.

Los datos que han sido presentados, también servirán para definir las variables independientes, que luego serán usadas en un análisis mas profundo apoyado en técnicas como la tabulación cruzada y otras herramientas estadísticas que harán parte de un nuevo capitulo de la investigación institucional general.

2. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN CONSULTADA

Las 26 empresas de la muestra pertenecen a 3 secciones o grandes sectores económicos principales según la clasificación CIIU Rev. 3 A.C., estos son: explotación de minas y canteras (7.7%), industrias manufactureras (84.6%) y comercio al por

TABLA 1
Empresas seleccionadas

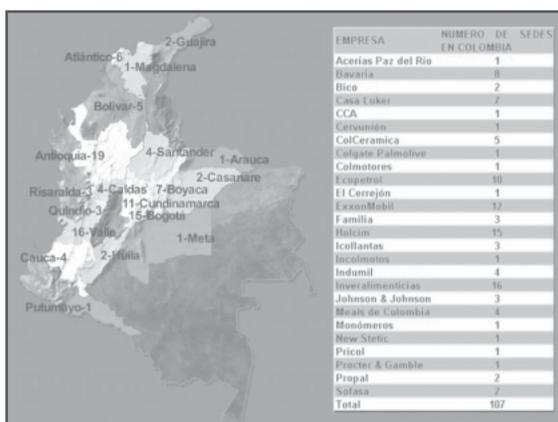
No.	Empresa	Ubicación
1	Inveralimenticias	Antioquia
2	Sofasa	Antioquia
3	Procter & Gamble (Inextra)	Antioquia
4	New Stetic	Antioquia
5	Incolmotos Yamaha	Antioquia
6	Cervunión	Antioquia
7	Familia	Antioquia
8	Monómeros	Atlántico
9	ExxonMobil	Bolívar
10	Indumil	Boyacá
11	Cementos Holcim	Boyacá
12	Bavaria	Boyacá
13	Acerías Paz del Río	Boyacá
14	Ecopetrol	Cartagena
15	Colmotores	Cundinamarca
16	CCA	Cundinamarca
17	Icollantas	Cund. y Antioquia
18	ColCerámica	Guajira
19	Carbones El Cerrejón	Valle
20	Alimentos Pricol (Quaker)	Valle
21	Johnson & Johnson	Valle
22	Bico Internacional	Valle
23	Colgate Palmolive	Valle
24	Propal	Valle
25	Casa Luker	Viejo Caldas
26	Meals de Colombia	Viejo Caldas

mayor y al por menor (7.7%). Por otro lado se agrupan en un total de 14 sectores o divisiones, sin embargo; el 46% de estas se encuentran clasificadas en solo dos sectores, los cuales son el de elaboración de sustancias y productos químicos y el de elaboración de productos alimenticios y bebidas. Por otro lado, el 7.7% de las compañías pertenecen a dos sectores y el 3.8% correspondiente a una sola empresa, participa en tres sectores diferentes.

Localización geográfica

Las empresas están repartidas por gran parte de la geografía colombiana, pero se concentran principalmente en los departamentos de Cundinamarca (24.3%), Antioquia (17.8%), Valle (15%) y en menor proporción en otros departamentos colombianos. Normalmente su forma jurídica es la de S.A. (80.1%). Además las empresas que no son filiales o sucursales de transnacionales extranjeras, cuentan con un total de 31 plantas en el exterior localizadas en países de América Latina predominantemente.

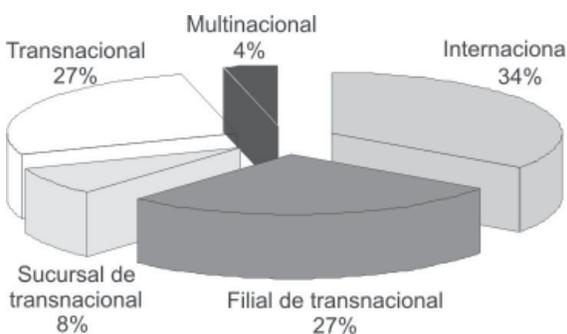
FIGURA 1
Ubicación de las sedes en Colombia



Tipos de empresa

El 35% de las empresas, pertenecen a un grupo, cuya sede principal está en el extranjero, principalmente en Estados Unidos, Suiza, Japón, Francia y Venezuela.

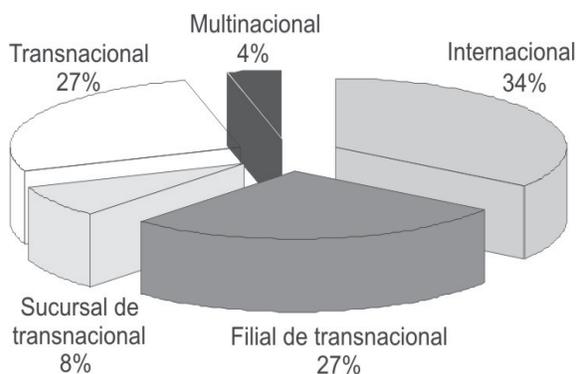
FIGURA 2
Tipo de empresa



Propiedad

La propiedad es, en general, privada (84%), pública (8%) o mixta (8%), las empresas públicas pueden ser catalogadas en nacionales o estatales, dependiendo si están o no constituidas en forma societaria, y las mixtas son aquellas en las cuales la propiedad es tanto pública como privada.

FIGURA 3
Tipo de propiedad



El 54.5% de las empresas que son privadas, tienen una composición accionaria que en su mayoría es de propiedad extranjera.

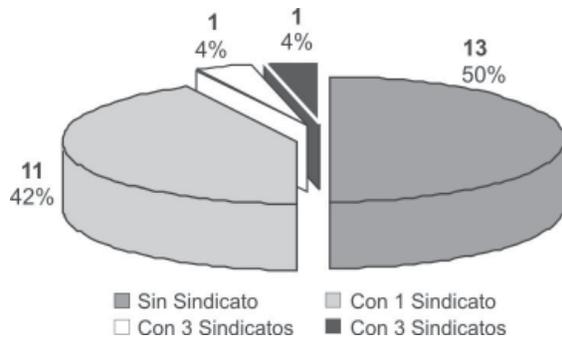
Fuerza laboral

El total de empleos directos, generados por las 26 empresas estudiadas a finales del año 2003, alcanza la cifra de 43.760, de los cuales 36.085 son generados por solo el 54%, correspondiente a aquellas empresas que generan más de 1000 empleos directos.

Organización sindical

El 50% de las empresas, cuentan en la actualidad con organizaciones sindicales, sin embargo este porcentaje fue mucho mayor en años anteriores, e incluso la participación del personal en estos también lo era, esto se debe a que en los últimos años una gran cantidad de empresas han optado por arremeter contra estos grupos, logrando reducir en gran medida su número.

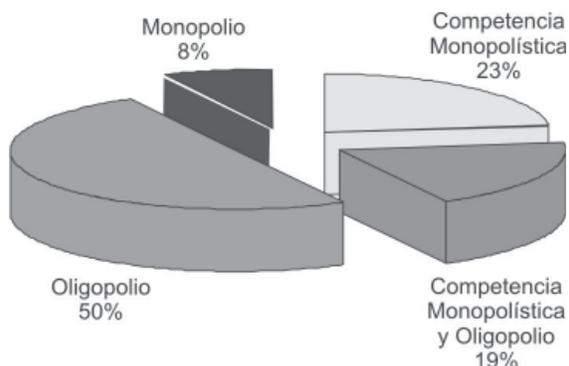
FIGURA 4
Organización sindical



Tipo de mercado

El 50% de las empresas seleccionadas realizan sus operaciones comerciales en mercados con características oligopólicas, pero solo dos empresas que representan el 8% y cuya propiedad es netamente estatal, gozan del privilegio de desarrollar sus actividades en mercados monopolísticos. El 19% correspondiente a 5 empresas, compite tanto en mercados oligopólicos como de competencia monopolística, esto se debe a que son empresas con un portafolio de productos muy amplio y se desenvuelven en más de un sector y/o subsector de la economía. El restante 23% de las empresas cuentan con mercados en competencia monopolística.

FIGURA 5
Tipos de mercado



CONCLUSIONES

Las fuentes de consulta en línea presentan un gran dinamismo en la actualización de su información, por lo cual se hace necesaria una continua revisión y verificación de los datos durante el proceso de búsqueda con el fin de poder garantizar que la información obtenida sea certera y confiable por el mayor tiempo posible.

La información obtenida en muchos de los casos se puede presentar en formatos muy extensos, los cuales impiden su publicación en documentos escritos y los limitan a medios de transmisión de información electrónicos.

La diferenciación entre empresa transnacionales y multinacional, no ha alcanzado hoy en día un consenso global en su definición, y en la actualidad existe un gran número de dilucidaciones realizadas por diferentes autores, todas validas en su contexto, pero opuestas entre si, lo cual dificulta la clasificación de las empresas según su tipo y constituye el motivo por el cual se decidió adoptar la clasificación utilizada por Naciones Unidas.

Las Superintendencias de Valores, Sociedades e Industria y Comercio, en especial las primeras dos, son entidades que aunque no fueron consideradas inicialmente como fuentes de consulta, suministran una valiosa información para este tipo de investigaciones, entre la cual podemos resaltar los datos relacionados con la razón social de las empresas, el código CIIU, la fecha de constitución e información financiera.

La información que hace referencia a las organizaciones sindicales, pocas veces está disponible en el tipo de fuentes de información consultadas de forma veraz y confiable, ya que suelen ser publicaciones relativamente viejas que no necesariamente reflejan la situación actual de las empresas. Por este motivo estos datos requirieron una verificación por vía telefónica.

BIBLIOGRAFÍA

- CONFECÁMARAS. Las 1000 empresas más grandes de Colombia. En: Cambio. No. ESP1 (jul. 2004); pp.
- ROZO, Fernando et al. Las 100 empresas más grandes de Colombia. En: Semana. No. 1147 (abr. 2003); pp.
- VILLEGAS, Gustavo. VÉLEZ, Luís. Revisión de los procesos de implantación del TPM en las 26 empresas que más han avanzado en el tema a nivel nacional, y estudio de la dinámica de cambio desarrollada para su implantación. Proyecto de Investigación (PY0302). Medellín, Colombia, 2004. Universidad EAFIT.
- ### Internet
- Asociación Nacional de Industriales (ANDI) [Online]. Colombia, 2004 [Citado 28 de abril de 2004]. Disponible en Internet. <<http://www.andi.com.co>>
- Banco de la República. Guía temática de economía competencia, monopolio, oligopolio, monopsonio y competencia monopolística [Online]. Colombia, s.f. [Citado 24 de agosto de 2004]. Disponible en Internet. <<http://www.lablaa.org/ayudadetareas/economia/econo9.htm>>
- Página principal del Consejo Empresarial Colombiano para el Desarrollo Sostenible (CECODES). Colombia, s.f. [Citado 8 de agosto de 2004]. Disponible en Internet. <<http://www.cecodes.org.co>>
- El Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología [Online]. Colombia, 2004. [Citado 21 de junio de 2004]. Disponible en Internet. <<http://www.colciencias.gov.co/icontec/sello.html>>
- Asociación de cámaras de comercio de Colombia Online]. Colombia, 2004 [Citado 27 de abril de 2004]. Disponible en Internet <<http://www.confecamaras.org.co/>>
- Consejo Nacional de Política Económica y Social (CONPES) [Online]. Colombia, 2004 [Citado 27 de abril de 2004]. Disponible en Internet <http://www.dnp.gov.co/03_prod/conpes/Conpes.htm>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) [Online]. Colombia, 2004 [Citado 27 de abril de 2004]. Disponible en Internet <<http://www.dane.gov.co>>
- Revista dinero. 5000 empresas [Online]. Colombia, 2004. [Citado 29 de junio de 2004]. Disponible en Internet. <<http://www.dinero.com/dinero/ArticuloView.jsp?id=18103>>
- Franklin Templeton Investments. Diccionario financiero [Online]. España, s.f [Citado 26 de mayo de 2004]. Disponible en Internet. <http://www.franklintempletonfondos.com/spain/jsp_cm/guide/glossary_e.jsp>
- GARCÍA, Carlos. Estructuras o tipos de mercado [Online]. Colombia, s.f. [Citado 23 de junio de 2004]. Competencia imperfecta. Oligopolio pag 5. Disponibilidad Libre. Disponible en Internet. <http://www.usb.edu.co/facultades/administracion/publicaciones/notasclase_estructuramercados.pdf>
- Revista electrónica la Nota. Directorio de líderes empresariales [Online]. Colombia, 2004. [Citado 22 de junio de 2004]. Disponible en Internet. <<http://www.lanota.com/compendio/htmls/indexcont.html>>
- Diario la republica. Se consolida como la multinacional colombiana [Online]. Colombia, 2004. [Citado 21 de junio de 2004]. Disponible en Internet. <<http://www.larepublica.com.co/especiales/ss/bavaria.html>>

Colombia Mesoeconomía [Online]. Colombia, s.f. [Citado 23 de junio de 2004]. Capítulo 4, Inversión Extranjera. Disponible en Internet. <http://www.dnp.gov.co/ArchivosWeb/Direccion_Desarrollo_Empresarial/Publicaciones/tomo1/CAP4.pdf>

PORTAFOLIO. Archivo electrónico periódico el Tiempo [Online]. Colombia, 2004. [Citado 27 de abril de 2004]. Disponible en Internet. <<http://www.portafolio.com.co/>>

Revista Semana. Las 100 empresas más grandes de Colombia [Online]. Colombia, 23 de abril de 2004. [Citado 21 de junio de 2004]. Disponible en Internet. <<http://www.semana.com.co/imagesSemana/images1147/100empres/100a.htm>>

Superintendencia de Sociedades. Jurisdicción Coactiva [Online]. Colombia, 2002. [Citado 1 de septiembre de 2004]. Disponible en Internet. <<http://www.supersociedades.gov.co/ss/drvisapi.dll?MIval=sec&dir=159&id=1294>>

Superintendencia de Sociedades. Boletín Estadístico, Las Tres Mil [Online]. Colombia, 2004. [Citado 1 de septiembre de 2004]. Disponible en Internet. <<http://www.supersociedades.gov.co/ss/drvisapi.dll?MIval=sec&dir=132>>

Superintendencia de valores [Online]. Colombia, 2003. [Citado 22 de junio de 2004]. Disponible en Internet. <<http://www.supervalores.gov.co>>

TRAJTENBERG, Raúl. El concepto de empresa transnacional [Online]. Uruguay, 1999. [Citado 27 de junio de 2004]. Disponible en Internet. <http://www.fcs.edu.uy/economia>



SOLUCIONES DE PARQUEO MEDIANTE SISTEMAS MECÁNICOS, ELÉCTRICOS E HIDRÁULICOS

ROBERTO CEBALLOS LATORRE. *rceballo@eafit.edu.co*

JUAN CAMILO YEPES CANO. *jyepesca@eafit.edu.co*

Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS

DISEÑO DE SISTEMAS TÉCNICOS

ASESOR PRINCIPAL

ING. FABIO PINEDA BOTERO

SECTOR BENEFICIADO

SECTOR AUTOMOTRIZ

RESUMEN

El proyecto presenta el diseño de una solución de parqueo, para ser utilizado en los diferentes parqueaderos de la ciudad, la cual consiste en la utilización de tecnologías tales como los sistemas hidráulicos y sistemas de transmisión mecánica, atendiendo a las sugerencias referenciadas por propietarios de parqueaderos, que requieren ubicar más automóviles en el mismo espacio, debido a que su capacidad económica no es suficiente para realizar ampliaciones de terrenos.

