



UNIVERSIDAD EAFIT

Abierta al mundo

Acreditada Institucionalmente por el Ministerio de Educación Nacional

ISSN 1692-0694

**ARTÍCULOS DE LOS PROYECTOS DE GRADO
REALIZADOS POR LOS ESTUDIANTES
DE INGENIERÍA MECÁNICA
QUE SE GRADUARON EN EL AÑO 2005**

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

ESCUELA DE INGENIERÍA

Medellín, Junio de 2006

DOCUMENTO 43-062006

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

Los contenidos de este documento son responsabilidad de los autores.

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

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN. ABSTRACT. AUTOR	1
INTRODUCCIÓN	3
ELEMENTOS FINITOS EN EL DISEÑO ESTRUCTURAL DE PRODUCTOS FABRICADOS CON MATERIALES COMPUESTOS	5
ANÁLISIS DINÁMICO DE SISTEMA DE SUSPENSIÓN VEHICULAR	12
EVOLUTIONARY ALGORITHMS APPLIED TO SHAPE OPTIMIZATION OF 3-D STRUCTURES	21
EL CONFORT EN VEHÍCULOS FERROVIARIOS DE PASAJEROS	28
CARACTERIZACIÓN Y ANÁLISIS ENERGÉTICO DE UNA CELDA DE COMBUSTIBLE PEM	38
DISEÑO Y PROGRAMACIÓN DEL PORTAL PARA INTERNET DEL ÁREA DE MANTENIMIENTO	50
ESTRATEGIAS APLICABLES AL SECTOR AUTOMOTRIZ EN COLOMBIA, EN UN MARCO DE TRATADOS DE LIBRE COMERCIO	57
ESTUDIO SOBRE LA MANTENIBILIDAD DE UNA EMPRESA APLICADO A C. I. COLAUTO	63
IMPLEMENTACIÓN DE LAS 5S Y CONTROL VISUAL EN EL TALLER AUTOMOTRIZ CASA MECÁNICA LTDA.	71
IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE INDICADORES PARA LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO DE UNA EMPRESA TEXTILERA	76
IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN DE MANTENIMIENTO AM (ADMINISTRADOR DE MANTENIMIENTO) EN LA EMPRESA INDUSTRIA COOPERATIVA DE MARINILLA "INCOOMAR CTA."	89
ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE UN SISTEMA DE REUBICACIÓN DE ANCLAS EN DRAGAS DE SUCCIÓN PARA MINEROS S.A.	97
ACTUADOR CNC DE CORTE TIPO CUCHILLA PARA CARTÓN Y CUERO	102
ESTUDIO SOBRE EL SISTEMA DE CAMBIOS-RÁPIDOS DE REFERENCIA EN LA INDUSTRIA DE MECANIZADOS CNC, BAJO LA FILOSOFÍA SMED	113
APLICACIÓN DE LOGÍSTICA INVERSA Y MEDIO AMBIENTE EN UNA EMPRESA DE MANEJO INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS	118
PRE-DISEÑO DE UN ARTEFACTO DE PLASMA PARA EL RECUBRIMIENTO SUPERFICIAL DE HERRAMIENTAS	124
DISEÑO DE UN VEHÍCULO DE TRANSPORTE PERSONA TIPO TRICICLO INCLINABLE	133
PROACTIVO: ¿TÁCTICA O ACCIÓN DE MANTENIMIENTO?	140
ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE CARBONATO DE CALCIO MICRONIZADO	146
ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA PRODUCCIÓN INDUSTRIAL DE QUESO MOZARELLA Y AREQUIPE DERIVADOS DE LA LECHE DE BÚFALA	151
APLICACIÓN DE UNA HERRAMIENTA DE INGENIERÍA ASISTIDA POR COMPUTADOR PARA EL ANÁLISIS UNIDIMENSIONAL DE TORNILLOS DE EXTRUSIÓN DE TERMOPLÁSTICOS	155

APLICACIÓN DE ESTRATEGIAS DE MEJORAMIENTO CONTINUO EN UN CENTRO DE COLISIÓN AUTOMOTRIZ	159
ESTUDIO DE LAS VARIABLES EN UNA VÁLVULA CHEQUE DE ANILLO DESLIZANTE DE UNA INYECTORA DE TERMOPLÁSTICOS	165
CONTROL INICIAL APLICADO A LA INTRODUCCIÓN DE UN NUEVO VEHÍCULO EN EMPRESA DE TRANSPORTE PÚBLICO	171
GESTIÓN DEL DESARROLLO DE MANTENIMIENTO EN LAS PYMES DEL SECTOR METALMECÁNICO DEL VALLE DE ABURRÁ: ESTADO ACTUAL Y PROYECCIÓN DE LOS INDICADORES DE GESTIÓN	178
DESARROLLO DE UN SOFTWARE CAD PARA LA INDUSTRIA DE LA CONFECCIÓN	183
ESTUDIO DEL CIRCUITO HIDRÁULICO DE REFRIGERACIÓN DE UN SISTEMA DE INYECCIÓN DE PLÁSTICO	188
IMPLEMENTACIÓN MÉTODO FLASH AUDIT	193
DESARROLLO DE UN PROCESADOR COMPUTACIONAL DE SEÑALES APLICADO AL DIAGNÓSTICO TÉCNICO	199
MODELO REGRESIVO DE DIAGNÓSTICO TÉCNICO PARA LA INTERFASE VÍA-VEHÍCULO DE UN SISTEMA FERROVIARIO ...	205
ESTADO ACTUAL DE LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO DE LAS PYMES DEL SECTOR METALMECANICO DEL VALLE DE ABURRÁ	209
METODOLOGÍA PARA LA OBTENCIÓN DE FORMAS COMPLEJAS MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE MESAS ROTATORIAS EN MÁQUINAS CNC	213
GUÍA DE LABORATORIO PARA LA SIMULACIÓN DE MODOS DE FALLA EN UN SISTEMA DE BOMBEO DE LA UNIVERSIDAD EAFIT	219
CARACTERIZACIÓN DINÁMICA DE LA SUSPENSIÓN ELÁSTICA DEL MOTOR DE TRACCIÓN DEL VEHÍCULO DE PASAJEROS DEL METRO DE MEDELLÍN	226
EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO DE UNA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA PARA REFRIGERACIÓN EN UNA EMPRESA FLEXOGRÁFICA	231
DISEÑO DE UNA PLANCHA INDUSTRIAL DE VAPOR ALIMENTADA POR GRAVEDAD	236
ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN VEHÍCULO HÍBRIDO	239
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA ELÍPTICA DADA UNA TRAYECTORIA	246
ANÁLISIS DE ESFUERZOS HERTZIANOS DE ELEMENTOS DE MÁQUINAS EN MATLAB	252
IMPLEMENTACIÓN COMPUTACIONAL USANDO EL MÉTODO DE COLOCACIÓN CON FUNCIONES DE BASE RADIAL PARA EL MODELO DE STOKES EN 2D DE FLUIDOS NEWTONIANOS CON APLICACIONES EN FLUJOS DE POLÍMEROS	257
MEJORAMIENTO ORGANIZACIONAL MEDIANTE LA IMPLANTACIÓN DE LA FILOSOFÍA DE 5S: CASO MICROPLAST S.A.	273
SELECCIÓN DE LAS VARIABLES QUE TIENEN RELACIÓN DE CAUSALIDAD DIRECTA O ESTRUCTURAL CON LA IMPLANTACIÓN DEL TPM: REVISIÓN DEL CASO SOFASA S.A.	282
ANÁLISIS DE LOS ESFUERZOS EN LA INTERFASE VÍA VEHÍCULO USANDO ELEMENTOS FINITOS	290

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 2005. La información de cada artículo, contiene el área de énfasis (Diseño en Sistemas Técnicos, Mantenimiento Industrial y Proyectos de Sistemas Técnicos), el asesor principal del trabajo de grado, el sector beneficiado, el resumen en español y en inglés con las palabras claves en los dos idiomas y los resultados del trabajo de grado.

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

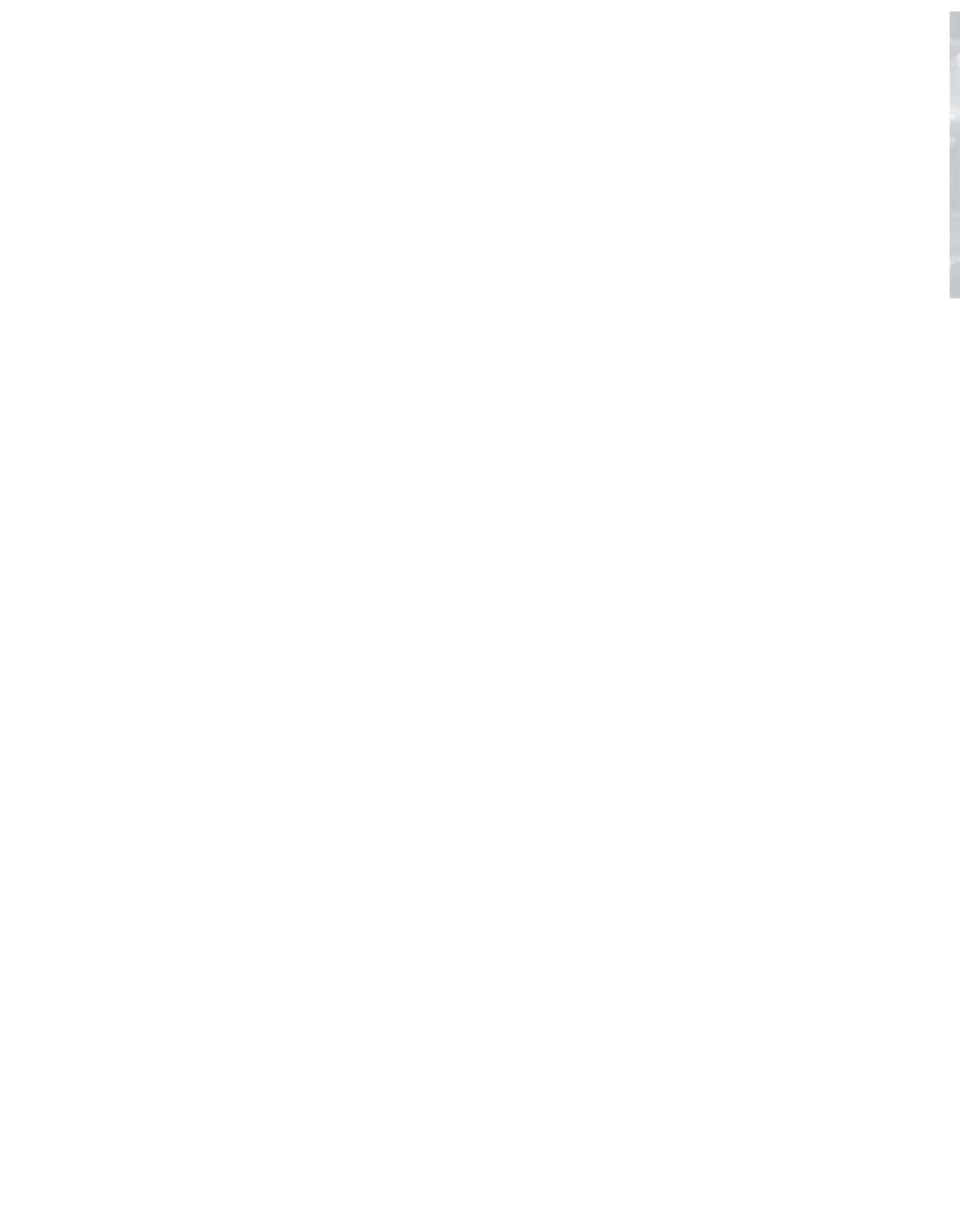
ABSTRACT

This document presents the articles of the final year undergraduate of the Department of Mechanical Engineering at EAFIT University in 2005. Each article contains information about the area of interest (Design of Technical Systems, Industrial Maintenance and Projects of Technical Systems), the main adviser, institution who benefited from the project and the Spanish and English summary with key words in English and Spanish. Some of the articles are included in their full length version.