Se contempla también las empresas privadas y publicas que no pretenden eliminar áreas productivas para ser reemplazadas por zonas de parqueo y que requieren de estas aplicaciones para el manejo de carga pesada.

PALABRAS CLAVES

Soluciones de parqueo, Parqueaderos, Sistemas hidráulicos, Elevadores.

ABSTRACT

The Project presents the design of a parking solution, to be used in the different parking lots of the city, which consists of the use of technologies such as the hydraulic systems and systems of mechanical transmission, taking care of the suggestions referenced by parking lots owners, that they require to locate more automobiles in the same space, because its economic capacity is not sufficient to make land extensions.

It is also contemplated the private and public companies that they do not try to eliminate productive areas to be replaced by parking zones and that they require of these applications for the handling of heavy load.

KEY WORDS

Parking solutions, parking, hydraulic systems, elevator.

1. INTRODUCCIÓN

El crecimiento geográfico y poblacional de la ciudad ha permitido la creación de nuevos espacios de negocios, recreación, y comercio entre otros, incluso las nuevas políticas de comercio y las facilidades para acceder a nuevos productos han generado un aumento directamente proporcional del parque automotor.

Hoy en día se ve en las calles como la gente asiste a muchos de estos nuevos establecimientos, incluso a los viejos y de tradición, notándose que los sitios donde parquean no alcanzan a satisfacer una demanda creciente de parqueos, observándose automóviles parqueados en las calles, expuestos a multas, inmovilizaciones y reduciendo el espacio público disponible para la gente.

En este proyecto se plasma una alternativa de solución al problema de parqueo para todos los automotores y parqueaderos de la ciudad, incluso para la empresa privada y pública que también se ve afectada por el crecimiento automotor y sin pretender eliminar sus áreas productivas para aumentar el espacio de parqueo, que pretende ser una opción para crear empresa dado las comparaciones económicas hechas contra los sistemas actuales.

Con un propósito claro desde el principio del proyecto, como su mismo nombre lo indica, “soluciones de parqueo mediante sistemas mecánicos, eléctricos e hidráulicos” se busca encontrar las mejores soluciones o alternativas en el mercado para la construcción de elevadores haciendo uso de la energía hidráulica o eléctrica, por fácil adquisición, instalación y mantenimiento, debido a que internacionalmente el método de parqueaderos con ayuda de maquinas ha resultado ser un éxito.

En el documento se desarrolla una oportunidad que proyecta duplicar una de las áreas de parqueo mediante un sistema mecánico acompañado de un sistema motriz que permita tal objetivo, solución que ha sido muy bien recibida por la mayoría de parqueaderos de la ciudad, incluso aquellos que no pueden expandir más su área.

2. FASE DE INVESTIGACIÓN

A través de esta fase se pretende unificar toda la información posible requerida para llevar a cabo la realización del proyecto. En esta etapa se reconocerán tecnologías y se profundizará en estas para determinar todo lo necesario que pueda ser aplicado y que ayude a darle forma al proyecto.

Durante esta fase se investigaran:

- Pesos de automóviles ofertados en Colombia.
- Dimensiones de automóviles ofertados en Colombia.
- Tipos de sistemas hidráulicos.
- Tipos de sistemas eléctricos.
- Proveedores de materiales y equipos.
- Materiales y estructuras.

3. DESARROLLO

Para el proceso del diseño se elabora una lista en la que se encuentren especificados los parqueaderos registrados en cámara de comercio en el municipio de Medellín. Para esto se toma como base de datos las páginas blancas y amarillas donde se encuentran 300 parqueaderos.

Selección de la muestra: Con base en la lista anterior se determinan los parqueaderos a encuestar, por medio del método de muestreo aleatorio simple, se eligen 160 parqueaderos para realizar la encuesta.

Diseño de la encuesta: Se elabora un formato de encuesta que esta dirigido a los clientes potenciales que vienen siendo los dueños de los parqueaderos, donde se busca recolectar información necesaria sobre intereses y capacidades económicas de inversión.

Encuesta. Es realizada telefónica y personalmente. Todo esto se realiza con una presentación previa de quienes somos y que es lo que pretendemos con la encuesta.

Análisis de los resultados. Luego de haber recolectado toda la información, se procede a tabular los resultados de la encuesta y analizar los mismos, para definir cuales son los requerimientos y deseos en el mercado.

Analizando las encuestas se encontraron resultados como:

FIGURA 1
Interés en aumentar espacio parqueo

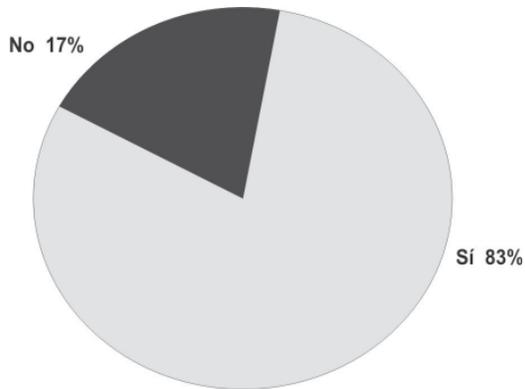


FIGURA 2
Expectativas unidades parqueadas

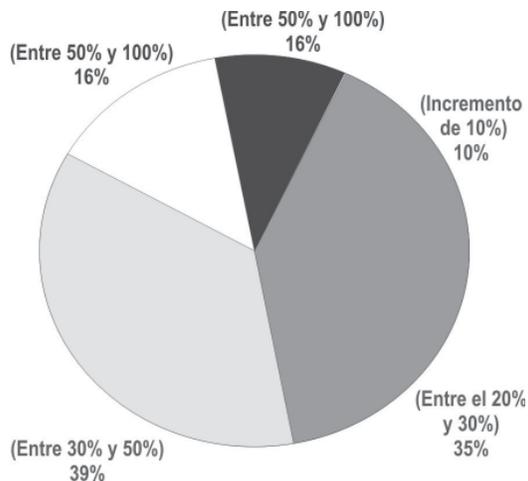
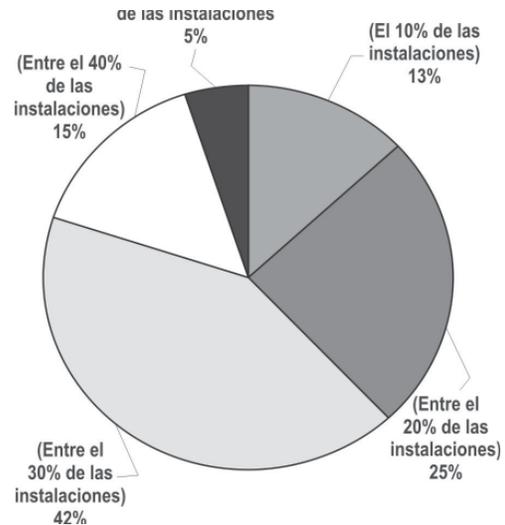


FIGURA 3
Capacidad de inversión

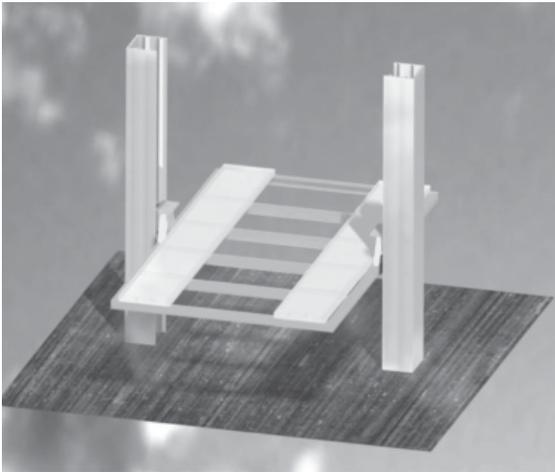


Una vez analizados las respuestas de las encuestas se procedió a realizar todo el proceso de diseño, primero se definió la función principal para así poder seguir definiendo las demás funciones y subfunciones, para llegar a definir las necesidades y deseos del cliente que se traducen en elementos que le dan forma a una posible solución.

Mediante el método de la matriz morfológica y haciendo evoluciones mediante criterios, se pudo llegar a encontrar una posible solución, figura 4, es un sistema que permite un desplazamiento vertical de los automóviles mediante una plataforma que se une a dos columnas mediante dos deslizadores o carros móviles, sistema al que se le puede instalar ya sea un sistema hidráulico con cilindros o un sistema de transmisión de cadenas con motorreductor para realizar el movimiento.

Lo interesante de esta propuesta es que presenta un beneficio económico, ya que es un producto que se fabricara en el país y sus costos pueden bajar sustancialmente, comparado con los sistemas actuales en la ciudad de Medellín que son de cuatro postes e importados y que son utilizados nada mas que para estaciones de servicio donde se hacen cambios de aceite entre otros.

FIGURA 4
Sistema de parqueo final



4. PROPUESTAS DE NUEVAS LÍNEAS DE DESARROLLO

Dado que el propósito de este proyecto es generar la oportunidad de crear una empresa, se ha querido ampliar la visión de esta, pudiendo así en un futuro ampliar el portafolio de productos en el campo automotor.

Algunas de las propuestas que se pretenden realizar como proyecto han dado muy buenos resultados en algunos países del mundo, por esto, dado el crecimiento del parque automotor en la ciudad es un buen momento para empezar a adoptar estas tecnologías.

Con base en dichas propuestas lo que se busca es mejorar y simplificar las ya existentes con diseños más agresivos que hagan más atractivo el producto.

Propuesta 1

En la siguiente propuesta se presenta la misma configuración de parqueo, es decir, dos automóviles parqueados en disposición vertical, pero con una variación funcional que hace que todo el diseño

cambie, se eliminara cualquier movimiento del automóvil inferior para efectuar tareas de elevación o descenso del automóvil superior.

En la siguiente figura se muestra un sistema de parqueo existente, que evoca la configuración que se pretende.

FIGURA 5
Propuesta 1



Cortesía de Total Parking Solutions–
Advanced Parking Solutions¹

Propuesta 2

En la siguiente propuesta se presenta otro tipo de configuración de parqueo, donde, dos automóviles parqueados en disposición horizontal, se guardan por medio de un movimiento vertical dentro del área del parqueadero, en este modelo lo que se hace necesario es el movimiento de el automóvil superior.

¹ Tomado de www.totalparkingsolutions.co.uk

En el medio se hace muy útil debido a que muchos parqueaderos de edificios, centros comerciales y almacenes sólo tienen la posibilidad de expandir su área o capacidad de parqueo hacia abajo, es decir subterráneamente.

En la siguiente figura se muestra un sistema de parqueo existente, que muestra su funcionamiento.

FIGURA 6
Propuesta 2



Cortesía de Maywood garage equipment Ltd.²

5. CONCLUSIONES

El proceso de diseño mediante búsqueda de soluciones a un problema o necesidad es indispensable para determinar opciones óptimas para satisfacer tales necesidades, de modo que el beneficio sea tanto para el diseñador o fabricante como para el usuario. En nuestro caso fue de vital importancia saber las opiniones de los usuarios potenciales, para poder llegar a crear un sistema que genere el propósito de duplicar la capacidad de parqueo con el mayor aprovechamiento de recursos.

² Tomado de www.maywoodgarageequipment.co.uk

Mediante el uso del diseño conceptual se logra convertir la información obtenida de los clientes en acciones y realizadores de las funciones para así filtrar diferentes alternativas para lograr una solución ajustable a requerimientos.

Debido a que se busca que la máquina ocupe el menor espacio posible en los parqueaderos de la ciudad, el diseño de transmisión por cadena arrojó un resultado negativo, en cuanto a la potencia del motorreductor, reflejándose en su precio y tamaño, impidiendo la adecuación del mismo en el sistema y por ende inclinar la solución en un futuro hacia los sistemas hidráulicos, que muestran ser una clara solución a la restricción de espacio y potencia, con un menor tamaño y por menor precio, la única desventaja sería que el mantenimiento debe ser realizado por un personal capacitado debido a las altas presiones que se manejan en los sistemas hidráulicos.

La construcción de la máquina a escala permitió definir algunas adecuaciones en cuanto a ensamble y procesos de fabricación, además de materiales a usar y puntos críticos de operación, esto con el ánimo de mejorar para poder obtener un producto que pueda competir en el mercado automotor como una alternativa a la solución del problema de parqueo, dado que es el objetivo a mediano plazo que se pretende realizar para crear empresa.

Mediante el uso de información obtenida por medio de encuestas se logra convertir deseos y necesidades de los clientes potenciales en requerimientos de diseño.

Utilizando el método de los elementos finitos en el desarrollo de los cálculos (ver anexo cálculos), al conocer la distribución de esfuerzos dentro de una estructura se puede llevar a cabo un proceso de optimización geométrica basado en los resultados obtenidos.

El diseño es flexible, no solamente al parque automotor pero también a otras aplicaciones de elevadores, como por ejemplo industriales. Se puede realizar con diferentes configuraciones como mecanismos de cuatro barras, tornillos de potencia, poleas. Todo dependiendo de las necesidades del cliente, usos y aplicaciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION, INC. Manual de construcciones en acero, Novena Ed. Estados Unidos: AISC. 1989. p. 3-1 – 4-175
- AVALLONE, Eugene A. y Baumeister, Theodore. Manual del ingeniero mecánico de MARKS. Estados Unidos. McGraw-Hill Profesional; décima edición. 1996. p.1792. ISBN: 0070049971
- BEER, Ferdinand P. y JOHNSTON Jr, E. Russell. Mecánica De Materiales. Bogotá, Colombia: Editorial McGraw Hill, 1993. p. 738 . ISBN: 958-600-127-X.
- CRAWLEY, Stanley W. y Dillon, Robert M. Edificios en acero: Análisis y diseño, Cuarta ed. Estados Unidos. John Wiley & Sons, Inc. 1993. 736 p. ISBN: 0-471-84298-2.
- CROSS, Nigel. Métodos de diseño en ingeniería, segunda edición. Estados Unidos. John Wiley & Sons, Inc. 1994. 190 p. ISBN: 0-471-94228-6.
- ELONKA, Stephen Michael. Operación de Plantas Industriales. Estados Unidos. McGraw-Hill, 1974. ASIN: 0070192960
- FEDESTRUCTURAS. Código de construcciones metálicas. Bogotá, Colombia: Selec-Color, 1982. ISBN: -----.
- HAMROCK, Bernard J. Elementos de maquinas. México: McGraw-Hill Interamericana. 2000. p.8-10. ISBN: 970102799X
- HUBKA, Vladimir. Estudios prácticos en diseño sistemático. Gran Bretaña: Butterworth & Co. 1988. 138 p. ISBN: 0-408-01420-2
- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Compendio tesis y otros trabajos de grado. Bogotá: ICONTEC, 2002. (NTC 1486, NTC 1075, NTC 1487, NTC 1160, NTC1308, NTC 1307, NTC 4490)
- INTERMEC. La transmisión de potencia por cadena de rodillos, Tercera edición. Bogotá, Colombia. INTEMEC industria térmico mecánica, 1998.
- KUTZ, Myer. Mechanical Engineers' Handbook. Estados Unidos, WILEY, John & Sons Wiley-Interscience Publication, 1986. ASIN: 047108817X
- NORD, motorreductores. Velocidades constantes, Brasil. GMBH & Co. KG, 2003.
- NORTON, Robert L. Diseño de máquinas. México. Prentice Hall Hispanoamérica, 1999. ISBN: 970-17-0257-3
- PLANEACIÓN METROPOLITANA DE MEDELLÍN. Plan Vial Metropolitano del Valle de Aburrá. Planeación Metropolitana, Medellín, Colombia. 1986. Biblioteca de Planeación Metropolitana, piso 3, Palacio Municipal.
- RODRIGUEZ, Alberto. Artefactos: Diseño conceptual. Medellín, Colombia. Fondo editorial Universidad EAFIT. 2003. ISBN: 958-8173-31-0
- SHIGLEY, Joseph E. Diseño En Ingeniería Mecánica. México, México. Editorial McGraw Hill, 2001. p. 883. ISBN: 84-481-0817-5
- THE GATES RUBER COMPANY. Sistemas hidráulicos seguros. Denver, Co, Estados Unidos: Gates Co. 1995. p. 62.
- TIMOSHENKO, S.P. Young, D.H. teoría de estructuras. Singapur, República de Singapur: McGraw Hill, 1965. p. 629. ASIN: 0070648689

ENCICLOPEDIAS

Enciclopedia Microsoft Encarta 2002[CD-ROM]. [Estados Unidos] Microsoft Corporation. 2001.

INTERNET

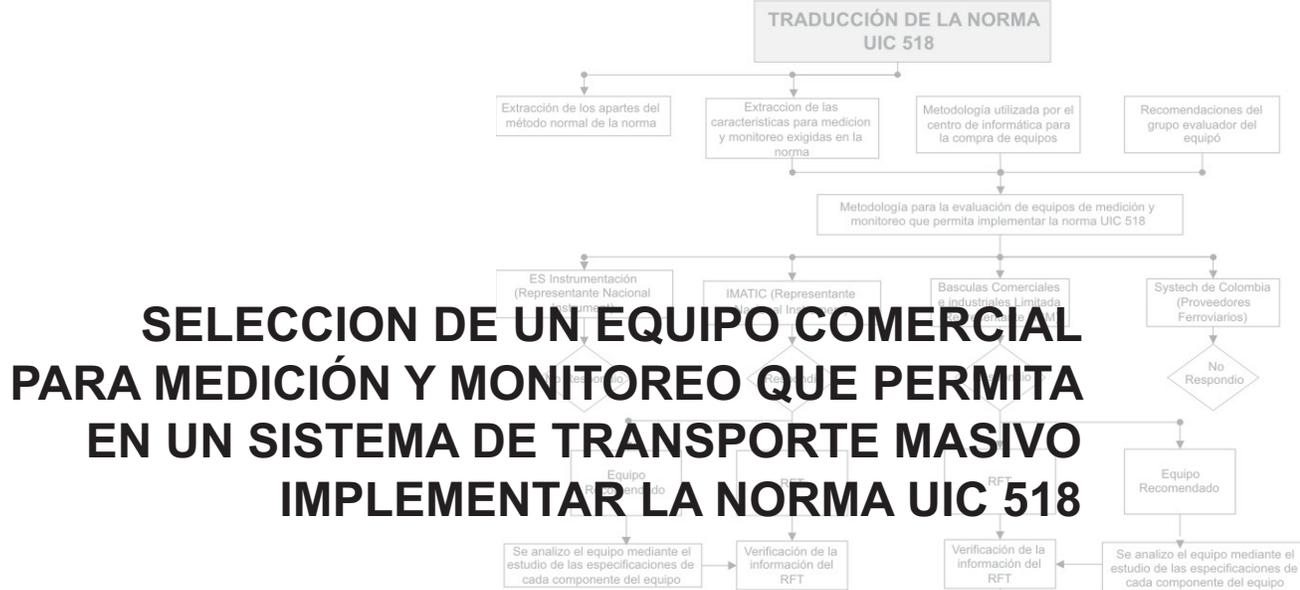
AUTOSPACE. Automated parking solutions. [En línea]. [Citado en Septiembre 25 de 2002]. Disponible en Internet: <<http://www.autospacecorp.com/Solutions/index.html>>

GRUPO VELASCO. Productos y servicios. [En línea]. [Citado en Mayo 2004] Disponible en Internet: <<http://www.grupovelasco.com/wgvelasco/L1/productos.html>>.

PARKER. Anything posible. Products. [En línea] [Citado en Marzo de 2004]. Disponible en Internet: <<http://www.parker.com/>>.

THC Leaf Chains. Lifting and Pulling Chains. Haulage Chains. [En línea]. [Citado en junio 2004]. Disponible en Internet: <http://www.beijingthc.com/leaf_chains.htm>

Parking solutions C.I. Parking solutions C.I. [En línea] [Citado en Octubre 27 de 2002]. Disponible en Internet: <<http://www.parkingci.com/>>



**LUIS FELIPE SIERRA SÁNCHEZ. Isierras@eafit.edu.co
Departamento de Ingeniería Mecánica**

ÁREA DE ÉNFASIS

MANTENIMIENTO DE SISTEMAS TÉCNICOS

ASESOR PRINCIPAL

Ing. FRANCISCO JAVIER BOTERO HERRERA

SECTOR BENEFICIADO

METRO DE MEDELLIN Y UNIVERSIDAD EAFIT

RESUMEN

En este artículo se presenta la norma UIC 518, de la Unión Internacional de Líneas Férreas, se explica brevemente el procedimiento que debe seguirse para la aprobación de vehículos de acuerdo a la método normal de la norma UIC 518.

Se resumen las características técnicas para los equipos de medición y monitoreo exigidos en la norma UIC 518 para su implementación. Por último se presenta un resumen de la metodología utilizada para la selección del equipo que permita implementar la norma, teniendo en cuenta diferentes propuestas de empresas reconocidas en el mercado.

ABSTRACT

This article roughly explains the procedure from the Railway Lines International Union, which must be followed by approval of vehicles according to the UIC 518 regulation.

It sums up the technical features to measurement equipment as well as their control that are demanded from the UIC 518 norm. Finally, it presents a summary of the methodology used for the selection of the equipment that allows to implement the norm, considering different propose from companies recognized in the market.

PALABRAS CLAVE

Norma UIC 518, Método Normal, RFT (Términos de referencia)

KEY WORD

Norm UIC 518, Normal Method, RFT

INTRODUCCIÓN

El Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad EAFIT, ha venido trabajando conjuntamente con el personal de Mantenimiento del Metro de Medellín, buscando estrategias que permitan optimizar las acciones de mantenimiento sobre los vehículos de pasajeros del Metro de Medellín.

A finales del primer semestre del año 2004, fue aprobado por Colciencias, El Metro de Medellín y la Universidad Eafit un proyecto que permitiera implementar la norma UIC 518, la cual suministra todas las indicaciones para realizar la aprobación del comportamiento dinámico de los vehículos con relación a seguridad, fatiga en vías y comportamiento de la marcha.

La implementación de la Norma se hace con el fin de monitorear el funcionamiento de los vehículos en busca de mantener los estándares que influyen en el comportamiento dinámico del vehículo en un estado adecuado de funcionamiento.

Este proyecto de grado, recopila la parte inicial del proyecto para llevar a cabo la implementación de la norma UIC 518, la cual consta de:

- Sustracción del método Normal para la aprobación de vehículos de pasajeros, lo que permitirá a los lectores enfocarse solo en este método y en vehículos de pasajeros con las características del Metro de Medellín.
- Elaboración de un diagrama de flujo que permita al lector entender el método Normal de la Norma UIC 518 de una manera general.
- Selección de un equipo comercial para medición y monitoreo que permita implementar la norma UIC 518.
- Recopilación de información técnica del Metro de Medellín.

En el periodo de tiempo en que se realizó este proyecto de grado el Grupo de Investigación GEMI de la universidad Eafit, obtuvo recursos que le permitieron adquirir otro equipo para aplicaciones docentes.

NORMA INTERNACIONAL UIC 518 DE LA UNIÓN INTERNACIONAL DE LÍNEAS FÉRREAS

La Norma UIC 518 suministra todas las indicaciones para realizar la aprobación del comportamiento dinámico de los vehículos con relación a seguridad, fatiga en vías y comportamiento de la marcha con el propósito de aprobación para el tráfico internacional. (UIC 518, 2003, 1).

Método Normal de la Norma UIC 518

La norma UIC 518 se divide en dos métodos. Para el propósito de aprobación de los vehículos del Metro de Medellín, se ha seleccionado el método normal.

Para la aplicación de este método se deben realizar mediciones de fuerza y de aceleración, los resultados de estas mediciones deben ser comparados con los valores límites que establece la norma, los cuales permiten decidir si el vehículo es o no aprobado.

Antes de realizar las mediciones la norma exige revisar las condiciones de la vía y de los vehículos, así como revisar las condiciones en que se debe probar el vehículo.

Las condiciones en que se debe probar el vehículo dependen de la causa que lleva a que el vehículo sea aprobado (Ejm: Vehículo nuevo, o cambios en componentes mecánicos). Estas condiciones de aprobación son de carga del vehículo, velocidad y del tipo de vía (tangente, o curva).

Exigencias de la Norma UIC 518 para los Equipos de Medición y Monitoreo con los cuales se puede implementar la Norma.

TABLA 1
Requerimientos de la norma para tener en cuenta en la selección del equipo de medición

Datos para medición de las variables indicados en la Norma UIC 518 para la aprobación de los vehículos
<ul style="list-style-type: none"> • Frecuencia ≥ 200 Hz • Ancho de banda para el filtrado de las mediciones: <ul style="list-style-type: none"> - Si se utiliza medio magnético se debe usar un ancho de banda mínimo de 40 Hz, salvo en caso de ser alimentada directamente al computador que se utiliza una frecuencia mínima de 20 Hz. - Si se utiliza un medio gráfico se debe utilizar una medición de 10 Hz ó 20 Hz dependiendo de la variable que se este midiendo. • Frecuencia de corte para filtro paso-bajo a -3 dB, gradiente ≥ 4 dB/octava, tolerancia de $\pm 0,5$ dB hasta la frecuencia de corte, y ± 1 dB más allá de este valor.

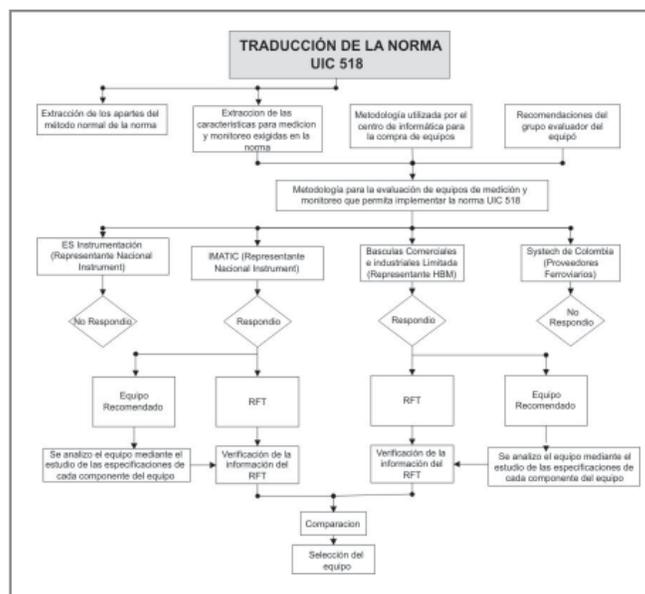
Método Utilizado Para la selección del Equipo

Para la selección del equipo se reunieron siguientes factores:

- Requerimientos de la norma.
- Experiencia y conocimientos de equipos de medición y monitoreo. Aporte realizado por el grupo GEMI y los técnicos de Metro de Medellín.
- Experiencia y conocimiento en la compra de equipos. (Aporte realizado por el Centro de Informática de la Universidad Eafit, quienes suministraron un RFT (Términos de Referencia).
- Análisis de la información suministrada por los diferentes proponentes.

La metodología resumida se puede ver en la siguiente grafica:

GRÁFICA 1
Metodología utilizada para la selección del equipo



CONCLUSIONES

La Norma UIC 518 suministra las indicaciones para realizar la aprobación del comportamiento dinámico de los vehículos con relación a seguridad, fatiga en vías y comportamiento de la marcha con el propósito de aprobación para el tráfico internacional.

La norma UIC 518 es para el Metro de Medellín una guía, que permite registrar las variables del Metro de Medellín correctamente, teniendo en cuenta las condiciones específicas de funcionamiento de este. Para la Universidad el Laboratorio de Mecánica Experimental de la Universidad Eafit, es la oportunidad para continuar sus investigaciones.

El RFP utilizado por el Centro de Informática de la Universidad EAFIT es una metodología muy útil para la compra de equipos y bienes, al ofrecer una guía para tomar decisiones evitando sesgos en la información, que produzcan una mala decisión.

El RFP permitió comparar las ofertas de diferentes firmas, suministrando una valiosa información para evaluar la seriedad de los diferentes proponentes.

La mejor propuesta que permite implementar la norma UIC 518 de la Unión Internacional de Líneas Férreas, es la de la empresa Basculas Comerciales e Industriales Limitada, quienes suministran el equipo con mayor calificación ante el grupo evaluador y entregan información más confiable.

El equipo ofrecido por la firma HBM presenta mejores características para las necesidades de medición y monitoreo, dado que sus componentes estarán ubicados en el exterior del tren, expuestos a salpicaduras, cambios bruscos de temperatura y posibles impactos. Lo cual no es garantizado por el equipo de la Nacional Instrument, así mismo como otras condiciones del trabajo pesado que se requieren, por lo tanto debe ser descartado para esta aplicación.

El equipo ofrecido por Basculas Comerciales es producto de línea la de marca HBM, el cual además

de aplicaciones férreas también ha sido utilizada por fabricantes de otros medios de transporte, mientras que la solución ofrecida por Imatic no incluye un desarrollo no comercial.

La oferta de IMATIC no incluye sensores, lo que puede implicar sobre costos cercanos a \$74'000.000 (setenta y cuatro millones de pesos).

BIBLIOGRAFÍA

GÓMEZ ARBELAEZ, Juan Camilo y Juan Gonzalo Sosa Giraldo. Primer paso para la implementación de un sistema de monitoreo a partir de vibraciones mecánicas en los vehículos de pasajeros del Metro de Medellín verificando el paquete VIBRAFIN con el paquete PRISM4. Proyecto de Grado Ingeniería Mecánica. Medellín: Universidad EAFIT 2001.

ALAN, Davies, Handbook of condition monitoring, University of Wales. Great Britain: Chapman & Hall, 1998. Segunda Edición. 35p.

Unión Internacional de Líneas Férreas. Código UIC 518: Pruebas y aprobación de vehículos férreos desde el punto de vista de su comportamiento dinámico de seguridad, fatiga de la vía y calidad de la marcha. 2003, segunda edición.

VELÁSQUEZ LAVERDE, Diego José y Snaider Yasin Kamel Giraldo. Monitoreo de las condiciones de la maquinas. Proyecto de grado Ingeniería Mecánica. Medellín Universidad EAFIT 2002.

GIRÓN OQUENDO, Marco Antonio. Evaluación del paquete vibrafín para el monitoreo de maquinas rotativas. Proyecto de grado Ingeniería Mecánica. Medellín universidad Eafit 2002.