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

AUTOR

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





INTRODUCCIÓN

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

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

La aplicación del conocimiento de las áreas de Diseño de Sistemas Técnicos, Mantenimiento Industrial y Proyecto de Sistemas Técnico, por parte de los egresados de la carrera de Ingeniería Mecánica, han beneficiado al medio industrial nacional e internacional en empresas tan importantes como lo son: Fabricato Tejicóndor S.A., Incoomar CTA, Mineros S.A., Residuos Ecoeficiencia S.A., Autopalacio S.A., IMSA, Plásticos Truher S.A., Metro de Medellín, Instituto de Capacitación e Investigación del Plástico y del Caucho – ICIPC., Microplast S.A., C.

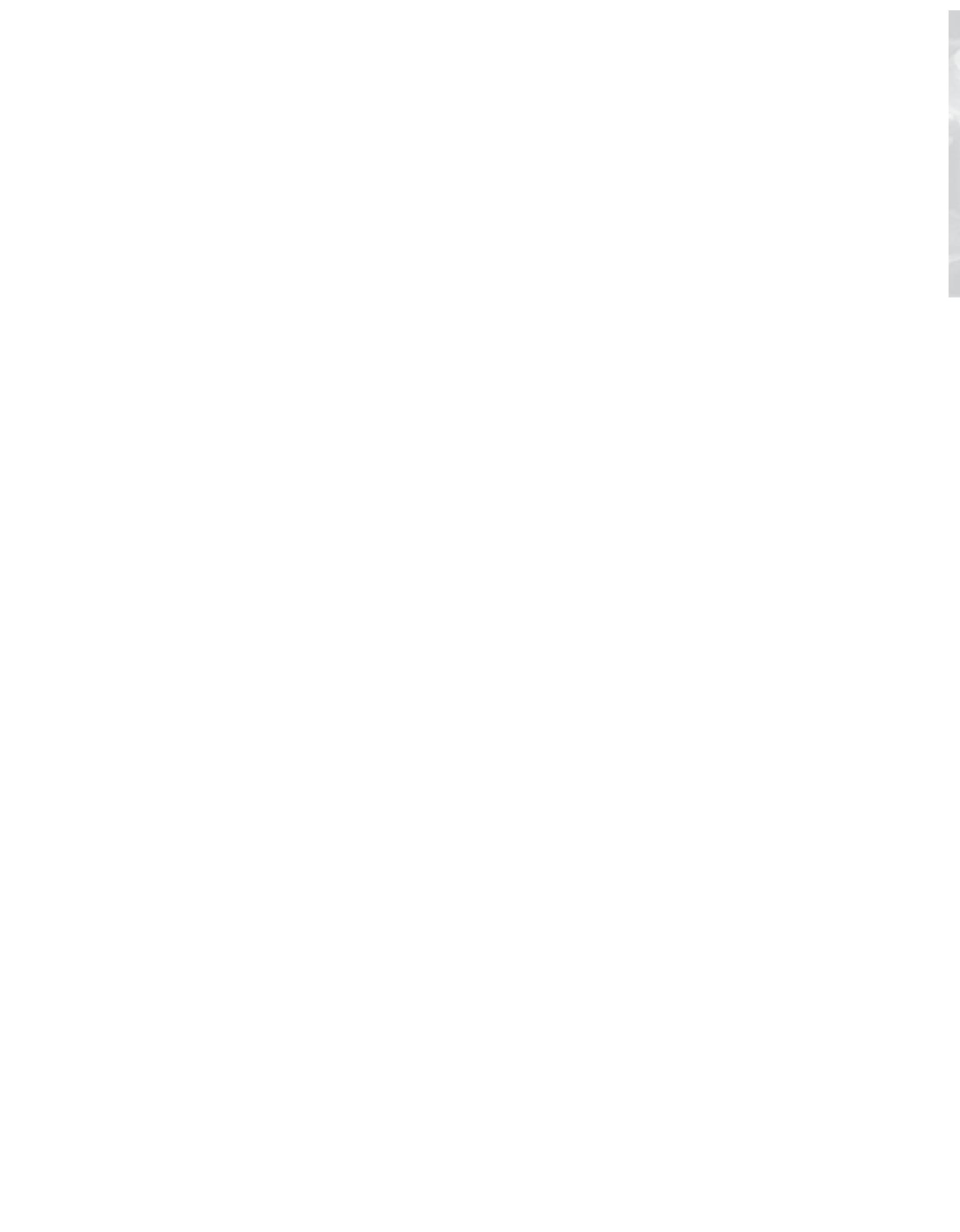
I. Colauto entre otras no menos importantes. Proyectos con un importante desarrollo como los titulados “Evolutionary algorithms applied to shape optimization of 3-d structures” del ingeniero Miguel Alejandro Henao García, “Elementos finitos en el diseño estructural de productos fabricados con materiales compuestos” del autor Andrés Felipe Franco Bedoya y “Análisis dinámico de sistema de suspensión vehicular” de autor Ronald M. Martinod R, fueron candidatizados como los mejores proyectos de grado del año 2005.

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

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

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

LEONEL FRANCISCO CASTAÑEDA HEREDIA
Coordinador de Proyecto de Grado



ELEMENTOS FINITOS EN EL DISEÑO ESTRUCTURAL DE PRODUCTOS FABRICADOS CON MATERIALES COMPUESTOS

ANDRÉS FELIPE FRANCO BEDOYA, afrancob@eafit.edu.co
LUIS SANTIAGO PARÍS LONDOÑO, lparis@eafit.edu.co
Departamento de Ingeniería mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS

DISEÑO DE SISTEMAS TÉCNICOS

ASESOR PRINCIPAL

LUÍS SANTIAGO PARÍS LONDOÑO

EMPRESA

UNIVERSIDAD EAFIT

RESUMEN

En el presente trabajo se muestra una metodología de diseño de elementos estructurales fabricados con materiales compuesto, incluyendo el método de los elementos finitos como herramienta de análisis y cálculo. Para ilustrar la metodología se evalúa una rejilla fabricada en poliéster reforzado con fibra de vidrio, se realiza en análisis de esfuerzos usando el programa comercial ANSYS 8.1 y se validan las simulaciones por medio de ensayos mecánicos. La validación muestra efectividad en el uso de los elementos finitos como herramienta que puede ser incorporada en el proceso de diseño.

ABSTRACT

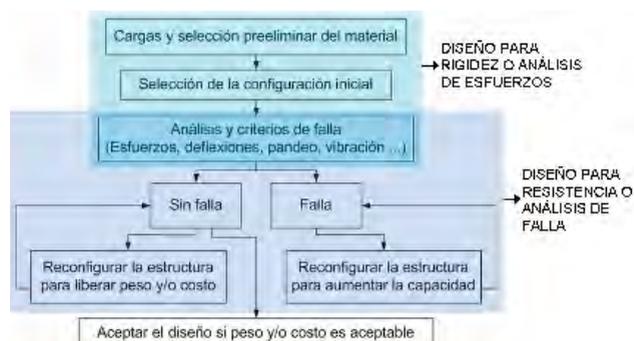
In this paper is presented a methodology for design structural elements fabricated whit composites, using de the finite element method to analyze and calculate the structures. In the way of illustrate the methodology, was tested a fiberglass grating, in which was carry on stress analysis using a commercial finite element code ANSYS

8.1. and the simulations was validated using mechanicals tests. The results show agreement in the using of the finite element method in structural design process of composite materials.

1. INTRODUCCIÓN

El diseño con materiales compuestos introduce un mayor número de variables, debido a que el material se diseña y se construye de manera concurrente con la estructura. Estos grados de libertad adicionales permiten al diseñador controlar tanto la rigidez (diseño para rigidez o análisis de esfuerzos) como la resistencia (diseño para resistencia o análisis de falla) y ambas características deben considerarse para llevar a cabo satisfactoriamente el diseño mecánico de una estructura fabricada con materiales compuestos (Barbero, 1998, 5). En la Figura 1 se muestra un esquema del proceso general de diseño de estructuras y materiales compuestos.

FIGURA 1. Proceso general de diseño de estructuras en composites



En el caso del diseño de estructuras con materiales compuestos las secuencias de cálculo pueden llevarse a cabo usando el método de los elementos finitos, pero el hecho que se utilice esta técnica numérica no elimina el criterio del diseñador, sólo facilita el proceso y amplía el panorama de las aplicaciones (Jones, 1998, 373).

Para la metodología de diseño adoptada, los elementos finitos se incorporan como un medio para la determinación del estado de tensiones de estructuras con relativa complejidad. Como puede verse en la Figura 2, el método se usa tanto en el análisis de esfuerzo como en el análisis de falla.