Notas de clase Augusto León Marín Sepúlveda 2002.

HBM, Catálogo de HBM, 2002

Internet

Manual de operación transductor de fuerza U-2B.
[En línea]. [Citado en 15 de agosto de 2004],
disponible en Internet: www.hbm.com

Manual de operación transductor de aceleración
tipo B-12. [En línea]. [Citado en 15 de agosto de
2004], disponible en Internet: www.hbm.com

NI, Tarjeta 4472. [En línea]. [Citado en 16 de agosto
de 2004], disponible en Internet: www.ni.com

NI, Tarjeta 6143. [En línea]. [Citado en 16 de agosto
de 2004], disponible en Internet: www.ni.com

NI, Tarjeta 8186. [En línea]. [Citado en 16 de agosto
de 2004], disponible en Internet: www.ni.com

NI, chasis 1031. [En línea]. [Citado en 16 de agosto
de 2004], disponible en Internet: www.ni.com



BANCO EXPERIMENTAL PARA LA SIMULACIÓN DE MODOS DE FALLA DE SISTEMAS DE BOMBEO

GABRIEL JAIME TORRES CUARTAS. gtorresc@eafit.edu.co

ANDRÉS FELIPE VALENCIA VILLA. avalen13@eafit.edu.co

Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS

Mecánica de fluidos y mecánica experimental

ASESOR PRINCIPAL

Ing. LUIS FERNANDO QUIRÓS

EMPRESA

UNIVERSIDAD EAFIT

RESUMEN

Este artículo muestra en resumen todo lo relacionado con el diseño, cálculo, montaje e instrumentación de un sistema de bombeo que sirve como banco experimental para la simulación de modos fallas típicos de este tipo de equipos.

Se presenta una corta introducción a los términos mas utilizados en el área de mecánica de fluidos con el fin de dar al lector una comprensión de la ruta que se seguirá para la realización de cálculos.

ABSTRACT

This paper shows all the in summary related with the design, calculate, assembly and instrumentation of a system of pumping that it is good as experimental bank for the simulation in typical ways flaws of this type of systems.

A short introduction is presented to the terms more used in the area of mechanics of fluids with the purpose of giving the reader an understanding of the route that will be continued for the realization of calculations.

PALABRAS CLAVE

Modos de falla, mecánica de fluidos, ecuación de Bernoulli, Bombas centrífugas, sistemas de bombeo.

KEY WORDS

Failures mode, mechanics of fluids, Bernoulli equation, centrifugal pumps, systems of pumping.

INTRODUCCIÓN

La utilización de bombas y sistemas de bombeo, es una práctica común en la industria a nivel mundial.

La necesidad de montar un nuevo sistema de bombeo en las instalaciones de la Universidad EAFIT, se debe a la gran cantidad de actividades que se están adelantando alrededor del tema de monitoreo de condiciones de maquinaria y equipos.

Este proyecto hace un análisis del sitio donde será instalado el sistema de bombeo, se diseñan alternativas que permiten diferentes tipos de rutas para la simulación de fallos, se realizan los cálculos hidráulicos para la selección de las tuberías y componentes, así como el equipo de bombeo, se seleccionan los equipos y componentes necesarios para el sistema en operación normal y para el sistema en modo de fallo, y finalmente se indican los procedimientos de montaje de los componentes más importantes del sistema.

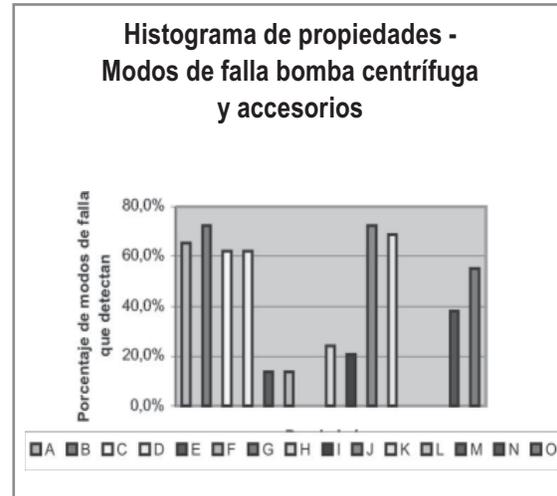
Este proyecto fue parte importante en el desarrollo de la investigación de maestría: “Desarrollo de un modelo predictivo computacional para el diagnóstico en tiempo real de la condición de bombas centrífugas”. Que es adelantado en el Laboratorio de Mecánica Experimental de la Universidad.

Modos de Falla y Propiedades de los Sistemas

La metodología consiste en determinar los tipos de propiedades que determinan la condición de la máquina o sistema para luego hacer un filtrado que permita dejar solo las más importantes. Realizado este paso se procede a establecer los modos de falla típicos del sistema que se desea monitorear para luego relacionarlos con los signos de avería producidos.

Por medio de tablas o matrices, se relacionan los signos de avería con las propiedades del sistema y luego bajo una analogía lógica de “si p entonces q”; estas se relacionan con los modos de falla.

El paso final conlleva a construir histogramas con los datos arrojados de las relaciones anteriores.



Estos gráficos muestran en forma de porcentajes las propiedades que determinan la mayor cantidad de modos de fallas de la máquina que se desea monitorear.

El anterior histograma nos muestra por ejemplo como el caudal (B) y el monitoreo de vibraciones (J), son las propiedades que más modos de falla establecen para la bomba centrífuga y sus accesorios de conducción de fluido.

Fundamentos teóricos

Para el cálculo hidráulico del proyecto es necesario tener en cuenta varios fundamentos de la mecánica de fluidos los cuales harán posible la justificación de decisiones tomadas en secciones posteriores del mismo.

Ley o Ecuación de continuidad. La Ley de continuidad dice que la masa por unidad de tiempo que entra a una zona específica de un flujo es igual a la masa por unidad de tiempo que sale de dicha zona del flujo. La ley de continuidad es una consecuencia de la Ley de Conservación de la masa (Mataix, 93, 1982) (Mott, 148, 1996).

ECUACIÓN 1
Ecuación de Continuidad

$$Q_1 = Q_2$$

$$A_1 V_1 = A_2 V_2$$

Mott, 148

Energía. La Ley de Conservación de la Energía indica que la energía no puede ser creada ni destruida, sino que puede ser transformada de un tipo a otro.

Ecuación de Bernoulli. Es una aplicación de la conservación de la energía que en el proyecto es aplicada a líquidos incompresibles.

ECUACIÓN 2
Ecuación de Bernoulli

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + \sum h_A - \sum h_f - \sum h_L = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

Mott, 195

Cavitación. Esta ocurre cuando el líquido, o parte del líquido, alcanza la presión de vapor del mismo correspondiente a la temperatura a la cual se encuentra el líquido

Altura Neta Positiva de Succión (NPSH). NPSH son las iniciales de "net positive suction head" o altura neta positiva de succión. (Mataix, 385, 1982).

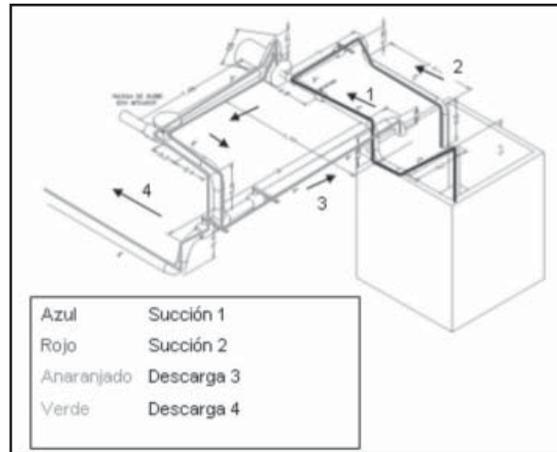
El NPSH requerido es la altura de presión absoluta mínima necesaria en la brida de succión para lograr que el líquido entre al impulsor sin alcanzar su presión de vaporización.

Golpe de ariete. Este es un fenómeno transitorio de régimen variable en el cual una gran presión, traducida en una gran fuerza destructiva, se presenta en cualquier instalación de equipos de bombeo, cuando ocurre un cambio brusco en el movimiento de un fluido cualquiera que sea la causa.

Cálculos Hidráulicos

En este proyecto se presentan los cálculos hidráulicos correspondientes al sistema de bombeo y sus diferentes rutas de flujo alternativas, dependiendo del tipo de prueba que se desee realizar.

FIGURA 13
Distribución del sistema de bombeo



El modo de operación del sistema para simular las fallas o manipularlo en forma manual debe ser con las siguientes combinaciones:

- 1-3 Cavitación
- 2-3 Cavitación
- 1-4 Golpe de ariete
- 2-4 Golpe de ariete
- 1,2-4 Golpe de ariete
- 1,2-3 Modo Normal

Instrumentación del Sistema

El lazo de control o línea de dispositivos de monitoreo del sistema consta de seis instrumentos que fueron dispuestos para controlar las propiedades más importantes arrojadas del estudio hecho en el capítulo de modos de falla.

Las propiedades a monitorear son: presión (succión y descarga), caudal, vibraciones, velocidad de rotación y par de torsión de los ejes de motor y bomba.

Para medir la presión se recomendaron sensores de la marca Kistler ref. 7261 con un rango de medición de -1 a $+10$ bar.

El monitoreo de las vibraciones podría llevarse a cabo con acelerómetros también de la marcas Kistler ref. 8784A5 con un rango de medición de $\pm 5g$.

Para controlar el caudal se ha dispuesto utilizar una válvula de control de la marca Flowserve ref. Trooper, dicha válvula hace parte del tramo ya existente en el laboratorio de Hidráulica que se incluyó en el diseño.

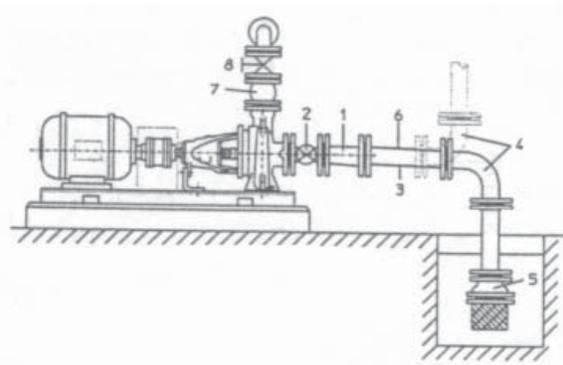
Además se tiene también un variador de velocidad marca Siemens ref. Micromaster 440 de 3hp. Un medidor de flujo marca Kent. Helix 4000 y un medidor de torque desarrollado en el laboratorio de mecánica experimental de la Universidad EAFIT.

Todos los instrumentos cumplen con el requisito de tener una señal de salida de 4 a 20 mA, compatible con la tarjeta de adquisición de datos que es proporcionada también por el laboratorio.

Montaje del Sistema

El montaje del sistema de bombeo se divide en cuatro puntos.

- Sistemas de tuberías.
- Montaje de la bomba.
- Alineación Motor – Bomba.
- Puesta en marcha.



En un montaje típico de un sistema de bombeo se incluyen elementos que en nuestro diseño fueron obviados. Estos elementos como por ejemplo una válvula de pie con filtro (en el gráfico la #5) no fueron tenidos en cuenta debido a que la naturaleza del proyecto es simular fallas y tales equipos impedirían el buen desarrollo de los experimentos.

CONCLUSIONES

En un sistema de bombeo, las propiedades que permiten identificar la mayor cantidad de modos de falla son: presión, caudal, corriente, voltaje, velocidad de giro, par de torsión del eje, vibraciones, temperatura y ruido. Los signos de avería pueden determinarse monitoreando los cambios en estas propiedades, permitiendo ejecutar acciones correctivas o preventivas que tengan como fin el correcto funcionamiento del sistema.

Los cálculos hidráulicos se efectuaron de forma detallada incluyendo las tuberías y accesorios nuevos además de los que actualmente se encuentran montados en el laboratorio de hidráulica de la Universidad EAFIT. Determinando las pérdidas de cada sistema alternativo, hasta llegar al punto de operación de la bomba para cada disposición. Logrando con esto un análisis confiable en el momento de hacer el montaje, puesta en marcha y operación, basado en los valores encontrados.

La disposición del sistema de bombeo se diseñó teniendo en cuenta la tubería, accesorios y tanques ya existentes; es decir la ubicación de la nueva tubería se planteó pensando en la disposición de la antigua. Esto se realizó con el fin de poder tener un ahorro en espacio, dinero y tiempo de montaje.

La instrumentación se seleccionó teniendo en cuenta el monitoreo de variables de operación del sistema en modo normal y simulación de fallos. Para cada elemento se hizo un análisis comparando entre varias alternativas.

Los procedimientos de montaje sugieren instalar los equipos en lugares alumbrados, secos y limpios; teniendo en cuenta que se debe dejar un espacio suficiente para no interferir en las labores de mantenimiento.

La alineación entre el grupo motor-bomba es uno de los pasos más importantes del montaje del sistema. Con esto se previenen que se presenten vibraciones en la operación de la bomba causadas por una desalineación o desbalanceo de los ejes.

Las bombas, por lo general, no deben arrancarse hasta que no estén debidamente cebadas. Se deben consultar las recomendaciones del fabricante acerca de los procedimientos a considerar para las operaciones de arranque y parada del conjunto.

Se elaboró una ficha técnica que presenta los datos de los diferentes instrumentos y equipos utilizados en el sistema de bombeo, para tener una visualización más amigable de la capacidad de trabajo de cada elemento.

RECOMENDACIONES

Para la manipulación del sistema de bombeo se debe conocer antes el manual de operación y los manuales de los fabricantes de los equipos que se encuentran en los anexos del proyecto.

Es importante utilizar las tuberías y accesorios sugeridos en el proyecto para la instalación con el fin de generar adecuadamente la simulación de fallos.

NUEVAS VÍAS DE DESARROLLO

El desarrollo del monitoreo de condiciones de estado de máquina se encuentra actualmente en crecimiento por lo que se propone que otros estudiantes empiecen proyectos relacionados con este tema evaluando otro tipo de equipos como turbias, motores, etc.

Realizar investigaciones en otros posibles modos de fallos que puedan ser integrados a esta instalación con el fin de tener un mayor aprovechamiento del sistema tratado en este proyecto.

Crear guías de prácticas de laboratorio en las que se pueda observar los modos de fallo típicos en el sistema de bombeo y calcular las variables en los distintos sistemas alternativos.

Evaluar el comportamiento del sistema de bombeo en situaciones extremas como pérdida súbita de la energía eléctrica y repercusiones que ésto traería en la bomba o en los diferentes elementos del sistema.

BIBLIOGRAFÍA

CASTAÑEDA, Leonel. Metodología para determinar las propiedades que establecen la condición de una máquina y relacionarla con los modos de falla típicos de la misma. Universidad EAFIT. Medellín, Colombia. 2004.

CASTAÑO, Jaime; ALVAREZ, Jorge; VALENCIA, Dairo. Propiedades que establecen la condición de la bomba centrífuga vertical de influente N°2 de la Planta San Fernando de Empresas Públicas de Medellín. Medellín, Colombia. 2003.