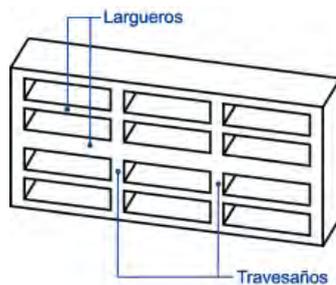
FIGURA 2. El método de los elementos finitos en el proceso de diseño



2. CASO DE ESTUDIO. REJILLA EN POLIÉSTER REFORZADO CON FIBRA DE VIDRIO (PRFV)

Una rejilla es un arreglo conformado por la unión entre barras que actúan como largueros y travesaños en la disposición mostrada en la Figura 3, con el fin de soportar y transmitir las cargas aplicadas en sentido perpendicular a éstas (FGMC, 2005).

FIGURA 3. Descripción general de la rejilla



Como constantes de diseño se impone un valor admisible de la magnitud de la deflexión máxima. Debido al módulo de elasticidad del PRFV, que es relativamente bajo con respecto a otros materiales, al cumplirse el criterio de deflexión se garantiza resistencia en la estructura, incluso con altos factores de seguridad (FGMC, 2005).

Se dispuso de especímenes de dimensiones 185x33x13 mm, con los cuales se realizó incineración de las muestras, con base en la norma ASTM D3171. Los resultados obtenidos de este ensayo son los que finalmente son usados para el cálculo de las propiedades de la estructura y se presentan en la Tabla 1.

TABLA 1. Propiedades de los materiales constituyentes

PROPIEDAD	FIBRAS (f)	RESINA (m)
Módulo de elasticidad (E)	72,5 GPa	4,6 GPa
Relación de Poisson (ν)	0,22	0,38
Resistencia a la tensión	3,4 MPa	90 MPa
Módulo de rigidez al cortante (G)	29,7 GPa	1,7 GPa
Densidad (ρ)	2580 kg/m ³	1220 kg/m ³
Porcentaje en peso	42,33 %	57,67 %

(BASF, 2000, 1) (Miravete, 2000, 21) (Vaughan, 1998, 135) (Barbero, 1998, 17)

Las propiedades teóricas del material se calculan por medio de las ecuaciones (1), que corresponden a los modelos micromecánicos para fibras continuas unidireccionales (Miravete, 2000, 196), tienen como parámetros de entrada las propiedades de los materiales constituyentes y el porcentaje volumétrico reportados en la Tabla 1.

$$E_1 = V_f E_f + (1 - V_f) E_m$$

$$G_{12} = \frac{G_m (1 + 0.6 V_f^{0.5})}{(1 - V_f)^{1.25} + \frac{V_f}{(1 - \nu_m^2)}} \quad (1)$$

$$E_2 = \frac{E_m}{(1 - \nu_m^2)(1 + 0.85 \nu_f^2)} \frac{E_m V_f}{(1 - V_f)^{1.25} + \frac{E_f}{1 - \nu_m^2}}$$

$$\nu_{12} = V_f \nu_f + (1 - V_f) \nu_m$$

Finalmente el resultado del cálculo de las propiedades del composite se muestra en la Tabla 2.

TABLA 2. Propiedades elásticas teóricas

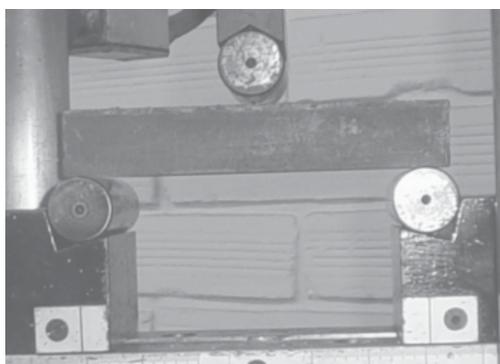
Propiedad	E_1	E_2	G_{12}	G_{23}	ν_{12}	ν_{23}
Magnitud	19.42 GPa	7.18 GPa	2.19 GPa	2.64 GPa	0.34	0.30

Validación de las propiedades

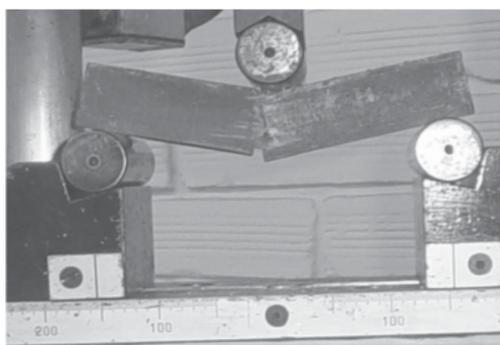
Con el fin de verificar cómo se ajustan los modelos teóricos al cálculo de las propiedades reales, se validan las magnitudes de las constantes elásticas y resistentes que serán usadas para el análisis por elementos finitos de la rejilla.

Se realizó el ensayo de flexión a tres puntos según la norma ASTM D790 En la Figura 4 se muestra uno de los especímenes fallados.

FIGURA 4. Ensayo a flexión en tres puntos sobre probetas de una rejilla



Estado inicial



Fallada a flexión

Para la simulación se utilizó el programa comercial de elementos finitos ANSYS 8.1. En la preparación del modelo numérico se utilizó de la librería de elementos de ANSYS, el denominado Shell181 (ver Figura 5). Este tipo de elemento permite discretizar geometrías planas (como áreas y superficies) y aplicar fuerzas y momentos fuera del plano, el espesor es ingresado como una constante real. Es especialmente usado para el análisis de estructuras con materiales compuestos (Ansys, 2004); la formulación matemática de éste puede encontrarse en (Yunus y otros, 1989).

En la malla de elementos finitos se empleó un total de 2618 nodos y 2418 elementos, los cuales poseen un tamaño promedio de arista de 1 mm, que garantiza que sea lo suficientemente fina y que todos los elementos tengan una relación de aspecto adecuada.

El principal resultado analizado es la deflexión en el sentido de aplicación de la carga (desplazamiento en la dirección z, que también puede denominarse como Uz), debido a que este valor es el registrado durante el ensayo real por medio de la máquina universal. Al comparar los resultados reales (máquina universal de laboratorio de materiales) con los virtuales (simulación por elementos finitos), se encuentra una diferencia del orden de 48%, siendo mayor la obtenida durante el ensayo, en la Tabla 3 se muestra el resumen de los resultados encontrados.

TABLA 3. Comparación del ensayo de flexión a tres puntos en especímenes de la rejilla, usando el elemento SHELL181

Carga (kN)	Deflexión máxima real (mm)	Deflexión elementos finitos (mm)	Diferencia (%)
2,41	1,00	0,52	48,00
3,85	1,50	0,83	44,67
5,30	2,00	1,18	41,00

Considerando que la geometría del espécimen de la rejilla no cumple las premisas de una placa, se selecciona un elemento más adecuado para la geometría particular de la probeta. En este caso sería más eficiente utilizar un elemento tipo viga, correspondiente al elemento BEAM 188 de la librería de ANSYS, el cual en su formulación matemática se describen mejor los efectos de flexión

de este tipo de estructuras. A diferencia del modelo de lamina, la geometría que se discretizó fue una línea. La malla de elementos finitos fue construida con 187 nodos y 186 elementos. En la Tabla 4 se presenta un comparativo entre los resultados virtuales y reales. La diferencia máxima del 18 % con respecto al ensayo real indica que las propiedades si son adecuadas, pero que el modelo de placas no se aplica para las dimensiones y geometría de la probeta.

TABLA 4. Comparación del ensayo de flexión a tres puntos en especímenes de la rejilla, usando el elemento BEAM188

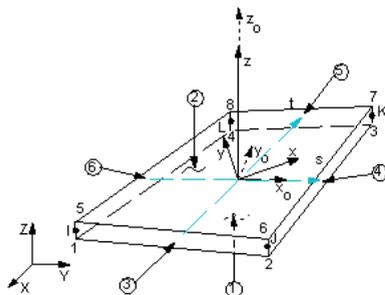
Carga (kN)	Deflexión máxima real (mm)	Deflexión elementos finitos (mm)	Diferencia (%)
2,41	1,00	0,86	14,00
3,85	1,50	1,77	18,00
5,30	2,00	2,29	14,50

Análisis de esfuerzos

Debido a que es un producto existente y que posee una geometría y composición definida, se toma como selección inicial la configuración actual de la rejilla.

En este caso se utilizó el elemento Shell181, el cual es ideal para analizar estructuras moderadamente delgadas. Es un cuadrilátero de 4 nodos con 6 grados de libertad en cada nodo, posee funciones de interpolación lineal y sus grados de libertad son desplazamientos en x , y , z (U_x , U_y y U_z) y rotaciones en x , y y z ($RotX$, $RotY$, $RotZ$). La representación geométrica de este y el sistema de coordenadas se muestran en la figura 5.

FIGURA 5. Elemento Shell 181 (Ansys, 2004)



Se usaron las mismas propiedades del material y constantes reales que el modelo de los especímenes evaluados a flexión (ver Tabla 2). Se discretiza la geometría con el elemento mencionado. El tamaño de arista por elementos se definió de un milímetro de modo la malla fuera lo suficientemente fina y los elementos no presentarían distorsiones. Posee 9018 nodos y 7454 elementos.

Las condiciones de frontera corresponden a los casos de carga mostrados en la Figura 6. Según el estándar de la FGMC, la rejilla deberá cumplir los requerimientos de la Tabla 5.

FIGURA 6. Esquema de aplicación de cargas (FGMC, 2005)

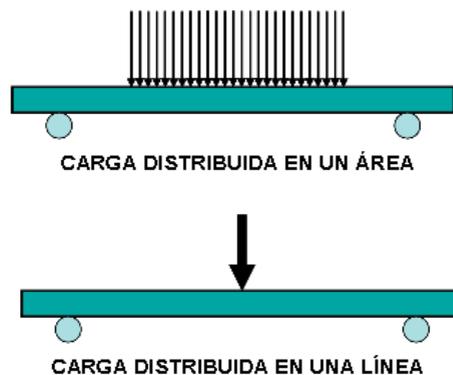


TABLA 5. Tabla de deflexiones en mm para una distancia entre apoyos de 400 mm (FGMC, 2005)

Carga en una línea (kN/m)	3	5	8	10	13
Deflexión (mm)	1,6	2,6	4,2	5,3	6,8
Carga en un área (kN/m ²)	3	5	8	10	13
Deflexión (mm)	0,4	0,7	1,1	1,3	1,7

El valor máximo obtenido de la solución del modelo numérico es el que finalmente se utiliza para calcular el factor de seguridad por deflexiones. En la Tabla 6 se presentan los resultados de la simulación. Puede notarse que estas cargas producen factores de seguridad satisfactorios, pero no elevados. Por tanto puede decirse que el diseño es adecuado. En la Tabla 7 se presenta los

valores para el caso de carga en un área, los factores de seguridad son ligeramente mayores, lo que demuestra que el caso más crítico es con la carga aplicada en una línea y es finalmente el que establece las condiciones de diseño. El factor de seguridad por deflexiones se calcula de acuerdo con la ecuación (2)

$$FS = \frac{\text{Def. Admisible}}{\text{Def. Calculada}} \quad (2)$$

TABLA 6. Resultados de la simulación para el caso de carga en una línea

Magnitud de la carga (kN/m)	Deflexión admisible según la FGMC	Deflexión obtenida en la simulación	Factor de seguridad
3	1,6	0,43	3,70
5	2,6	0,72	3,61
8	4,2	1,15	3,65
10	5,3	1,44	3,68
13	6,8	1,87	3,63

TABLA 7. Resultados de la simulación para el caso de carga en un área

Magnitud de la carga (kN/m ²)	Deflexión admisible según la FGMC	Deflexión obtenida en la simulación	Factor de seguridad
3	0,4	0,099	4,04
5	0,7	0,166	4,22
8	1,1	0,265	4,15
10	1,3	0,331	3,93
13	1,7	0,431	3,94

En este punto puede considerarse como terminado el análisis de esfuerzos, debido a que cumplió satisfactoriamente los requerimientos de diseño.

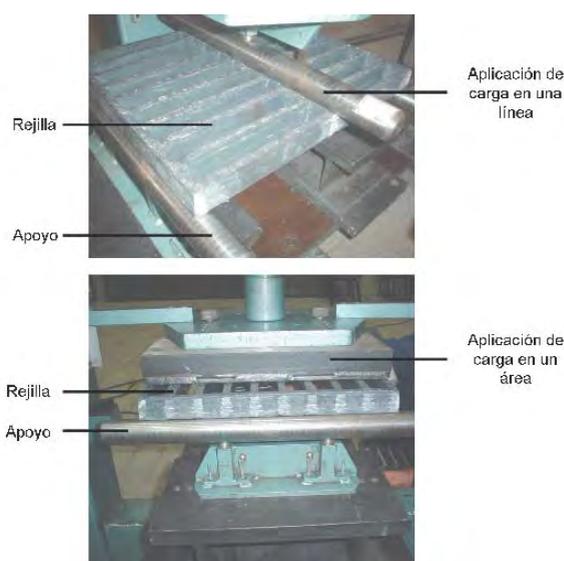
Validación del análisis de esfuerzos

En el proceso de desarrollo de productos y en especial cuando se usan técnicas computacionales, es importante evaluar experimentalmente el comportamiento de la estructura, con el fin de validar las simulaciones. El hecho que se utilice un software de elementos finitos,

como laboratorio virtual, no elimina los ensayos en prototipos reales, pero si los minimiza significativamente (Adams y Askenazi, 1999, 14).

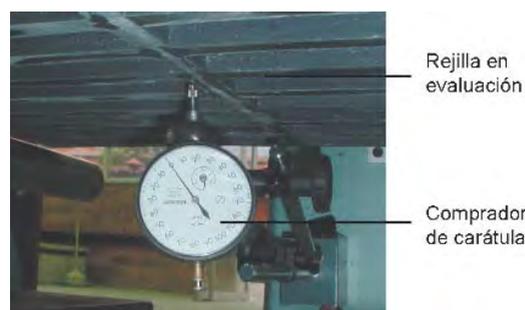
Con el fin de validar las simulaciones por elementos finitos, se realizaron pruebas de flexión en rejillas reales, se evaluó el comportamiento de las rejillas ante la acción de la carga aplicada en una línea y en un área. La disposición de los elementos en cada una de las pruebas se muestra en la Figura 7.

FIGURA 7. Montaje para la evaluación experimental de las rejillas



Para determinar la deflexión ante una carga conocida (para ambos casos de carga) se instaló un comparador de carátula en la parte inferior y en el centro del espécimen en prueba. En la Figura 8 se muestra este montaje.

FIGURA 8. Montaje del comparador de carátula



Como puede apreciarse en la Tabla 8 y Tabla 9, el modelo de elementos finitos describe de manera adecuada el modelo real, puesto que la el porcentaje de diferencia entre valores tomados experimentalmente y los obtenidos mediante la simulación por elementos finitos es relativamente bajo y por tanto no es necesario utilizar otro tipo de elemento (como en el caso de las probetas a flexión). Del mismo modo, en la Tabla 9 se aprecia que el porcentaje de diferencia aumenta drásticamente para el valor correspondiente a 15 kN, esto se debe principalmente a que durante el ensayo real se presenta una separación entre la placa que aplica la carga y la rejilla, por tanto la fuerza ya no se distribuye en la misma área inicial, y este efecto no es tenido en cuenta en el modelo de elementos finitos. Para describir este comportamiento sería necesario utilizar un modelo de contacto no lineal, que pueda representar la separación entre componentes e ir variado la zona de presión. En la referencia (Ansys, 2003), puede encontrarse información más detallada sobre estos modelos y su implementación en ANSYS.

TABLA 8. Resultados para el caso de carga distribuida en una línea

Carga (kN)	Deflexión experimental (mm)	Deflexión simulación (mm)	Diferencia (%)
8	2,78	3,11	10,50
10	3,56	3,82	6,81
12	4,38	4,66	5,99

TABLA 9. Resultados para el caso de carga distribuida en un área

Carga (kN)	Deflexión experimental (mm)	Deflexión simulación (mm)	Diferencia (%)
5	1,37	1,46	6,23
10	2,39	2,92	18,23
15	3,01	4,38	31,34

3. CONCLUSIONES

En el caso de las probetas a flexión, la diferencia entre el modelo real y el virtual fue del 48%; esto se debe a que el modelo numérico no es el más adecuado y no cumple las premisas de composites laminados ($L/h > 10$, donde h es el espesor total de la placa y L su longitud). Por tanto en ese caso no es un modelo numérico confiable para la validación de propiedades. De acuerdo con el modelo numérico, se recomienda utilizar una formulación de placas laminadas de primer o segundo orden que permitan describir lo que pasa a través del espesor, pero estos modelos aún están en desarrollo y no han sido lo suficientemente probados como para que sean usados en el diseño de productos. En este caso se utilizó también un elemento que no es específico para el análisis de materiales compuestos, pero que permite el cálculo de vigas con propiedades ortotrópicas, encontrándose resultados que validan las propiedades calculadas, al presentarse una diferencia máxima del 18 % con respecto al modelo real (ensayo de laboratorio).

El aspecto experimental no puede ser eliminado en el proceso de desarrollo de productos y puede ser utilizado principalmente para demostrar la confianza en los modelos numéricos. Tanto en el montaje de la rejilla como de la junta fue necesario contar con los dispositivos adecuados, tal como máquina universal, extensómetros eléctricos, comparador de carátula, entre otros, que permitan encontrar de manera confiable variables físicas y finalmente que puedan ser comparables.

BIBLIOGRAFÍA

- ADAMS, Vince. ASKENAZI, Abraham. Building better products with finite element analysis. Primera Edición. Editorial OnWord Press. Nuevo México. Estados Unidos. 1999. ISBN 1 56690 -160X. pp587.
- ANSYS. Release 8.1. Documentation Review and Approval Procedures. SAS IP, Inc. Pensilvania. Estados Unidos. 2004.
- ANSYS. Non linear contact analysis techniques using ANSYS. SAS IP, Inc. Pensilvania. Estados Unidos. 2003.
- BASF. Información técnica resina Palatal P6. Basf Química Chile. 2000.
- BARBERO, Ever J. Introduction to Composite Materials Design. Primera edición. Editorial Taylor & Francis Group. Filadelfia. Estados Unidos. 1998. ISBN 1 5603 2701 4. pp336.
- FIBERGLASSGRATINGMANUFACTURERSCOUNCIL. Fiberglass Grating Manual. American Composites Manufacturers Association - ACMA. Disponible en http://www.acmanet.org/fgmc/asce_standard.htm. 2005.
- JONES, Robert M. Mechanics of composite materials. Segunda edición. Filadelfia. Estados Unidos. Editorial Taylor & Francis Group. 1998. 1 5603 2712 X. 519p
- MIRAVETE, Antonio. Materiales Compuestos I. Primera edición. Publicado por INO Reproducciones S.A. Zaragoza. España. 2000. ISBN 84 921349 7 6.
- VAUGHAN, Denniss. Fiberglass Reinforcement. Handbook of composites. Segunda edición. Editorial Chapman & Hall. Londres. Inglaterra. 1998. pp131-155 ISBN 0 412 54020 7.
- YUNUS, S. KOHNKE, PC. SAIGAL S. An efficient through-thickness integration scheme in an unlimited layered doubly curved isoparametric composite shell element. International Journal for Numerical Methods in Engineering. Volumen 28. 1989 pp 2777 – 2793.

ANÁLISIS DINÁMICO DE SISTEMA DE SUSPENSIÓN VEHICULAR

RONALD M. MARTINO R. rmartino@eafit.edu.co
FABIO A. PINEDA B. fpineda@eafit.edu.co
Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS

DISEÑO DE SISTEMAS TÉCNICOS

ASESOR PRINCIPAL

INGENIERO FABIO A. PINEDA B.

EMPRESA

UNIVERSIDAD EAFIT - ÁREA DE DISEÑO.

RESUMEN

El presente artículo expone la síntesis de un análisis para un sistema dinámico de sus-pensión vehicular ferroviario, aplicado a un soporte de suspensión tipo bogie, el cual opera bajo condiciones normales de trabajo.

Aborda la construcción de las bases matemáticas que describen el comportamiento dinámico de un sistema simplificado, luego se construye progresivamente una serie de modelos computacionales, obteniendo una serie de sistemas con un grado mayor complejidad que apuntan a describir rigurosamente el sistema físico real. El análisis desarrollado implica plantear, mediante un proceso de identificación, la ecuación de transferencia que representa la dinámica del sistema.

ABSTRACT

The present article exposes the synthesis of dynamic analysis of railway suspension system, applied to suspension support type bogie, which operates under normal conditions of work.

It leaves then of the construction of mathematical bases to describe the dynamic behaviour of a simplified system, it is built a series of computational models, obtaining systems with bigger complexity, the point is to describe rigorously the real physical system. The developed analysis implies to formulate, by means of an identification process, the transfer equation that represents the dynamics of the system.

PALABRAS CLAVE

Bogie, identificación, masa suspendida, modelo en el espacio de estado, suspensión.

KEY WORD

Bogie, identification, damped mass, state space model, suspension.

INTRODUCCIÓN

Los métodos clásicos de valoración de impacto dinámico disponibles en ingeniería, son limitados. El análisis de estas estructuras exige técnicas numéricas de cálculo dinámico.