KARASSIK, Igor. J. Manual de bombas. México D.F. México. Editorial McGraw Hill. 1987. 310p. ISBN 9684512740

MATAIX, Claudio. Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas. 2 ED. Editorial Harla S.A. México D.F. México. 1982. 660p. ISBN 968-603-429-3

MOTT, Robert L. "Mecánica de Fluidos aplicada". 4 Ed. Prentice Hall. México D.F. México. 1996. 580p. ISBN 968-880-542-4

QUIROS M, Luis Fernando. Curso de bombas y sistemas de bombeo. Centro de educación continua, Escuela de ingeniería, Ingeniería Mecánica, Universidad EAFIT. Medellín, Colombia. 1991. 153p.

STERLING, Fluid Systems. Halberg Nowa. Instrucciones de servicio y montaje. Santa fe de Bogotá D.C., Colombia. 2003.



IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN EN UNA EMPRESA PRESTADORA DE SERVICIO DE MANTENIMIENTO DE EQUIPOS DE AIRE ACONDICIONADO

ALBERTO GUERRERO LEE. aguerre3@eafit.edu.co
Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS

MANTENIMIENTO

ASESOR PRINCIPAL

Ing. PABLO PINILLA

SECTOR BENEFICIADO

Cs. S.A.

ABSTRACT

This article is the result of the final undergraduate project with the same title and that consists of a bibliographic revision of the use and implementation of an information system in the maintenance department of "Comercial y Servicios Larco S.A", company that designs, sells, makes assemblies and lends maintenance to all the equipment related to conditioned air, evaporative cooling and ventilation.

RESUMEN

Este artículo es el resultado del proyecto de grado del mismo título y que consta de una revisión bibliográfica de la utilización e implementación de un sistema de información en el departamento de mantenimiento de Comercial y Servicios Larco S.A., empresa que diseña, vende, realiza montajes y presta mantenimiento a todos los equipos relacionados con aire acondicionado, enfriamiento evaporativo y ventilación. El proyecto logra implementar el sistema de información y ver las dificultades que se encuentren al momento.

PALABRAS CLAVES

- Sistema de información.
- Acondicionamiento de aire.
- Enfriamiento evaporativo.



DISEÑO INSTRUCCIONAL DE LA ASIGNATURA TPM

ESTEBAN ESTRADA TORO. *jarbela9@eafit.edu.co*
Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS

MANTENIMIENTO DE SISTEMAS TÉCNICOS

ASESOR PRINCIPAL

Dr. Ing. GUSTAVO VILLEGAS LÓPEZ

SECTOR BENEFICIADO

UNIVERSIDAD EAFIT

RESUMEN

El proyecto nació de la necesidad de un mejoramiento continuo del programa de la asignatura mantenimiento productivo total TPM; para esto fue oportuno el aprovechamiento de las TIC (Tecnologías de Información y Comunicación) disponibles en la universidad y la metodología de IAP (Investigación Acción Participativa), que busca un aprendizaje por parte del alumno más orientado a lo práctico.

El trabajo se realizó en compañía del profesor que dicta la asignatura y con el apoyo de una persona de la línea I+D en Informática Educativa de la Universidad EAFIT.

ABSTRACT

The continues improvement of total productive management subject create the specific space for the project development. The informatics and communication technologies available in EAFIT University were used like a structure of the project, as if the participative action investigation that search a practice learn process in the student.

PALABRAS CLAVE

Investigación acción participativa/ Tecnologías de la información y la comunicación/mantenimiento/metodología.

KEY WORDS

Participative action investigation/ Informatics and communication technologies/ Maintenance/ Methodology.

1. INTRODUCCIÓN

La Universidad EAFIT en su objetivo de formación de profesionales, pone a disposición de la docencia herramientas tecnológicas y metodológicas que facilitan el proceso de aprendizaje y fortalecen el conocimiento de los estudiantes, dichas herramientas no son aprovechadas al máximo en la mayoría de las asignaturas.

El uso de la tecnología debe llevar a una buena relación de la teoría con la práctica, a través de un proceso que involucre la planificación, acción, observación y reflexión. Esto se puede lograr utilizando la metodología de investigación acción participativa.

El docente encargado de dictar la asignatura TPM muestra interés en la utilización de las TIC y la IAP para innovar en el proceso de aprendizaje de sus estudiantes, por esto pone a disposición todos los recursos que estén a su alcance.

El diseño instruccional se realiza con el objetivo de mejorar el proceso de aprendizaje de los estudiantes en la asignatura TPM utilizando la metodología de investigación acción participativa y el uso de las tecnologías de la información y la comunicación.

2. INCORPORACIÓN DE TECNOLOGÍA DE LA INFORMACIÓN Y LA COMUNICACIÓN EN LA UNIVERSIDAD EAFIT

Dada la necesidad que tiene la Universidad de revisar su propio rumbo y considerando las posibilidades que ofrecen las TIC para transformar los procesos de enseñanza-aprendizaje, la Universidad EAFIT, ha optado por desarrollar un modelo de Campus denominado Bimodal, que busca apoyar con las tecnologías, además de los procesos de docencia, los procesos de investigación, extensión, gestión académica y administrativa en una forma integral (Campus Bimodal EAFIT, 2003).

La universidad, se apoya entonces en las TIC para mejorar la relación docente – estudiante proporcionando mejores espacios de comunicación, a través de EAFIT interactiva y EAFIT en vivo como elementos fundamentales en este proceso.

3. LA INVESTIGACIÓN ACCIÓN PARTICIPATIVA EN UNA ASIGNATURA DE INGENIERÍA

La Investigación-Acción combina las características de permitir el análisis de situaciones desconocidas y al mismo tiempo posee la intención de intervenir en las situaciones específicas con el fin de realizar transformaciones. Se desarrolla a través de experiencias pero tiene como fin construir avances en el conocimiento

La Investigación-Acción, se convierte en una herramienta investigativa y metodológica de mucho potencial para la educación, ya que por una parte permite ir desarrollando el conocimiento de herramientas específicas de transformación y por otra parte permite el desarrollo de habilidades de estudiantes involucrados en los procesos, permitiendo reflexiones que conlleven a la mejora de las experiencias pedagógicas (Nicholls, Vélez y Villegas, 2004, 183-188).

4. REORIENTACIÓN DE LOS MÓDULOS Y LOS SISTEMAS DE EVALUACIÓN DE LA ASIGNATURA

Para una buena orientación del curso se hace necesario incurrir en innovadores modelos y desarrollos educativos, que sean aplicables al TPM como asignatura dentro de una ingeniería.

Se recurre a los cuatro pilares de la educación definidos por la UNESCO para llevar a cabo esta tarea, considerando o abarcando todos los contenidos desde lo

recomendado por la educación, como una forma adecuada de realizar este tipo de proyectos.

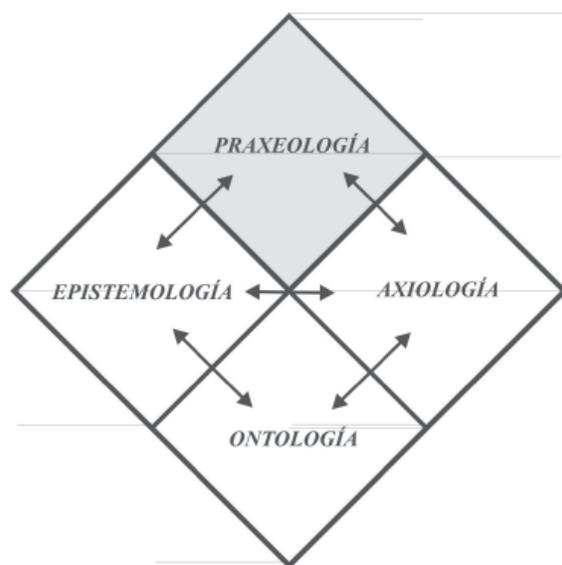
Además se desea incurrir en un nuevo modelo innovador para darle forma a los módulos y componentes del programa de la asignatura y es así que se decide trabajar con el modelo que describe René Bédard.

4.1 EL ROMBO Y LAS CUATRO DIMENSIONES FILOSÓFICAS

El modelo que se representa bajo la forma de un rombo, integra cuatro grandes ramas de la filosofía estrechamente ligadas entre sí: la praxeología, la epistemología, la axiología y la ontología.

ILUSTRACIÓN 1

El rombo y las cuatro dimensiones filosóficas



Renée Bédard

4.2 LOS CUATRO PILARES DE LA EDUCACIÓN

La educación se estructura en torno a cuatro saberes fundamentales que en el transcurso de la vida serán para cada persona, en cierto sentido, los pilares

del conocimiento: el saber saber, es decir, adquirir los instrumentos de la comprensión; saber hacer, para poder influir sobre el propio entorno; saber convivir, para participar y cooperar con los demás en todas las actividades humanas; por último, saber ser, un proceso fundamental que recoge elementos de los tres anteriores.

5. CONTENIDO DEL CURSO TPM

El curso lo conformaban cinco módulos principales: Contextualización del TPM, Preámbulo del TPM, Visión Holística del TPM, El TPM en el Medio Industrial Colombiano y Planes de implantación del TPM. Los cuatro primeros módulos se desarrollaban secuenciadamente, el quinto módulo intervenía paralelamente a lo largo de la asignatura.

Se propone transformarlos en cuatro módulos asociando su contenido a las cuatro dimensiones filosóficas del rombo de Renée para darle un mejor enfoque a la asignatura, de tal manera que se desarrollen mejor estas cuatro dimensiones en los estudiantes.

El curso queda entonces conformado por los siguientes cuatro módulos:

1. Los fundamentos del TPM que fortalecen la dimensión ontológica del estudiante.
2. Los procesos de implantación del TPM en las industrias en general que fortalecen la dimensión epistemológica del estudiante.
3. Valoración de los procesos de implantación del TPM en Colombia que se asocia a la dimensión axiológica.
4. Implantación del TPM que fortalece la Praxis en el estudiante.

6. RESULTADOS

Se tiene un total de 96 horas del curso que cumplen con el número de créditos especificados para esta asignatura. Lo único que varía es la cantidad de horas dentro y fuera del aula.

El aumento en las horas fuera del aula se debe a la incorporación de IAP correspondiente a la duración de cada una de las actividades que deben realizarse para la implantación de esta metodología.

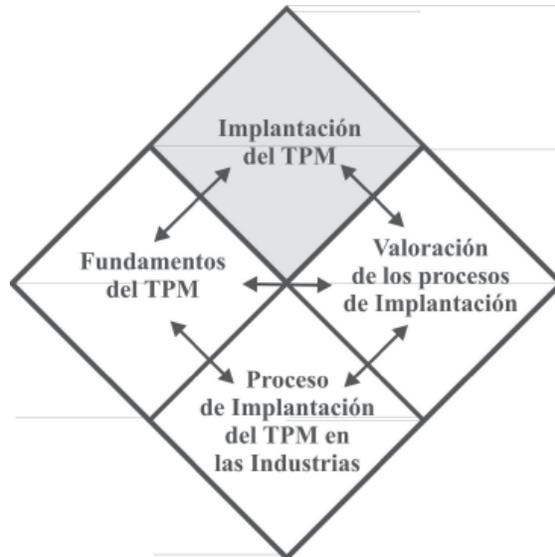
La disminución de las actividades presenciales se debe a la utilización de envivo con los videos pregrabados de las 5 eses y el material de apoyo.

TABLA 1
Porcentaje de las diferentes actividades de evaluación del curso

ACTIVIDAD	%
Estudio de casos	20%
Investigación teórica	20%
Foros virtuales	20%
IAP	40%

La distribución de los módulos del nuevo programa, el porcentaje correspondiente a cada uno según la duración en horas de sus actividades y las actividades de evaluación se muestra a continuación dentro del rombo.

ILUSTRACIÓN 2
Distribución de los módulos y las actividades de evaluación dentro del rombo



CONCLUSIONES

Para complementar el proceso evaluativo llevado por el docente se hizo necesario la creación de algunas herramientas que le facilitarían al docente el control de los alumnos en ciertas actividades en las cuales anteriormente no se tenía dicho control.

En el rediseño de la asignatura se respetó la forma como el docente quiere o plantea sus exposiciones dentro del salón y los elementos que utiliza para presentar su conocimiento a los alumnos, razón por la cual no se quiso interferir en esta parte del rediseño, sino en la presentación de trabajos, materiales y actividades que se referían más al alumno en su proceso de aprendizaje que al docente en su forma de enseñar.

Es importante la utilización de metodologías y conceptos innovadores cuando se trata del rediseño de un curso, porque no tiene sentido tratar de implementar algo nuevo utilizando teorías y metodologías viejas.

En este proceso se presenta la oportunidad de afianzar los conocimientos de la asignatura TPM debido al análisis de su material, pues para realizar propuestas y cambios en el programa fue vital revisar primero el material para hablar en un mismo idioma con el docente.

Las consultas realizadas para fortalecer los conocimientos en cuanto a tecnologías utilizadas en la universidad dan al estudiante una visión muy optimista del futuro de la universidad y del esfuerzo realizado por esta entidad para que los estudiantes tengan las mejores herramientas tecnológicas apoyando un aprendizaje.

La investigación acción participativa es una muy buena herramienta disponible para lograr un ambiente en el cual la persona pueda aplicar los conceptos de la mejor forma y el potencial que esta técnica ofrece al trasladar su uso en un ambiente laboral.

BIBLIOGRAFÍA

BEDARD, Renée. Los fundamentos del pensamiento y las prácticas administrativas : El Rombo y las cuatro dimensiones filosóficas . Montreal. Grupo Humanismo y Gestión. Traducido del francés por MUÑOZ G, Rodrigo. Medellín. Abril. 2001. Publicado en la revista AD- MINISTER. ISSN: 16920279. Edición No 3 Julio-Diciembre 2003. Universidad EAFIT.

Campus Bimodal EAFIT. Propuesta que incorpora tecnología de información y comunicación (TIC) en la vida universitaria. Artículo publicado en el Eafitense No 62. Mayo. 2003. Universidad EAFIT.

CARVAJAL S.A. División metalmecánica: Administración productiva total. Décimo curso de instructores TPM. Medellín. 2003.

INHELDER, B y PIAGETT, J. The early growth of logic in the child; classification and seriation. New York. Humanities Press.

NICHOLLS ESTRADA, Beatriz, VÉLEZ CASTIBLANCO, Jorge Iván y VILLEGAS LÓPEZ, Gustavo Adolfo. La investigación acción participativa en la enseñanza de la ingeniería. XXVI Reunión Nacional de Facultades de Ingeniería. Cartagena. 2004. pp. 183-188. ACOFI. SBN: 9586800490.

VILLEGAS LÓPEZ, Gustavo Adolfo. Diseño Instruccional del curso TPM en metodología bimodal. Cuarta versión. Agustín Nieto Caballero. Bogotá. 2001. ICFES.

Envivo@. Eafit Envivo Universidad EAFIT. [citado el 28 de Septiembre de 2004] disponible en internet: <<http://envivo.eafit.edu.co>>.

Nicholls@. Resumen capacitación a los docentes. Dictada por el Profesor Wilfred Carr, Docente de la División de Educación de la Universidad de Sheffield en el año 1997 [citado el 27 de Abril de 2004] <bnicholls@infoedu.eafit.edu.co>.



DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA MOTOCICLETAS

DANIEL VÉLEZ CORREA. dvelezco@eafit.edu.co
Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS

DISEÑO DE SISTEMAS TÉCNICOS

ASESOR PRINCIPAL

Ing. MAURICIO MAESTRE CASTAÑEDA

EMPRESA

MECÁNICA SISTEMATIZADA S.A

RESUMEN

El propósito de este proyecto es documentar el diseño y la construcción de un Dinamómetro para motocicletas. Los dinamómetros son usados por mecánicos y técnicos para evaluar el cambio que ocurre en la potencia entregada por un motor, después de haberse realizado alguna reparación o trucaje al motor. El proyecto detalla los mecanismos físicos necesarios para realizar una prueba, la implementación de una propuesta de diseño, sistema de adquisición de datos y un software desarrollado para procesar y Mostrar la información.