La industria ha advertido la importancia de predecir el comportamiento e interacción de los distintos sistemas técnicos. Se observa en la industria la creciente necesidad de realizar modelos fiables y flexibles, aptos para satisfacer las especificaciones cambiantes de diseño. El análisis de sistemas dinámicos mediante modelos computacionales, es una alternativa óptima por la capacidad de proveer ágilmente resultados precisos, haciendo uso de pocos recursos con alta accesibilidad.

El estudio de los comportamientos de sistemas dinámicos de componentes mecánicos, ha sido abordado comúnmente por estudios propios de mecanismos y control, los cuales analizan modelos matemáticos de sistemas mecánicos simples mediante la ley fundamental que los controla. En general se aplica la segunda ley de Newton a dichos sistemas mecánicos. Los resortes, amortiguadores y masas se han considerado como las formas básicas de los bloques funcionales en los sistemas mecánicos. Los resortes representan la rigidez del sistema; los amortiguadores, las fuerzas de oposición al movimiento, es decir, efectos de amortiguamiento y fricción, y las masas e inercia, resistencia a la aceleración. Se debe considerar que estos bloques funcionales tienen fuerzas en la entrada y desplazamientos en la salida del sistema.

El cuerpo del artículo expone una serie de sistemas: sistema reducido, sistema bogie-riel, sistema vagón-riel y sistema vagón-riel 3D. Éstos son desarrollados con el fin de obtener un modelo computacional que satisfaga las necesidades de análisis.

LISTA DE TÉRMINOS

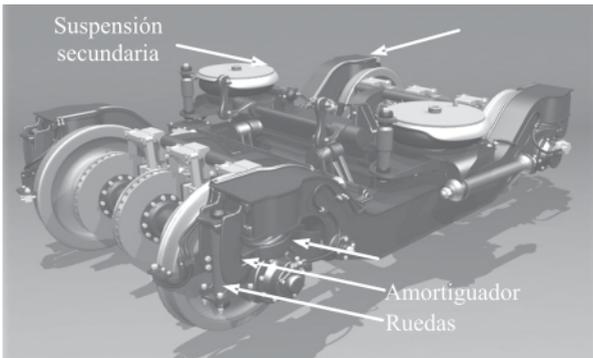
f	: Frecuencia.
\bar{f}_s \bar{f}_b	: Fuerza ejercida por un resorte.
$G(s)$: Fuerza ejercida por un amortiguador.
k	: Función de transferencia.
k_s	: Factor de disipación de energía
k_b	: Constante de rigidez.
M_u	: Constante de amortiguamiento.
M_s	: Masa no amortiguada.
M_v	: Masa amortiguada.
t_i	: Masa suspendida.
$\bar{U}(t)$: Tiempo en el instante i -ésimo.
\dot{X}	: Fuerza en la interfase rueda-riel.
Z_A	: Velocidad de fase de una onda viajera.
Z_i	: Amplitud de onda senoidal.
Z_r	: Posición inicial en dirección Z.
Z_s	: Nivel del riel.
Z_u	: Posición de la masa amortiguada, dirección Z
Z_v	: Posición de la masa no amortiguada.
\dot{Z}_s	: Posición de la masa suspendida.
\dot{Z}_u	: Rapidez de la masa amortiguada.
\dot{Z}_v	: Rapidez de la masa sin amortiguar.
\ddot{Z}_s	: Rapidez de la masa suspendida.
\ddot{Z}_u	: Aceleración de la masa amortiguada.
\ddot{Z}_v	: Aceleración de la masa sin amortiguar.
λ	: Aceleración de la masa suspendida.
Δt	: Longitud de onda.
Φ	: Periodo de muestra.
Υ	: Constante de fase.
ω	: Oscilación de bamboleo.
	: Frecuencia angular.

Conceptualización del Sistema de Suspensión

Los mecanismos de soporte de los trenes son el dispositivo que sostiene los motores y las ruedas en su lugar, asegurándolos al cuerpo del vehículo. En cierto sentido el soporte es el chasis. Existen básicamente dos tipos de mecanismos de soporte. En el primero de ellos el soporte sostiene el cuerpo del tren de acuerdo con

una sujeción en línea; en el segundo tipo de soporte, denominado tipo bogie, hay dos o más soportes pequeños que pueden girar respecto al cuerpo del tren. Este último, el tipo bogie, usado extensamente en sistemas ferroviarios, es aquél que compete y ocupa al artículo (véase figura 1). Todo bogie se compone por una suspensión primaria (resorte helicoidal y amortiguador) y secundaria (balona neumática),

FIGURA 1. Sistema de soporte tipo bogie



helicoidales con amortiguadores para reducir la tendencia natural del muelle a rebotar arriba y abajo, éstos actúan para amortiguar la mayor parte de los golpes.

La suspensión secundaria esta diseñada a partir balonas de aire sobre los que reposa el cuerpo del vehículo. Las balonas de aire se presurizan con aire, su volumen está controlado por una válvula de nivelación, la cual vigila constantemente la cantidad de aire en relación con el peso del tren al subir o bajar los viajeros.

Sistema Reducido

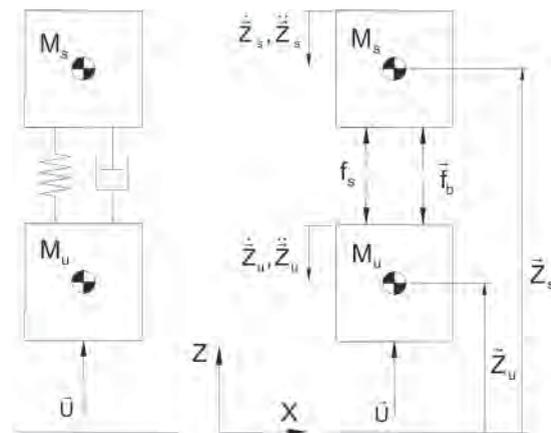
El sistema de suspensión reducido es un arreglo simplificado de dos masas, sometido a la acción de una perturbación \bar{U} . Está compuesto por dos masas conectadas por un resorte y un amortiguador (véase figura 2). Las posiciones del sistema, masa amortiguada y masa sin amortiguar, se denominan \bar{Z}_s y \bar{Z}_u respectivamente. El sistema posee un grado de libertad (GDL), sentido Z, afectado por un desplazamiento vertical de un cuerpo externo que genera una fuerza perturbadora $\bar{U}(Z)$ aplicada a la masa M_u .

La fuerza de perturbación del sistema $\bar{U}(Z)$, es la fuerza en la interfase rueda-riel y se describe en función del tiempo como

$$\bar{U}(Z) = \begin{cases} 0, & \text{si } \bar{Z}_u(t) > \bar{Z}_r(t), \\ k M_u \ddot{\bar{Z}}_{ur}, & \text{si } \bar{Z}_u(t) \leq \bar{Z}_r(t) \end{cases}$$

presentando dos estados. La fuerza se encuentra condicionada por $\bar{Z}_u(t)$, que denota la posición de la masa M_u en un tiempo t y por $\bar{Z}_r(t)$ que expresa el nivel en que se encuentra el riel en un instante t.

FIGURA 2. Modelo reducido del sistema



Se define la fuerza ejercida por el resorte de constante k_s como

$$\bar{f}_s = k_s (\bar{Z}_s - \bar{Z}_u).$$

La fuerza ejercida por el amortiguador de constante b_s se define como

$$\bar{f}_b = b_s (\dot{\bar{Z}}_s - \dot{\bar{Z}}_u).$$

Condición Dinámica $\bar{Z}_u(t) > \bar{Z}_r(t)$

Condición donde se define $\bar{U}(Z) = 0$, describe el comportamiento del sistema cuando no existe contacto rueda-riel.

La posición del cuerpo M_u en cualquier instante de tiempo $Z_u(t)$, se define como

$$d^2 \bar{Z}_u(t) = \ddot{\bar{Z}}_u dt^2,$$

por lo tanto

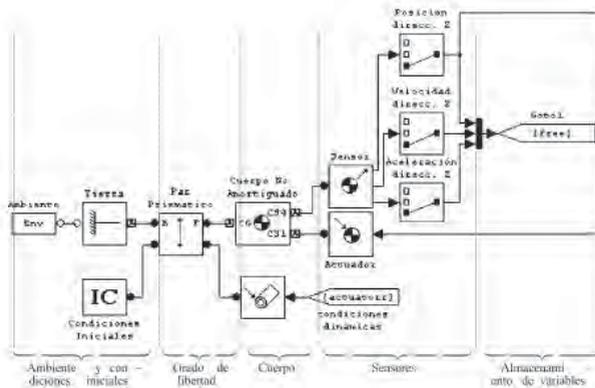
$$\bar{Z}_u(t) = \frac{1}{2} \ddot{Z}_u \Delta t^2 + \dot{Z}_u \Delta t + \bar{Z}_1.$$

A partir del modelo matemático es posible construir un modelo computacional adecuado para las variables propias del comportamiento dinámico. Por tanto, su desarrollo se ciñe a los lineamientos matemáticos establecidos.

El modelo computacional se realizó bajo el lenguaje de programación Matlab, específicamente en el módulo SimMechanics. SimMechanics es un lenguaje de programación con ambiente de modelado en diagramas de bloques, es parte del modelo físico de Simulink, abarca el modelado y diseño de sistemas según los principios físicos básicos. El modelo físico se ejecuta dentro un ambiente de interfase que integra todo el conjunto de Simulink y Matlab. Ha sido creado para el diseño de ingeniería y simulación de mecanismos de cuerpo rígido y sus movimientos, usando la dinámica Newtoniana de fuerzas y torques.

Como el sistema se representa por la conexión de un diagrama de bloques, el mismo modelo computacional constituye el diagrama de flujo del algoritmo (véase figura 3). Para una mayor comprensión del modelo computacional, éste se ha fraccionado en secciones.

FIGURA 3. Modelo computacional del sistema reducido, estado $Z_u(t) > Z_r(t)$



Condición Dinámica $\bar{Z}_u(t) \leq \bar{Z}_r(t)$

Para el segundo estado la rueda hace contacto con el riel, presentándose la fuerza de perturbación del sistema \bar{U} , La cual se expresa en términos de los desplazamientos considerando separadamente el efecto de cada desplazamiento, y luego se combinan los resultados obtenidos. El modelo propuesto se aplica iterativamente en cada t_i , basado en el principio de superposición.