PALABRAS CLAVE

Dinamómetro. Mediciones de Potencia y torque. Adquisición de datos. Normalización. Tambor Inercial

ABSTRACT

The purpose of this report is to document the design and implementation of a motorcycle dynamometer. Dynamometers are typically used by mechanics and tuners to evaluate the change in power output of an engine before and after a modification are made to that engine. The project details the physical mechanics needed to test the engine, the implementation of a suggested design, the data acquisition mechanisms and the development software to process and display the data.

KEY WORDS

Dynamometer. Power an Torque measurement. Data acquisition. Normalise. Inertial Drum

INTRODUCCIÓN

En nuestra cotidianidad hacemos uso de los motores de combustión con mucha frecuencia, especialmente para transporte. Existen gran número de talleres especializados para el mantenimiento del parque automotor. Pero en pocos de estos talleres se cuenta con herramientas de diagnóstico precisas que nos indiquen la verdadera condición o estado

del corazón de la máquina, “el motor y su sistema de transmisión de potencia”.

Una herramienta que nos permita saber las relaciones de potencia real entregada por el motor en las ruedas, vs. las RPM¹ del motor, permitiría a una persona con conocimientos en el ramo, diagnosticar el estado, establecer puntos de comparación con los datos suministrados por el fabricante del vehículo, evaluar reparaciones y modificaciones realizadas.

Con la ayuda del banco de pruebas se obtienen curvas de máxima potencia, lo que significa que para cada N° de RPM el motor podrá entregar como máximo lo que figura en dicha curva y absolutamente nada más. Para poder superar esos valores de potencia sería necesario introducir modificaciones en el motor, para lo cual necesitaríamos una nueva medición para establecer cuales son los valores máximos que alcanza el motor modificado.

El banco de pruebas “Dinamómetro” encuentra su campo de acción dentro del desarrollo de tecnologías y mejoras en el campo de motores bien sea eléctricos, o de combustión, pero principalmente en este último, ya que es indispensable medir el comportamiento de la potencia y el torque con el avance de las revoluciones del motor, en busca de optimizar la conversión de energía a fin de reducir los niveles de contaminación y aumentar la potencia disponible.

1. DINAMÓMETRO

El dinamómetro inercial es un instrumento para la medición del desempeño de un motor en conjunto con la caja empleada para la transmisión de potencia. Consta básicamente de una rueda inercial soportada sobre un chasis, la cual es impulsada a girar por la llanta trasera de la motocicleta; sobre la rueda inercial se hacen mediciones de aceleración angular con ayuda de sensores, ésta información debidamente

procesada con la ayuda de un software construye las curvas de potencia y torque de la motocicleta.

Cualquier dinamómetro mide torque y velocidad y a partir de allí se calcula la potencia. En un dinamómetro de chasis apropiado medimos el torque en los rodillos (del dinamómetro) y lo multiplicamos por la velocidad a la cual va el vehículo, esta se mide por medio de las rpm de los rodillos, como velocidad angular; la potencia se expresa en caballos de fuerza o kilovatios.

El principio de medición se deriva de la primera ley de newton, aplicada al movimiento rotacional que dice que el Torque (τ) es igual al producto de la inercia(I) por la aceleración angular (α).

$$\tau = I \times \alpha$$

La Potencia (P) es el producto del Torque (τ) Por la velocidad Angular (ω)

$$P = \tau \times \omega$$

Se requieren dos datos de velocidad y uno de tiempo para calcular la aceleración, Torque y Potencia; si lo que se requiere es generar una grafica que ilustre el comportamiento, se debe entonces medir las variables mencionadas, la mayor cantidad de veces posible y procesar todo este volumen de información rápidamente para poder generar una gráfica que reúna toda la rampa de aceleración del motor.

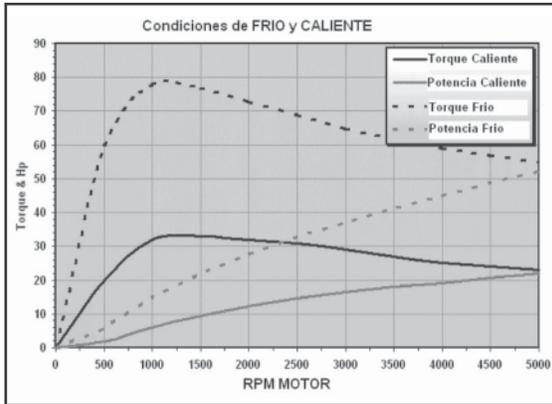
1.1 Gráficas de Potencia

El cálculo de la potencia conlleva como resultado dos graficas en las cuales se puede analizar el comportamiento del motor. Una grafica muestra el avance del Torque vs las RPM; y otra la Potencia vs las RPM. Ambas son las que interesan a la persona encargada de poner a punto el motor y a la persona que finalmente utiliza el motor de manera que conozca el rango de funcionamiento óptimo y pueda aprovechar la potencia disponible.

¹ RPM: revoluciones por minuto de algún elemento giratorio.

ILUSTRACIÓN 1

Gráfica de Potencia y Torque bajo dos condiciones de Temperatura



1.2 Normalización por Temperatura y Presión atmosférica

Antes que el valor del torque vaya al cálculo de potencia, hay que pasar por un algoritmo que lo normalice, esto quiere decir que debemos hallar el dato que el motor hubiera arrojado si el aire estuviera a la densidad y temperatura de referencia. Es sabido que cualquier motor tendrá más potencia si el aire está fresco y alta presión, como no se tiene control sobre las condiciones ambientales es mejor normalizar todos los resultados para garantizar que la medición es la correcta. (Rcboat@, 2003)

$$T_{normalizado} = T_{medido} \frac{P_{referencia}}{P_{actual}} \sqrt{\frac{TEMP_{actual}}{TEMP_{referencia}}}$$

Rcboat@

Se debe ser consistente con las unidades que se utilicen en la medición de la presión; además para la temperatura se requiere el valor en escala absoluta bien sea grados Kelvin o Ranking.

2. PROCESO DE DESARROLLO

Se diseñó un chasis que cumple las expectativas y requerimientos planteados por parte del cliente (movilidad, rango de potencia, etc.). La rueda o tambor Inercial es la parte mecánica de mayor cuidado e importancia, ya que debe ser perfectamente balanceada, de inercia alta, precisa y fácilmente calculable. El complemento de la máquina es el procesamiento de señales que se lleva a cabo en un computador, con la ayuda de una interfaz de comunicación o sistema de adquisición de datos.

Selección de Componentes

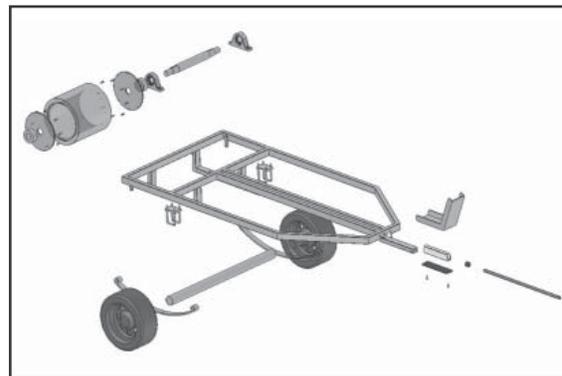
- Se realiza mediante un estudio de requerimientos y principios solución para escoger la alternativa adecuada.
- Se tiene muy en cuenta el factor costo en la solución adoptada.

Modelo y Planos

- Mediante modelación en CAD, se realiza un chequeo completo del funcionamiento y acople de los elementos mecánicos.

ILUSTRACIÓN 2

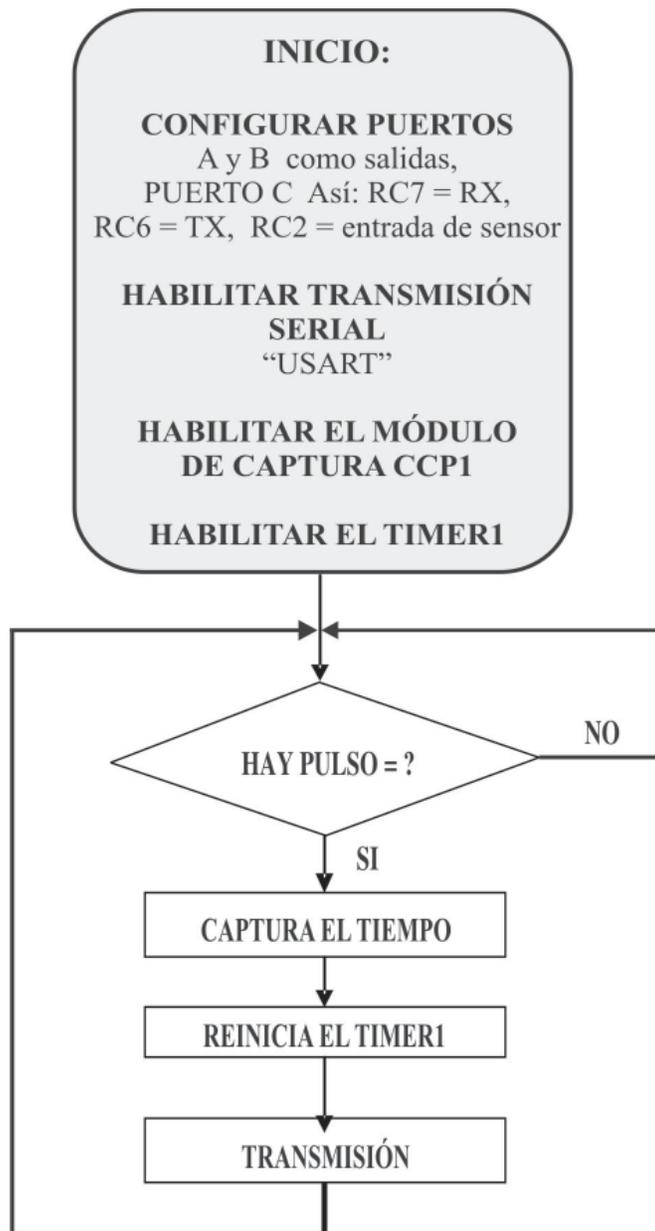
Modelo en explosión



Adquisición de Datos

- Se utiliza un microcontrolador PIC 16F873, adecuado para transmisión serial y captura de pulsos.
- Circuito Opto acoplador para evitar ruido electrónico proveniente del motor.
- Un sensor de efecto HALL , de alta frecuencia de switcheo para registrar los pulsos.

ILUSTRACIÓN 9
Organigrama programa del PIC



Diseño del Software

Basado en la información proporcionada por el sistema de adquisición, y conociendo el modelo de cálculo requerido, se implementa una solución desarrollada en Lab View, que cumpla con los siguientes parámetros:

- Corrección de factores ambientales
- Corrección de datos de entrada
- Generación de informes
- Almacenamiento de resultados

Pruebas de Funcionamiento

El software para su correcto funcionamiento requiere un periodo de prueba donde se identifiquen los puntos débiles que deban reforzarse.

El sistema de adquisición de datos se prueba con la ayuda de osciloscopios y fuentes generadoras de pulsos.

Luego al conjunto y en situación real, con motocicletas, se le realizan varias sesiones de pruebas para identificar los factores externos que afectan las mediciones. En cada sesión se implementan nuevos desarrollos y modificaciones para corregir los defectos previamente identificados.

CONCLUSIONES

La gran importancia de un dinamómetro es permitir pasar de la teoría a la práctica en un ambiente controlado de prueba y error para afinar una motocicleta o vehículo en su punto óptimo de potencia y rendimiento.

El dinamómetro es una herramienta muy útil para mecánicos ya que permite monitorear la potencia y el Torque, con el fin de buscar la mejor configuración de desempeño.

El sistema de adquisición de datos propuesto es una alternativa eficaz de bajo costo pero tiene falencias, como la falta de más canales de entrada, que permitan medir otras variables. Depende de la evaluación de requerimientos que se tengan, la selección de la tarjeta mas adecuada.

La utilización de filtros Lógicos en el software, es una herramienta que debe tratar de usarse al mínimo, ya que puede generar pérdida de información valiosa o alterar el resultado de las gráficas.

Es indispensable la creación de una base de datos con los valores técnicos de motocicletas, que en combinación con un ensayo realizado en el banco aporte al usuario una serie de criterios de evaluación y elementos de decisión.

Un aspecto recomendado, que tiene gran acogida internacional, es la potenciación de los vehículos, para lo cual hay múltiples opciones. En Colombia son pocos los desarrollos en ese campo, todos los elementos deben ser importados, lo que los hace más costosos y exclusivos, razón por la cual se anima a las personas interesadas en hacer aplicaciones con tecnología y desarrollos nacionales, a llevarlos a cabo

BIBLIOGRAFÍA

- ARBELÁEZ, Fernando. Remolque para camperos. Medellín, 1989 Proyecto de grado. Universidad EAFIT. Dpto. Ingeniería Mecánica. p. 37.
- CARRIAZO, Bernardo. Puesta a punto del motor Renault 4 GTL con instrumentación de seguridad. Bogotá, 1996. Tesis (Ingeniero Mecánico). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería.
- COCK, Víctor Manuel. Diseño de un chasis metálico para una mesa de billar, 1998 Proyecto de grado. Universidad EAFIT. Dpto. Ingeniería Mecánica. p. 24.
- DEUTCHMAN D, Aaron. Diseño de máquinas: Teoría y práctica. Sexta reimpresión. México: Compañía Editora Continental S.A. 1995, p. 973.
- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Material de transporte. Automotores. Motores de combustión Interna. Determinación de la potencia bruta. Bogotá: ICONTEC 1985 - 04 - 17. (NTC 2016).
- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN, ICONTEC. Compendio tesis y otros trabajos de grado. Santa Fé de Bogotá D.C: ICONTEC, 2002, p 147.
- FAG, Programa Standard FAG. Catálogo 41500/2 SA, Alemania 1979. p 491
- MICROSOFT, Corporation. Biblioteca de Consulta Microsoft® Encarta® 2003. © 1993-2002. Tema Mecánica.
- NORMA S.A. Diccionario enciclopédico práctico. Editorial Norma, S.A. 1991. p-. 1665.
- OBERT, Edgard F. Internal Combustión Engines and air pollution. Harper & Row, publishers Inc.1973. Capítulo 2. p 26
- ROBB, Louis. Diccionario para Ingenieros. Segunda edición. Compañía editorial Continental. México 1997.

BIBLIOGRAFÍA TOMADA DE INTERNET

- Banco@:
MILLÁN, José A. Ensayo de M.C.I. alternativos. 2001-2003. Disponible en:
<http://scsx01.sc.ehu.es/nmwmigaj/bancomot.htm>
- Dynomath@:
Stephen's. Dynamometers. 2003 Disponible en:
http://home.iprimus.com.au/stevebm/Dyno_Info.htm
- Norma_ar@:
DIRECCIÓN NACIONAL DE GESTIÓN ambiental. Certificación De Emisiones Gaseosas En Certificación De Emisiones Gaseosas en Nuevos Modelos De Vehículos. Disponible en:
http://www.medioambiente.gov.ar/documentos/emisiones_vehiculares/actividades/presentacion_taller/emisiones_presentacion_100802.PDF
- Performance@:
Dynamic Performance Tuning. 2002. Disponible en:
<http://www.dptmex.com>
- Sports@:
Sportdevices. Bancos de ensayo de potencia. Disponible en:
http://www.sportdevices.com/dyno/banco_motos.htm#descripcion
- Rcboat@:
Technical Article.1998. disponible en:
<http://rcboat.com/dynotech.htm>



TQM: COMO MODELO DE MEJORAMIENTO

FRANK ALEXANDER ECHEVERRY GÓMEZ. fecheve1@eafit.edu.co
Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS
MANTENIMIENTO

ASESOR PRINCIPAL
Ing. GUSTAVO VILLEGAS

RESUMEN

El criterio para alcanzar el éxito en este mercado global está cambiando rápidamente. Para expandir los negocios, ingresar a nuevos mercados y fijar objetivos realistas, competitivos y de largo plazo, la excelencia se ha convertido en un imperativo. Para lograr la excelencia, las empresas deben desarrollar una cultura orientada a tratar a la gente como el activo más importante y a brindar un nivel continuo de productos y servicios de alta calidad en todos los mercados en los que operan. Este entorno ha respaldado la aceptación generalizada de la TQM (Total Quality Management o Gestión de Calidad Total) junto a la incorporación de las normas ISO 9000. Entonces, es inevitable que formulemos la siguiente pregunta: ¿es la TQM una condición necesaria y suficiente para la excelencia de la empresa? Si es así, ¿qué hace falta para ponerla en práctica?

Con respecto a las normas ISO 9000 cabría recordar que constituyen un conjunto de normas sobre gestión y aseguramiento de la calidad, desarrolladas por una comisión técnica de la Organización Internacional para la Estandarización (ISO) de Ginebra. La familia de la ISO 9000 comprende 17 normas diferentes, aunque el 99% de las empresas están registradas en la ISO 9001 o en la ISO 9002. La ISO 9001 es significativamente diferente de las normas de ingeniería habituales que rigen, por ejemplo, las unidades de medición, la terminología, los métodos de ensayo, las especificaciones de los productos, etc. Incluye una serie de características genéricas y estandarizadas relacionadas con las prácticas de gestión, que brindan beneficios a productores y usuarios por igual, en una clara relación ganadora entre el proveedor y la logística. En consecuencia, los requisitos de la ISO 9000 son complementarios, y no alternativos, de los requisitos de ingeniería técnica.

Los requisitos de la ISO 9000 pertenecen a un proceso de Calidad Total (TQ). No pueden reemplazar a un esfuerzo de TQ porque no necesariamente se ocupan de los temas de liderazgo, planificación estratégica, benchmarking y empowerment que son claves para los procesos de calidad total. Pero la ISO 9000 brinda un enfoque amplio para documentar los procesos de calidad y evaluar su desempeño.

En relación con la TQM, podríamos decir que brinda el concepto global que alienta las mejoras continuas dentro de la organización. Esta filosofía enfatiza una perspectiva sistemática, integrada, continua y amplia que incluye a todos y a todo. Apunta esencialmente a la satisfacción total, de los clientes tanto internos como externos, en un entorno que busca las mejoras continuas de todos los sistemas y procesos. Pone el énfasis en los costos óptimos del tiempo de ciclo y utiliza la medición dentro de una metodología disciplinada que apunta a lograr las mejoras buscadas. Los aspectos clave de la TQM son eliminar los defectos y poner el énfasis en la calidad del diseño. La TQM es una necesidad; es el viaje que permite sobrevivir y triunfar.

Relación entre la TQM y la Estrategia de Logística

La estrategia de logística está compuesta por tres fases clave. La primera es la determinación de la misión de logística, la que fija los valores comunes para toda la organización. La segunda es la definición de las opciones de logística y la elección de la opción óptima. Y la tercera es la implementación de la logística, también conocida como gestión de logística. Pero la pregunta es: ¿dónde encaja la TQM dentro de la estrategia de logística?

Hay diferentes respuestas a esta pregunta. Muchos creen que la TQM debe estar relacionada con la gestión de logística. Otros, en cambio, como es el caso de los gerentes y directores japoneses, consideran que la calidad es su misión y, en consecuencia, la incorporan a su definición de misión y a su elección de opciones. Este enfoque suma a la calidad la "totalidad", ya que se comunica a toda la organización y se incorpora a su plan de largo plazo.

Los Cuatro Pilares de la TQM

El enfoque tradicional hacia la TQM considera un modelo basado en tres pilares (sistemas/procesos,

herramientas de mejoras y la gente). En el presente trabajo ofrecemos un modelo basado en cuatro pilares, porque incorpora la satisfacción del cliente, dado que, de lo contrario, la TQM no tendría objetivo alguno.

El pilar 1 es la satisfacción del cliente. Esto significa que la TQM no sólo debe satisfacer los requisitos del cliente, es decir: sus necesidades expresas, sino también satisfacer al cliente, es decir: sus necesidades implícitas. El pilar 2 está constituido por los sistemas/procesos. Para muchas empresas, el primer paso en la creación de un entorno de calidad total es la adopción de un sistema de gestión de calidad, como las Normas ISO 9000, el sistema Ford Q-101, el sistema Rover RG-2000, etc. Este sistema asegura que existan las medidas preventivas y las mejoras continuas necesarias para que la logística y los procesos operativos brinden productos y servicios de calidad. El pilar 3 es la gente. Para que exista una verdadera cultura de TQM hace falta captar el corazón y la mente de todos quienes son parte de la organización, comenzando en los niveles jerárquicos más altos y descendiendo a todos los rincones de la empresa. Esto se traduce en compromiso gerencial, capacitación, trabajo en equipo, liderazgo, motivación, creatividad, empowerment, etc. El pilar 4 son las herramientas de mejoras. Y en este caso, las Pautas para el Mejoramiento de la Calidad de la Norma ISO 9004-4 constituyen una ayuda tangible.

La Necesidad de un Modelo

Hay tantas áreas por encarar que las empresas se preguntan cómo comenzar y hacia dónde lleva todo esto. En consecuencia, hace falta un modelo que ordene en una secuencia las mejores prácticas de calidad y que sirva de guía, paso por paso, a las empresas que desean implementar la TQM.

Así surgió el Modelo TQMEX, es decir: el modelo conceptual para la excelencia en la TQM, cuyo objetivo es servir de ruta hacia la excelencia en la logística. Dado que las Normas ISO 9000 ya han sido descriptas, a continuación se incluirán solamente los pasos restantes del TQMEX.

1. La práctica japonesa de las 5S. Esta práctica es una técnica utilizada por las organizaciones para definir y mantener un entorno de calidad. El nombre tiene que ver con estas cinco palabras japonesas: Seiri (que significa estructurar), Seiton (sistematizar), Seiso (limpiar), Seiketsu (estandarizar) y Shitsuke (disciplinar). Esta técnica, ampliamente utilizada en Japón, permite mejorar no sólo el entorno físico sino también el proceso de pensamiento, y para facilitar su implementación se puede realizar una auditoría 5S a partir de un listado de control. Pero, lamentablemente y tal como ocurre con muchas otras herramientas de la calidad, es muy poco conocida en el mundo occidental.

2. Reingeniería de procesos de negocios (BPR). En 1993, Hammer y Champy definieron al BPR como “la reconsideración fundamental y el rediseño radical de los procesos de negocios para lograr mejoras contundentes en las mediciones críticas contemporáneas del desempeño, tales como el costo, la calidad, el servicio y la velocidad”. Las empresas que utilizan esta herramienta dicen haber obtenido grandes resultados en el mejoramiento de sus relaciones con el cliente, la reducción del tiempo de ciclo para poner los productos en el mercado, una mayor productividad, menores índices de error/defectos y mayor rentabilidad.

3. Los círculos de control de calidad (QCC). Un QCC es un pequeño grupo el personal que trabaja en conjunto con el fin de mejorar la empresa, respetar la dignidad humana y construir un entorno laboral gratificante a través del desarrollo del potencial infinito de los empleados. La experiencia recogida por los japoneses demuestra que el 95% de los problemas de la empresa pueden resolverse con simples métodos de control de calidad, tales como las siete herramientas para el control de calidad (Ishikawa, 1986). Estas herramientas son los diagramas de Pareto, de causa y efecto, las planillas de control, los histogramas, la estratificación, los diagramas y gráficos de diseminación y las tablas

de control. Estas herramientas ayudan a realizar un brainstorming sistemático y a analizar los problemas desde una óptica crítica.

4. Mantenimiento Productivo Total (TPM). En 1971 el Instituto Japonés para el Mantenimiento de Plantas definió al TPM como el sistema de mantenimiento que cubre toda la vida útil del equipo en cada una de las divisiones, incluyendo la planificación, la fabricación y el mantenimiento. Dado que la meta fundamental es mejorar la productividad a partir de los equipos, en ocasiones se conoce al TPM como gestión de productividad total.

El modelo TQMEX sigue en consecuencia el siguiente orden lógico. Dado que la práctica de las 5S constituye la clave para el entorno de la calidad total, éste debe ser el primer paso. Luego sigue el BPR, cuya función es redefinir y diseñar los procesos de negocios para satisfacer con eficacia las necesidades del cliente. El QCC tiene que ver, en esencia, con el incentivo a los empleados para que participen del mejoramiento continuo y con mejorar los recursos humanos de forma tal de alcanzar los objetivos de la empresa y, en consecuencia, constituye el paso tres. Las normas ISO 9000 permiten desarrollar un sistema de gestión de calidad basado en las buenas prácticas mencionadas en los tres pasos anteriores. El TPM es el resultado de aplicar la práctica de las 5S a los equipos a partir de una sólida gestión de calidad. En realidad, la norma ISO 9000 establece una serie de procedimientos para el control de los procesos y la inspección y prueba de los equipos que son parte del TPM. En consecuencia, esta técnica constituye el paso cinco. Si se han implementado con éxito los pasos anteriores, la organización está muy cerca de lograr la TQM. Sólo resta elegir el marco de TQM adecuado para alentar nuevas mejoras.

Llegado este punto podríamos decir entonces que la TQM es condición necesaria y suficiente para lograr la excelencia en la logística, y con ello responderíamos a la pregunta planteada al principio de este artículo. Para lograrlo es necesario incorporar los elementos del Modelo TQMEX que incluye a las Normas ISO 9000.

CONCLUSIONES

Tal como hemos visto, el concepto de TQM implica la integración de la estrategia de logística, y una comprensión profunda y una aplicación sistemática de los cuatro pilares de la calidad. El Modelo TQMEX, que hemos convalidado a través de la encuesta, es la herramienta práctica para alcanzar la excelencia en la logística.

BIBLIOGRAFÍA

- K. M. HO, Samuel. TQM and organizacional change. En: ProQuest Psychology Journals. USA. (Abril 1999).
- SUÁREZ Fernández, José Luis. TQM en los diseños empresariales. En: Revista Normas y Calidad. Bogotá, Colombia: Vol 15, No 43. (1999). ISSN 01206699.



COMPARACIÓN DE CONFIABILIDAD DISPONIBILIDAD Y MANTENIBILIDAD MEDIANTE MÉTODOS GEOMÉTRICOS Y DE ELEMENTOS DE MÁQUINAS

ABDÚL ZAPATA ESCOBAR. azapatae@eafit.edu.co
Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS

MANTENIMIENTO DE SISTEMAS TÉCNICOS

ASESOR PRINCIPAL

Dr. Ing. LUIS ALBERTO MORA GUTIÉRREZ

SECTOR BENEFICIADO

UNIVERSIDAD EAFIT

ÁREA DE MANTENIMIENTO

RESUMEN

El modelo de mantenimiento centrado en la confiabilidad identifica el modo en que fallan los equipos. Teniendo en cuenta el modelo de fallas es posible diseñar políticas de mantenimiento apropiada para un determinado sistema/equipo. El estudio hace un análisis de dos métodos por los cuales se puede hallar las medidas del CMD, los métodos de estudio son los estadísticos comúnmente usados en la industria colombiana y el método de elementos de maquinas usado en empresas que construyen equipos para las fuerzas militares Estadounidenses. Los cálculos se hicieron a elementos electrónicos ya que estos se han convertido en elementos de

gran importancia, los resultados arrojados son comparados.

PALABRAS CLAVE

Confiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad.

ABSTRACT

The model of maintenance reliability centered identifies the way in which they fail the equipment. Considering the model of faults it is possible to design political of appropriate maintenance for determined system/equipment. The study makes an analysis of two methods by which it is possible to be found the measures of the CMD, the study methods are the statistical ones commonly used in the Colombian industry and the method of elements of machines used in companies that constructs equipment for the American troops. The calculations became to electronic elements since these have become elements of great importance, the thrown results are compared.

KEY WORDS

Confiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad.

INTRODUCCIÓN

El mundo cambiante del mantenimiento es el resultado de su complejidad, de nuevas expectativas, nuevos patrones de fallas de equipo y nuevas técnicas. Además explica cómo estos cambios han generado otros requerimientos en la industria, que siente la necesidad de innovar las estrategias o enfoques de la función mantenimiento (Moubray@,1997,9)¹ (Tresserra,1996,7) (Larralde, 996,39).

El establecimiento de un sistema de mantenimiento terotecnológico competitivo de mínimo costo, orientado hacia el logro del éxito, implica el desarrollo integral de cuatro etapas sucesivas y lógicas para su funcionamiento; desarrollando las estrategias, tácticas, operaciones y acciones requeridas para alcanzar el quinto nivel de evolución de la gestión, mediante la activa participación de sus tres actores; todo con el fin de elevar los niveles de productividad y rentabilidad del área de mantenimiento (Mora y otros,7,2001).

La actividad del mantenimiento industrial, está compuesta por tres elementos fundamentales:

- **Mantenimiento.** Este elemento comprende el conjunto de personas que ofrecen y prestan el servicio de conservación de equipos² a los departamentos (o industrias) que producen bienes o servicios, mediante los recursos de que disponen.
- **Producción.** Es el departamento (o empresa) que requiere y demanda el servicio de mantenimiento de los equipos que utiliza para producir bienes o servicios.
- **Parque industrial.** Conjunto de elementos, equipos o líneas de producción utilizadas para la producción de bienes o servicios. Son los objetos

donde se aplican y se aplican las acciones de mantenimiento.

La relación entre el mantenedor y la máquina se denomina mantenibilidad, la relación entre productor y máquina se conoce como confiabilidad o fiabilidad y la relación entre los tres actores, es decir productor-máquina-mantenedor se define como disponibilidad y es la que en última instancia procuran los dos sujetos vivientes de la estructura. (Mora y otros, 2001,6).

FUNDAMENTOS DEL CMD

Confiabilidad

La confiabilidad es la probabilidad de que un dispositivo realice adecuadamente su función prevista a lo largo del tiempo, cuando opera en el entorno para el que ha sido diseñado. (Rojas,1975,1) (Díaz,1992,6) (Nachlas,1995,18) (Kelly y otro,1998,3)

Mantenibilidad

característica inherente de un elemento, asociada a su capacidad de ser recuperado para el servicio cuando se realiza la tarea de mantenimiento necesaria según se especifica (Avila,1992,23) (Dounce,1998,135) (Kelly y otro,1998,3) (Knezevic,1996,20) (Knezevic@,1993,292) (Rey,1996,160).