El principio de superposición postula que el efecto de una combinación de cargas en un sistema se puede obtener determinando separadamente los efectos de las diferentes cargas y sumando los resultados obtenidos. La expresión que define el desplazamiento de la posición \bar{Z}_u a la posición \bar{Z}_r , del cuerpo M_u , es

$$\bar{Z}_r - \bar{Z}_u = \frac{1}{2} \ddot{Z}_u \Delta t^2 + \dot{Z}_u \Delta t.$$

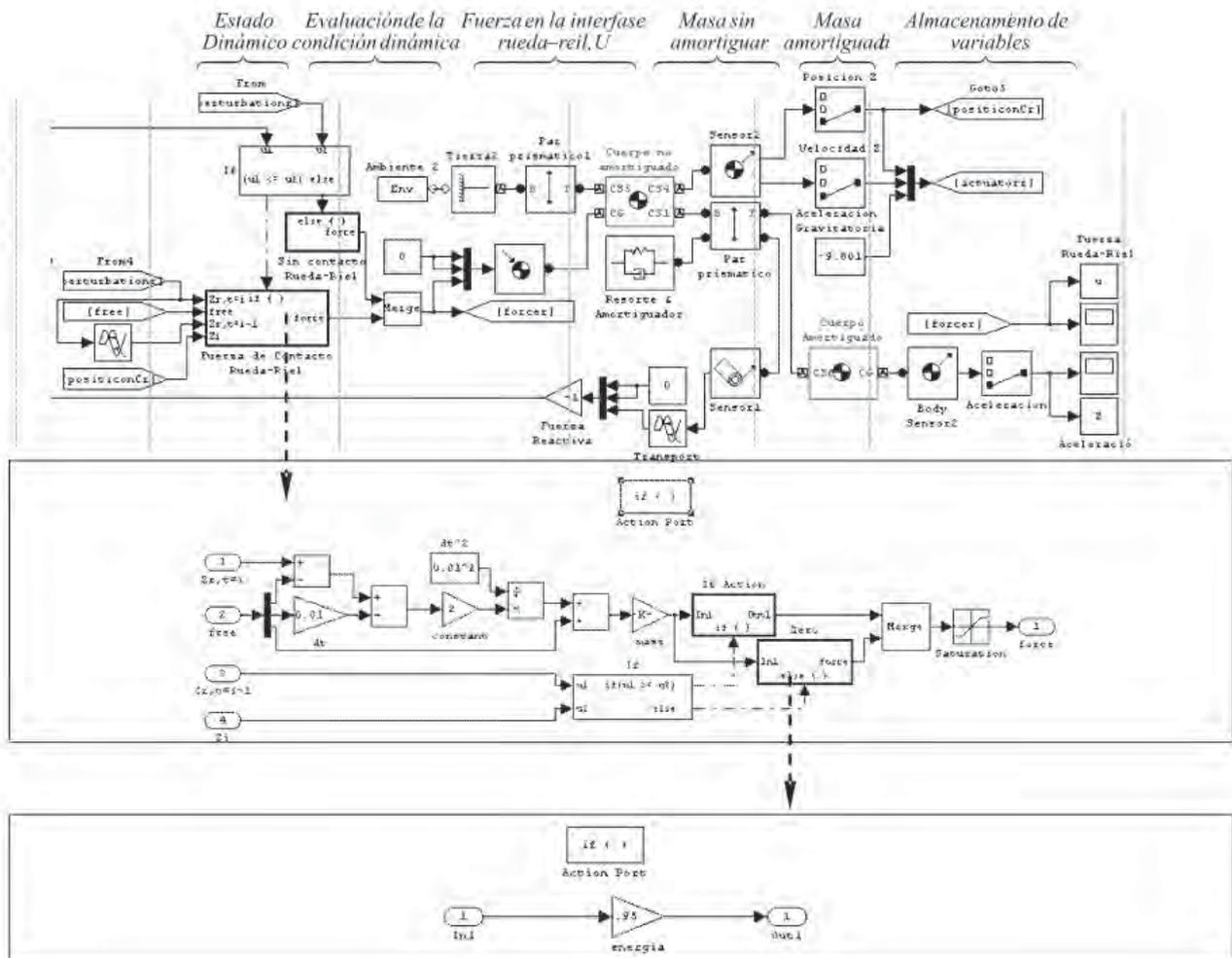
De la expresión anterior se despeja el término \ddot{Z}_u , describiendo la aceleración necesaria para llevar el cuerpo M_u de la posición \bar{Z}_u a la posición \bar{Z}_r , es decir a nivel del riel. Una vez establecida la expresión para \ddot{Z}_u se construye la fuerza de contacto rueda-riel \bar{U} como

$$U = k \left(2 \frac{(Z_r - Z_u) - \dot{Z}_u \Delta t}{\Delta t^2} + \ddot{Z}_u \right) M_u$$

donde k es menor que la unidad en el instante que colisiona la rueda con el riel, presentando una disipación de energía asociada al nivel de elasticidad de la rueda y el grado de rigidez del riel.

En la sección denominada 'Evaluación de la condición dinámica' (figura 4) los valores del nivel del riel y posición del cuerpo son comparados en cada instante de tiempo; si se cumple la condición que $Z_u(t) \leq Z_r(t)$, se calcula la fuerza en la interfase rueda-riel.

FIGURA 4. Modelo computacional del sistema reducido, estado $Z_u \leq Z_r$.



Descripción de la perturbación del Riel

El riel se analiza como un tren de ondas ideal, es decir, conserva su forma al difundirse. Para que esto ocurra, ha de ser despreciable su deformación. La perturbación se halla en el plano XZ y se propaga en dirección X.

La fuerza de perturbación \bar{U} , se origina a partir del desplazamiento relativo en dirección X entre la rueda y el riel (dirección del movimiento horizontal del tren). Para efectos de análisis, se asume que las masas que componen el sistema reducido, M_u y M_s , permanecen fijas en dirección X, y el riel se desplaza en dicha dirección. El riel es considerado como un tren de ondas viajera.

El caso de un tren de ondas transversal de forma senoidal es una aproximación a la ondulación del riel en una vía ferroviaria. Si el tren de ondas se propaga en dirección X con rapidez de fase X , la ecuación de la onda es de la forma

$$Z(x, t) = Z_A \text{sen}(kX \pm \omega \Delta t - \phi),$$

donde el número de onda q y la frecuencia angular ω , las cuales se definen por medio de las expresiones

$$q = \frac{2\pi}{\lambda}, \quad \omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f.$$

Sistema Bogie-Riel

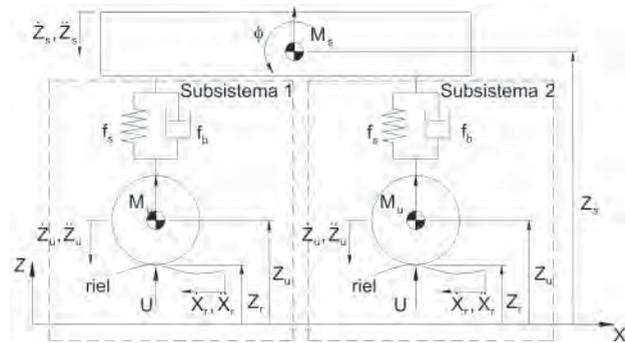
El sistema bogie-riel es un arreglo simplificado de tres masas. Compuesto por dos sub-sistemas, cada uno corresponde a un sistema reducido. El subsistema comprende una masa sin amortiguar M_u , conectada por medio de resortes y amortiguadores a una masa amortiguada M_s (véase figura 5).

Cada subsistema es afectado por un desplazamiento de un cuerpo externo (nivel del riel) $Z_r(x,t)$, que genera una fuerza perturbadora $U(t)$, aplicado a las masas M_u ; cada masa M_u genera un GDL tipo empuje. La masa amortiguada M_s , posee dos GDL, dirección Z y dirección ϕ . Por tanto, el sistema Bogie-Riel posee cuatro GDL.

El modelo computacional del sistema bogie-riel se construye como una conjugación de dos sistemas de modelo reducido.

Se presume que la respuesta a la perturbación de la fuerza de interfase $U(t)$ de cada subsistema es equivalente al comportamiento dinámico del sistema reducido, por lo tanto, se enmascara en un subsistema para desarrollar el modelo bogie-riel.

FIGURA 5. Sistema bogie-riel

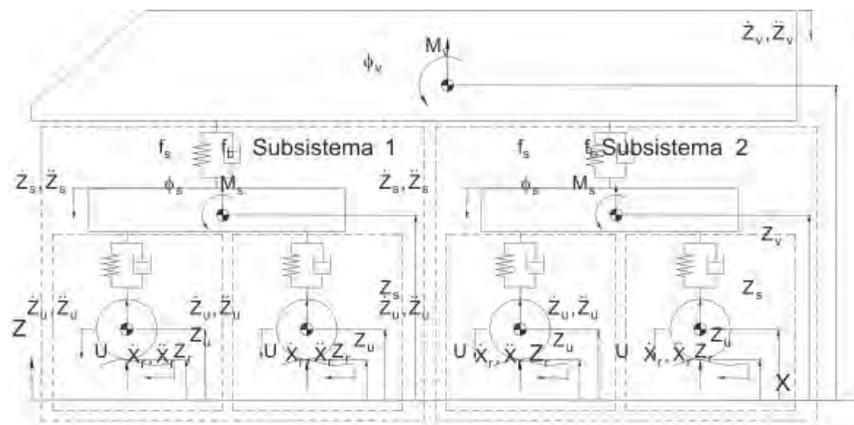


Sistema Vagón-Riel

El sistema vagón-riel está compuesto por siete masas que interactúan por medio de resortes y amortiguadores. Se encuentra comprendido por dos subsistemas tipo bogie-riel, cada subsistema contiene dos masas sin amortiguar, M_u , conectadas a una masa amortiguada M_s .

Cada masa sin amortiguar, M_u , genera un GDL; la masa suspendida M_s , posee dos GDL, dirección Z y dirección ϕ (véase figura 7). Por tanto, el sistema vagón-riel posee seis GDL.

FIGURA 6. Sistema vagón-riel



A partir de una relación entre dos modelos computacionales del sistema bogie-riel se construye el sistema vagón-riel.

El modelo computacional bogie-riel es ligeramente modificado para permitir enmascararlo en un subsistema y desarrollar el modelo vagón-riel. Los parámetros de entrada a cada subsistema son aquellos que definen el comportamiento de la onda senosoidal Z_r . Los subsistemas se encuentran conectados a la masa suspendida, es decir, la caja de pasajeros. La masa suspendida se encuentra acoplada mediante una junta compuesta por un par prismático en dirección Z , y un par rotacional en dirección ϕ .

Sistema Vagón-Riel 3D

Se asume un sistema con cuatro ejes, una caja de pasajeros y dos bogies. Cada bogie está compuesto por un bastidor y dos con-juntos eje-rueda (véase figura 8). Cada con-junto eje-rueda, bastidor y caja de pasajeros son cuerpos rígidos conectados por estructuras elásticas.

El sistema vagón-riel 3D se compone de once masas que interactúan por medio de resortes y amortiguadores. Se encuentra comprendido por dos subsistemas tipo vagón-riel, cada subsistema contiene cuatro masas sin amortiguar M_u , conectadas a una masa amortiguada M_s , y ésta a su vez se conecta a una masa suspendida M_v .

Cada masa sin amortiguar M_u , genera un GDL; la masa suspendida, M_v , posee tres GDL, dirección Z , dirección ϕ y dirección γ , por tanto, el sistema vagón-riel 3D posee once GDL.

FIGURA 7. Sistema vagón-riel 3D

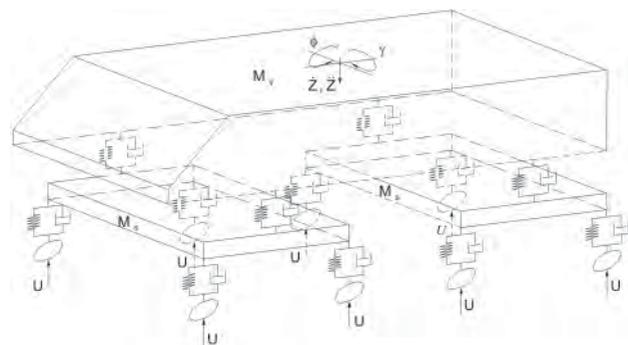
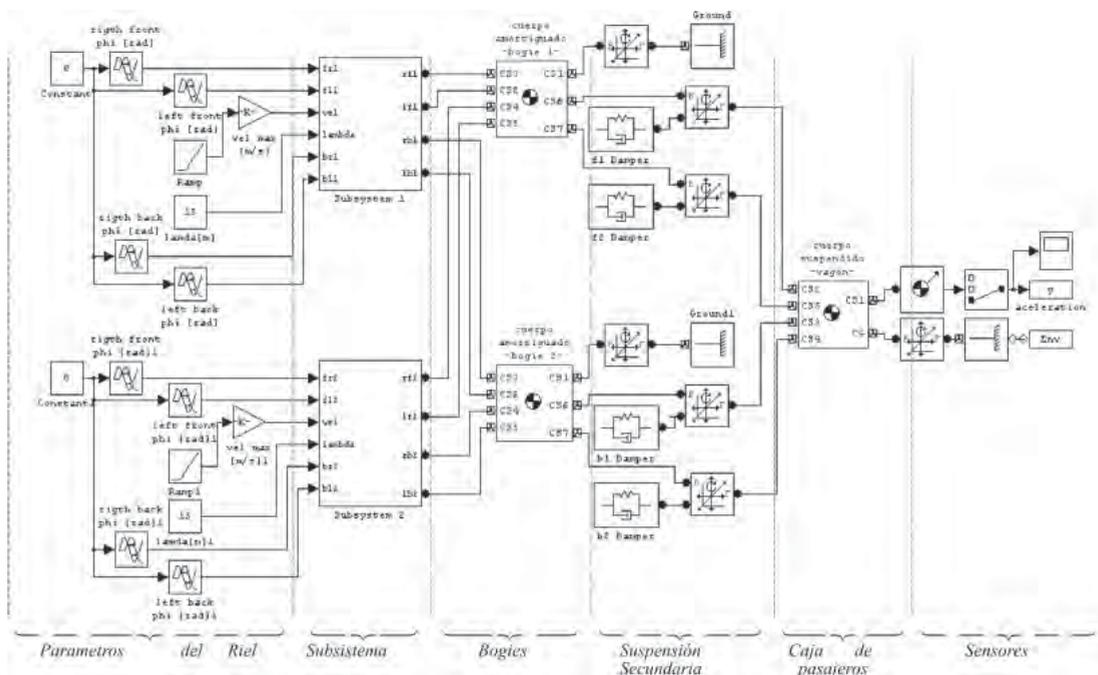


FIGURA 8. Modelo computacional del sistema vagón-riel 3D



Para desarrollar el modelo vagón-riel 3D se crean dos señales de perturbación Z_r , en la figura 9 se observa la definición de sus parámetros, donde una señal de perturbación entra a cada subsistema, éstos se conectan a su respectiva masa amortiguada (bogie), los cuales se conectan a la masa suspendida (caja de pasajeros) por medio de uniones elásticas.

El proceso de Identificación de Sistemas consiste en la estimación un modelo matemático para el sistema analizado, basándose en los vectores de datos obtenidos de la medición de señales de entrada-salida dado en el modelo computacional.

Los modelos de espacio de estado son representaciones comunes de modelos dinámicos. Ellos describen el mismo tipo de ecuación diferencial lineal entre las entradas y las salidas, pero ellos se reestructuran para que se use sólo un t en el retraso en las expresiones. Los valores en las salidas en un tiempo $t + \Delta t$ son calculados como una combinación lineal de los valores de entradas y salidas del tiempo t . Para lograr esto, se introducen algunas variables extras, las variables de estado. Éstas no son medidas físicas, pero pueden ser reconstruidas por los datos medidos en la entrada-salida.

Al realizar el proceso de Identificación al sistema vagón-riel 3D, se halla que la relación de ajuste a la respuesta es del orden de 82.41%, reflejado un grado de correspondencia con la respuesta del sistema, dado el alto nivel de complejidad de éste último, por tanto cumple las expectativas.

La función de transferencia en un espacio de tiempo continuo para los datos de entrada $U(t)$, respecto a la salida \ddot{Z}_s , es de quinto orden, correspondiendo a la expresión:

- Ondas de alta frecuencia, asociadas a la corrugación superficial del riel.
- Ondas de baja frecuencia, asociadas al perfil longitudinal del riel (debido a que el nivel del terreno no es plano ni horizontal), de las cuales no se tiene información precisa

En la simulación no se considera la perturbación ondulatoria de baja frecuencia del riel, puesto que se enfoca a evaluar únicamente el efecto en el sistema debido a la corrugación de la vía.

Las mediciones de corrugación se obtuvieron por medio de una práctica realizada por la sección de mantenimiento del sistema de tren, para monitorear y evaluar sus actividades de mantenimiento en la vía. Se realizó un filtrado de las mediciones de corrugación.

CONCLUSIONES

Mediante una metodología consecuente, que parte de la construcción de las bases matemáticas para describir el comportamiento dinámico de un sistema reducido, se construye una serie de modelos computacionales. En su desarrollo se realiza la combinación de dichos modelos, los cuales dan lugar a sistemas de mayor complejidad, que se aproximan a describir el sistema físico real.

$$G(s) = \frac{-8.328e-7 s^4 + 0.02569 s^3 + 0.1744 s^2 + 2450 s + 1.429e4}{s^5 + 59.56 s^4 + 9.978e4 s^3 + 5.637e6 s^2 + 9.264e7 s + 5.985e8}$$

La dinámica del sistema del modelo vagón-riel 3D puede ser simplificada a términos de la función de transferencia, donde la aceleración de la masa amortiguada M_s , $\ddot{Z}_s(t)$, es el vector de datos resultante de dicha función.

Simulación de un Sistema Real

Se ha instrumentado un vehículo ferroviario que presta servicio de transporte. La instrumentación consta de ocho acelerómetros instalados.

Se determina que el sistema está afectado por la existencia de dos clases de perturbación ondulatoria en el riel:

Haciendo uso de las herramientas computacionales disponibles, se realizó una exposición secuencial y precisa de un procedimiento para la identificación de sistemas dinámicos.

Se analizó el comportamiento dinámico de un soporte de suspensión tipo bogie bajo distintas simplificaciones

del sistema, hallando la ecuación de transferencia que los describe. Se apreció que a una mayor complejidad del sistema, el consumo de recurso computacional aumenta considerablemente, efecto que no existe al realizar análisis dinámicos bajo el uso de su ecuación de transferencia

Sin embargo, se obtuvo como constante que, a una mayor complejidad del sistema, la exactitud de la ecuación de transferencia para describir el comportamiento se reduce.

En consecuencia, para realizar algún análisis dinámico se debe determinar qué tipo de sistema satisface los requerimientos de análisis, luego se debe establecer el nivel de precisión deseado para evaluar. Es decir, para realizar los análisis se debe tener presente el acuerdo entre éstos dos criterios.

Se obtuvo la simulación de un sistema real bajo condiciones normales de operación. Simulación de un tren de servicio urbano, en una fracción del tramo de vía. A partir de los resultados de dicha simulación se puede afirmar:

- Los resultados de aceleración en las cajas de grasa no representan los datos medidos el día 11 de octubre de 2005. Se propone realizar nuevamente la adquisición de datos en la unidad, haciendo esfuerzos por aminorar el ruido en la captura de datos, con esto poder señalar fallas o aciertos en el modelo computacional propuesto.
- Los resultados de aceleración en los bastidores de los bogies son consecuentes con los datos tomados, por tanto éstos pueden servir de apoyo y referencia.
- Los resultados de aceleración en la caja de pasajeros son datos representativos del sistema físico, incluso son resultados libres de ruido.
- Por medio de la simulación computacional, se pueden obtener resultados de mediciones con un grado aceptable de certidumbre. Además, por medio de la simulación computacional se pueden realizar pruebas

aislando el tipo de perturbación, para analizar sus efectos directos sobre el sistema.

Se realizó una labor relevante en la caracterización de las propiedades mecánicas (geométricas, dinámicas, elásticas, etc.) de cada uno de los componentes que conforman un sistema de suspensión vehicular, propio de un sistema ferroviario.