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, En otras palabras, la disponibilidad es una combinación de fiabilidad y parámetros de mantenibilidad (Avila,1992,22) (Nachlas,1995,154) (Valencia y otro,1983,100) (Norma MIL-HDBK-338,1988,152).

¹ @ denota bibliografía de Internet

² En sus dos dimensiones: cuerpo y función.

FUNCIONES CARACTERÍSTICAS DEL CMD

Función de confiabilidad [R(t)]. Es la fiabilidad del equipo.

Distribución de fallas acumuladas [F(t)]. Es necesaria cuando se están hallando las fallas acumuladas y este es el valor que nos da al aplicar la distribución de probabilidades de weibull u otra. La confiabilidad es uno menos este valor.

Función de densidad [f(t)]. Esta función nos da una representación visual de la distribución de fallas.

Tasa de fallos [$\lambda(t)$]. Representa la velocidad con la que fallan los componentes en un instante de t determinado. La representación grafica de $\lambda(t)$ nos muestra tres zonas en las falla cualquier componente o sistema.

Periodo de mortalidad infantil. En esta zona aparecen fallos precoces debido a fallos de fabricación.

Periodo de vida útil. En esta zona la tasa de fallos es constante y los fallos son imprevisibles, aleatorios y catastróficos.

Periodo de envejecimiento. En esta zona los fallos se producen por el desgaste y la tasa de fallos es constante.

CÁLCULOS

Distribución Weibull

De las distribuciones posibles se escogió la distribución Weibull para realizar los cálculos según los métodos tradicionales, ya que ésta puede modelar una amplia gama de las características de distribución de la vida de diversas clases de artículos de ingeniería. Los que fallan en el periodo de rodaje o Mortalidad infantil, vida útil y los que son afectados por el desgaste (MIL-HDBK-338,1998, 5.23).

Con la distribución Weibull es posible obtener mejores ajustes que los obtenidos en otras distribuciones (Rojas,1975,63).

El método utilizado para resolver gráficamente el ajuste de los datos a la distribución Weibull utilizado se basa en el rango de medianas ya que este se utiliza cuando se tiene una muestra pequeña e incompleta. (Kelly y otro,1998,31).

Rango de mediana

$$\text{Rango de mediana} = \frac{\text{Número de orden} - 0.3}{N + 0.4}$$

Donde:

Número de orden: es el orden de número de fallas y N es el total de elementos de la muestra.

Con el valor del rango de mediana y los datos de los tiempos útiles (UT), para la confiabilidad y tiempos muertos (DT) se procede a volver estos datos lineales para hallar los parámetros de Weibull, con estos parámetros se halla los UT y DT calculados para hallar la disponibilidad y para aplicar Weibull y hallar la distribución de fallas acumuladas y con esta la confiabilidad cuando utilizó los UT y Mantenibilidad cuando utilizo los DT.

La disponibilidad normal o estándar se obtiene por medio de la ecuación:

$$A_{\text{standard}} = \frac{UT}{UT + DT}$$

Para hacer los cálculos por el método de elementos de maquinas hay que hallar la tasa de fallos para el componente. Para elementos electrónicos los métodos modelan la fiabilidad del componente en función de la temperatura, estrés, tipo de encapsulado, calidad, ambiente en el que va a trabajar, madurez de la tecnología, etc.

Para predicción de la tasa de fallos se puede utilizar el siguiente manual: MIL-HDBK-217F Desarrollado por el departamento de Defensa de EE.UU.

Este manual es básico y constituye la base de otros manuales. Éste establece la forma de calcular valores de tasa de fallos mediante expresiones que tienen la forma general:

$$\lambda_p = \lambda_b \times [\pi_1 \times \pi_2 \times \pi_3 \times \dots \times \pi_n]$$

En la anterior ecuación λ_p representa la tasa de fallos de componente en [Fallos/10⁶Horas], λ_b representa la tasa de fallos base del componente en [Fallos/10⁶Horas], y los factores Π son factores de corrección y de maduración, que permiten ajustar la tasa de fallos según la calidad del componente, el ambiente en el que vaya a trabajar, la tecnología utilizada.

La siguiente tabla contiene los parámetros necesarios para hallar la tasa de fallos de resistencias de película metálica

$\lambda_p = \lambda_b * \pi_R * \pi_Q * \pi_E \left[\frac{\text{Fallos}}{10^6 \text{ horas}} \right]$
$\lambda_b = 3,25 * 10^{-4} * e^{\left[\frac{T+273}{343} \right]^3} * e^{\left[\frac{s(t=273)}{273} \right]}$
Π_R (factor de resistencia): varía entre 1 y 5 según el tipo de resistencia
Π_Q (factor de calidad): varía entre 0,003 y 15 según la calidad del componente
Π_E (factor ambiental): varía entre 1 y 490 según el ambiente de trabajo del componente

Teniendo la tasa de fallos se puede hallar la confiabilidad del equipo según la fórmula siguiente

$$R(t) = \exp^{-\lambda t}$$

Como en este caso también es necesario hallar la mantenibilidad y la disponibilidad del sistema es necesario seguir el procedimiento de rangos de mediana que se hizo en el modelo estadístico.

CONCLUSIONES

- La medición de los parámetros de fiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad ayudan al ingeniero de mantenimiento en la predicción, evaluación y mejora de sus decisiones respecto a la facilidad, precisión, seguridad y economía de todas las tareas relativas al mantenimiento en estado de funcionamiento de los sistemas durante su uso.
- Los índices de CMD generan acciones de mantenimiento a largo plazo para prevenir las fallas antes de que estas ocurran.
- El comportamiento futuro de un equipo, se puede graficar apoyándose en conceptos de probabilidad y estadística, de tal forma que se obtenga una descripción bastante cercana del patrón de fallas que tendrá probablemente el equipo en el futuro.
- En el caso de diseño las predicciones de la confiabilidad para cada alternativa del diseño proporcionan una medida que combinada con otras consideraciones, ayudarán a seleccionar la mejor de las opciones para una aplicación requerida.
- Cuando se hacen cambios de diseño de equipos en confiabilidad, estos puede ser determinado solamente comparando las predicciones de la confiabilidad de los diseños existentes y propuestos.

BIBLIOGRAFÍA

Libros

- Ávila, Rubén. Fundamentos de Mantenimiento: Guías Económicas, Técnicas y Administrativas. México DF. México: Editorial Limusa S.A., 1992.
- Bazovsky, Igor. Reliability Theory and Practice: Englewood Cliffs. NJ USA: Editorial Prentice Hall Inc, 1961.
- Billinton, Roy y Allan, Ronald. Reliability Evaluation of engineering Systems. London, Great Britain: Pitman Advanced Publishing Program, 1983
- Blanchard, Benjamín S; Verma, Disnesh y Peterson, Elmer. Maintainability: A key to Effective Serviceability and Maintenance Management. New York USA: John Wiley & Sons Inc , 1995
- Calabro; S.R. Reliability Principles and Practices. New York USA: Editorial McGraw-Hill Companies, Inc, 1962.
- Días Matalobos, Ángel. Confiabilidad en mantenimiento. Caracas Venezuela: Ediciones IESA, 1992.
- Kapur, K.C. Y Lamberson L.R. Reliability in Engineering Design. New York USA: John Wiley & Sons, Inc, 1997.
- Kelly, A. Y Harris, M.J. Gestión del mantenimiento industrial. Madrid España: Fundaciones REPSOL, 1998.
- Knezevic, Jezdimir. Mantenibilidad. Madrid España: ISDEFE, 1996.
- Nachlas, Joel A. Fiabilidad. Madrid España: ISDEFE, 1995
- Navarro Elola, Luis; Pastor Tejedor, Ana Clara y Mugaburu Lacabrera, Jaime Miguel. Gestión Integral de Mantenimiento. Barcelona España: MARCOMBO Boixareu Editores, 1997.
- Rojas, Jaime. Introducción a la Confiabilidad. Bogota Colombia: Universidad de los Andes, 1975.

Publicaciones Seriadadas

- Acevedo, Marcos. Fiabilidad de componentes, circuitos, y sistemas electronicos. En: Revista Mundo Electronico. Volumen Número 0, Numero. 341,2003.
- Brawn, Amy. fiabilidad Proactiva trasforma el mantenimiento. En: Revista Evolution. Volumen Número 0, Numero 2, 2002.
- Darnes, Pedro. Participación de mantenimiento en la competitividad industrial. En: Revista Mantenimiento. Febrero de 1996.
- Forcadas, Jorge. Confiabilidad en los sistemas. En: Revista SAI. Volumen Número 1, numero 4, 1983.
- Lezana, E. La fiabilidad como primer objetivo de mantenimiento. En: Revista Ingeniería Química. Volumen Número 33, Número 4, 2001.
- Moubray, Jhon. Estrategias del mantenimiento un nuevo paradigma. En: Revista Mantenimiento. Noviembre de 1997.
- Ordóñez, Héctor. Análisis estadístico para predecir la confiabilidad en un equipo. En: Revista Ingeniería de Mantenimiento. Volumen Número.0, Número 6, 1992.
- Rey, Francisco. Gestión de la mejora continúa en el mantenimiento. En: Revista Mantenimiento. Marzo de 1999.
- Tresserra, Agustí. Leyendo con otros ojos la historia del mantenimiento. En: Revista Mantenimiento. Diciembre de 1996.

Internet

- Abernathy, Robert. Fundamentos del Análisis de Weibull. [en línea]. Julio 2003. Disponible en Internet <<http://www.klaron.net/Articulos%20-%20Confiabilidad.htm>>.
- Almendola, Luis. Indicadores de confiabilidad propulsores en la gestion de mantenimiento. Septiembre de 2003. Disponible en Internet. <<http://www.klaron.net/Articulos%20-%20Confiabilidad.htm>>
- Ángel, Antonio. Fiabilidad conceptos básicos. [en línea]. Julio 2000. [citado en 18 Junio de 2002]. Disponible en Internet <www.uoc.edu/in3/emath/docs/Fiab_1.pdf>.
- Briet, Timoteo. Análisis de fiabilidad y Seguridad de productos. Agosto 2003. Disponible en Internet <www.psicomecanica.com/fugas/tim/fiabi.pdf>.
- De la Puente, Juan Antonio. Fiabilidad y tolerancia de fallos. [en línea]. 2001. Disponible en Internet <<http://polaris.dit.upm.es/~jpuente/strl/transparencias/Fiabilidad.pdf>>.
- Duran, José Bernardo. Haciendo que RCM trabaje para su empresa. 2003. Disponible en Internet <<http://www.cides.cl/articulos/>>
- Ellman, Enrique. Mantenimiento centro de beneficios. Agosto de 2003. Disponible en Internet <<http://www.puntex.es/mantenimiento/147/pensando147.htm>>
- Mantenimiento, Reliability y Confiabilidad : RCM. Septiembre 2003. Disponible en Internet. <http://www.solomantenimiento.com/m_confiabilidad_crm.htm>
- Mather, Daryl. Confiabilidad Y Seguridad. Septiembre 2003. Disponible en Internet. <<http://www.klaron.net/Articulos%20-%20Confiabilidad.htm>>
- Pérez, Carlos Mario. Camino Hacia el RCM. [en línea]. Julio 2003. Disponible en Internet <<http://www.klaron.net/Articulos%20-%20Confiabilidad.htm>>
- Pérez, Carlos Mario. Otras Versiones RCM. [en línea]. Julio 2003. Disponible en Internet <<http://www.soporteycia.com.co/documentos>>
- Pérez, Carlos Mario. Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad. [en línea]. Julio 2003. Disponible en Internet <<http://www.soporteycia.com.co/documentos>>
- RCM. Reliability Centered Maintenance. Septiembre 2003. Disponible en Internet. <<http://maconsultora.com/rcm.html>>.
- Weibull Distribution. [en línea]. Julio 2000. [citado en 15 Agosto de 2001]. Disponible en Internet <http://www.weibull.com/LifeDataWeb/weibull_distribution.htm>.

Normas

- Military Stadard. Electronic Reliability Desing. Washinton D.C. USA: Department of Defense, 1998. MIL-HDBK-338.
- Military Stadard. Reliability Prediction of electronic equipment. Washinton D.C. USA: Department of Defense, 1995. MIL-HDBK-217

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

Cuaderno 20 - Junio 2004

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

Departamento de Ingeniería de Procesos

Cuaderno 21 - Agosto 2004

**ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS DE LA
AVENIDA TORRENCIAL DEL 31 DE ENERO DE
1994 EN LA CUENCA DEL RÍO FRAILE Y
SUS FENÓMENOS ASOCIADOS**

Juan Luis González, Omar Alberto Chavez,
Michel Hermelín

Cuaderno 22 - Agosto 2004

**DIFERENCIAS Y SIMILITUDES EN LAS
TEORÍAS DEL CRECIMIENTO ECONÓMICO**

Marleny Cardona Acevedo, Francisco Zuluaga
Díaz, Carlos Andrés Cano Gamboa,
Carolina Gómez Alvis

Cuaderno 23 - Agosto 2004

GUIDELINES FOR ORAL ASSESSMENT

Grupo de investigación Centro de Idiomas

Cuaderno 24 - Octubre 2004

**REFLEXIONES SOBRE LA INVESTIGACIÓN
DESDE EAFIT**

Dirección de investigación y Docencia

Cuaderno 25 - Septiembre 2004

**LAS MARCAS PROPIAS DESDE
LA PERSPECTIVA DEL CONSUMIDOR FINAL**

Belisario Cabrejos Doig

Cuaderno 26 - Febrero 2005

PUBLICACIONES Y PONENCIAS -2004-

Dirección de investigación y Docencia

Cuaderno 27 - Marzo 2005

***EL MERCADEO EN LA INDUSTRIA DE
LA CONFECCIÓN - 15 AÑOS DESPUÉS -***

Belisario Cabrejos Doig

Cuaderno 28 - Abril 2005

***LA SOCIOLOGÍA FRENTE A
LOS ESPEJOS DEL TIEMPO: MODERNIDAD,
POSTMODERNIDAD Y GLOBALIZACIÓN***

Miguel Ángel Beltrán, Marleny Cardona Acevedo

Cuaderno 29 - Abril 2005

“OXIDACIÓN FOTOCATALÍTICA DE CIANURO”

Grupo de Investigación Procesos Ambientales y
Biotecnológicos. GIPAB

Cuaderno 30 - Mayo 2005

***EVALUACIÓN A ESCALA DE PLANTA PILOTO DEL
PROCESO INDUSTRIAL PARA LA OBTENCIÓN
DE ACEITE ESENCIAL DE CARDAMOMO, BAJO
LA FILOSOFÍA “CERO EMISIONES”***

Grupo de Investigación Procesos Ambientales y
Biotecnológicos. GIPAB

Cuaderno 31 - Mayo 2005

***LA DEMANDA POR FORMACIÓN PERMANENTE
Y CONSULTORÍA UNIVERSITARIA***

Enrique Barriga Manrique

Cuaderno 32 - Mayo 2005

***ARTÍCULOS DE LOS PROYECTOS DE GRADO
REALIZADOS POR LOS ESTUDIANTES DE
INGENIERÍA MECÁNICA QUE SE GRADUARON
EN EL AÑO 2004***

Escuela de Ingeniería

Departamento de Ingeniería Mecánica

Copias disponibles en:

www.eafit.edu.co/investigacion/cuadernosdeinv.htm