BIBLIOGRAFÍA

- Beer, Ferdinand y Johnston, Russell. Mecánica de Materiales. 2 ed. Bogotá: McGraw Hill. 1993. 738 p.
- Boisseaux, M.. El Automóvil. Cálculo de Piezas. 2 ed. Madrid: Paraninfo. 1969. 272 p.
- Bolton, W.. Ingeniería de Control. 2 ed. México: Alfaomega. 2001. 397 p.
- Chudakov, D. A.. Fundamentos de la Teoría y el Cálculo de Tractores y Automóviles. Moscú: Mir.1977. 435 p.
- Edwards, C. H. y PENNEY David E.. Cálculo con Geometría Analítica. 4 ed. México: Prentice Hill. 1994. 956 p.
- Gil Martínez Hermógeno. Manual del Automóvil. Reparación y Mantenimiento. Suspensión, Dirección, Frenos Neumáticos y Airbag V4. Madrid: Cultural S.A.. 2000. 137 p.
- Ljung, Lennart. System Identification Toolbox, For Use with MATLAB. Estados Unidos: The MathWorks, Inc.. 2005. 408 p.
- Ogata, Katsuhiko. Ingeniería de Control Moderna. 3 ed. México: Pentice May. 1998. 997 p.
- Pineda Botero, Fabio Antonio. Identificación y Control de Vibraciones. Análisis de un Modelo Reducido de Máquina. Trabajo de grado para el título de Magíster en Matemáticas Aplicadas. Universidad EAFIT.
- Resnic, Robert; Hallyday, David y Krane, Kenneth. Física, Vol 1. 5 ed. México: Cesca. 1997. 566 p.

EVOLUTIONARY ALGORITHMS APPLIED TO SHAPE OPTIMIZATION OF 3-D STRUCTURES

MANUEL JULIO GARCÍA RUIZ, mgarcia@eafit.edu.co
MIGUEL ALEJANDRO HENAO GARCÍA, mhenaoga@eafit.edu.co
Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS

DISEÑO DE SISTEMAS TÉCNICOS

ASESOR PRINCIPAL

MANUEL JULIO GARCÍA RUIZ

EMPRESA

UNIVERSIDAD EAFIT

ABSTRACT

Evolution Strategies (ES) represent one of the four main variants of Evolutionary Algorithms. The advantage of this method over others is its ability to work with real valued parameters, its easy implementation, and capacity to find a global optimum. The three-dimensional structural optimization problem involves an accurate representation of the solid model to be studied, and support for dimensional and shape modification. A fast elasticity problems solver is also needed in order to reach efficient evolutionary iterations.

This article presents the implementation of a computational tool for shape and dimensions optimization of 3-D linear elastic structures using Evolution Strategies. In order to provide solid model representation and modification support the geometric interface is built using PRO/ENGINEER Application Programmer Interface (API) PRO/TOOLKIT. With the aim of providing a fast solver, Fixed Grid Finite Element Analysis (FG-FEA) is used for linear elastic model solution.

KEY WORDS

Structural optimization, fixed grid, finite elements, evolutionary algorithms, evolution strategies.

RESUMEN

Estrategias Evolutivas (ES) representa una de las cuatro variantes de los algoritmos evolutivos. La ventaja de este método sobre los otros es su capacidad de trabajar con valores reales para los parámetros de optimización, la fácil implementación, y su capacidad de encontrar el óptimo global. El problema de optimización estructural en tres dimensiones involucra la correcta representación del modelo a estudiar, y soporte para la modificación de la forma y dimensiones que definen el modelo. Con el fin de poder llevar a cabo la optimización de manera eficiente, se necesita un utilizar un método rápido para la solución del problema elástico-lineal.

Este artículo presenta la implementación de una herramienta computacional para optimización dimensional y de forma de estructuras elástico-lineales en tres dimensiones por medio de estrategias evolutivas. Con el fin de proveer soporte para la representación y modificación del modelo sólido, se desarrolla un módulo geométrico haciendo uso de la interfaz de desarrollo de aplicaciones (API) de PRO/ENGINEER, PRO/TOOLKIT. Para la solución del problema elástico-lineal se hace uso del método de mallas fijas (FG-FEA) con el fin de aprovechar su eficiencia.

PALABRAS CLAVE

Optimización estructural, mallas fijas, elementos finitos, algoritmos evolutivos, estrategias evolutivas.

INTRODUCTION

Mechanical laws are usually applied for a prescribed design of a structure in order to determine its response. The external loads, boundary conditions, and also the geometry which is defined by the topology and the shape of the structure, are given. However, mechanical principles can also be used to determine the conceptual layout (topology) and shape of structures for a prescribed structural response. In this inverse process structural optimization takes place. Since structural optimization problems deal in general with nonlinear and implicit functions with respect to the variables, only numerical methods are suitable to solve application-oriented problems in engineering design. By developing a tool for structural optimization, the challenge to integrate Mechanical Design and Numerical Analysis is achieved. This kind of tool provides the user with a faster way to transform the design requirements into functional devices.

Evolutionary computation has been used for optimization since its appearance 40 years ago. It was developed independently by research groups in the US and Europe. It mimics Darwin's theory of evolution initially presented on his book "On the Origin of Species by Means of Natural Selection, or the Preservation of Favored Races in the Struggle for Life". Natural selection is the mechanism by which those individuals better adapted to any particular environment survive over generations while the less adapted are eliminated from the population. Evolutionary computation represents Darwin's theory in the form of an algorithm (García and González, 2004).

The four main variants of evolutionary computation that have been established over the last years are: Genetic Algorithms (GA) (Gen, 1997; Mitchell, 1996), Evolution Strategies (ES) (Bäck, 1996; Schwefel et al., 1995; Bäck and Schwefel, 1996), Evolutionary Programming (EP), (Bäck et al., 1993; Bäck and Schwefel, 1996) and Genetic Programming (GP) (Koza, 1996). These algorithms are used for problems in which analytical information, as the

function's gradient, is not available. All algorithms start with a population of individuals that represent a potential solution to the optimization problem. Probabilistic operators (mutation and recombination) are applied to the population's individuals to produce an offspring generation. Then, selection of individuals is undertaken favoring the fittest individuals. The fitness of an individual represents the value of an objective function to be optimized (García and González, 2004).

Evolution Strategies

The main advantage of Evolution Strategies over the other methods mentioned before is the real valued representation of individuals instead of using binary encoding. This makes the method simple and easy to implement. Information on the other methods can be found in (Bäck, 1996) and (González, 2001).

In general, an evolutionary algorithm is based on mutation and recombination probabilistic operators. The mutation operator introduces variation over a population. Recombination exchanges information between individuals. Then, a new generation of individuals is obtained by selecting the fittest from the offspring or from the offspring plus the parental population. A typical algorithm takes a $P(t)$ population of μ parent individuals at the t^{th} generation and recombines them to produce a $Q(t)$ offspring population of $\lambda \geq \mu$ individuals. The $Q(t)$ population is mutated and the fittest individuals are selected from $Q(t)$ or from $Q(t) \cup P(t)$. The loop is repeated until no significant improvement is obtained after a number of consecutive iterations.

If $\vec{x} \in M \subseteq R^n$ represents a possible solution for the optimization problem, an individual of the population is represented as $\vec{a} = (\vec{x}, \vec{\sigma}, \vec{\alpha}) \in I = R^n \times A_\sigma$, where \vec{x} is the search point and $\vec{\sigma} \in R_+^{n_\sigma}$ and $\vec{\alpha} \in [-\pi, \pi]^{n_\alpha}$ are the standard variance and rotation angles vectors for the mutation operator respectively, where

$$\begin{aligned} A_\sigma &= R_+^{n_\sigma} \times [-\pi, \pi]^{n_\alpha} \\ n_\sigma &\in \{1, \dots, n\} \\ n_\alpha &\in \{0, (2n - n_\sigma)(n_\sigma - 1)/2\}. \end{aligned} \quad (1)$$

Given an objective function $f: R^n \rightarrow R$, the fitness function Φ is evaluated as

$$\Phi(\vec{a}) = f(\vec{x}). \quad (2)$$

The goal is to find the fittest individual, $\vec{x}_f = \max(f(P_i(t)))$ for the maximization problem or $\vec{x}_f = \min(f(P_i(t)))$ in the case of the minimization problem. The term $P_i(t)$ represents the i^{th} parent belonging to the population $P(t)$ of μ individuals at the generation t . Algorithm 1 presents the general form of an evolutionary algorithm, where $P(t)$ is the parents population of μ individuals and $Q(t)$ is the offspring population of size $\lambda \geq \mu$.

ALGORITHM 1. Outline of an Evolutionary Algorithm
$t = 0$ initialize ($P(t)$) while (optimum limit is not reached) do $Q(t) = \text{recombine}(P(t))$ $Q(t) = \text{mutate}(Q(t))$ evaluate ($Q(t)$) $P(t+1) = \text{select}(P(t) \cup Q(t))$ $t = t + 1$ end do

Evolution Strategies Operators

As mentioned before, these operators are inspired by nature's evolution phenomena. Population individuals share information between them by creating new offspring and this offspring mutates in order to adapt to the environment. The better adapted individuals are chosen to conceive the new offspring generation.

Recombination

By means of this operator, information is exchanged between the parent individuals. There exists a variety of recombination mechanisms that can be classified as sexual and panmictic. In the sexual form, recombination operator $r: I^\mu \rightarrow I$ acts on two individuals randomly chosen from the parent population. In the panmictic, one

parent is randomly chosen and held fixed, while for each component of offspring individual a new second parent is randomly chosen,

No recombination: $x_i = x_{S,i}$

Discrete: $x_i = x_{S,i} \quad \text{or} \quad x_{T,i}$

Panmictic discrete: $x_i = x_{S,i} \quad \text{or} \quad x_{T,i}$

Intermediate: $x_i = x_{S,i} + 1/2(x_{T,i} - x_{S,i})$

Panmictic intermediate: $x_i = x_{S,i} + 1/2(x_{T,i} - x_{S,i})$

Generalized intermediate: $x_i = x_{S,i} + \chi \cdot (x_{T,i} - x_{S,i})$

Panmictic generalized intermediate: $x_i = x_{S,i} + \chi_i \cdot (x_{T,i} - x_{S,i})$

where S and T denote two parent individuals selected at random from the population, T_i indicates T to be sampled anew for each i , and $\chi \in [0,1]$ uniform random. Then, $x_{T,i}$ represent the i^{th} component of the search point $\vec{x} \in R^n$ of a individual selected randomly from the parental population. The term $x_{T,i}$ is the same as $x_{S,i}$ but selecting a new parent randomly for every value of i .

Mutation

This operator brings innovation to the offspring population and is defined as $m_{\{\tau, \tau', \beta\}}: I^\lambda \rightarrow I^\lambda$. By means of this operator new variations are generated,

$$\begin{aligned} \sigma_i &= \sigma_i \cdot \exp(\tau' \cdot N(0,1) + \tau \cdot N_i(0,1)) \\ \alpha_j &= \alpha_j + \beta \cdot N_j(0,1) \\ \vec{x}' &= \vec{x} + \vec{N}(\vec{0}, \mathbf{C}(\vec{\sigma}', \vec{\alpha}')), \end{aligned} \quad (3)$$

where the term $\vec{N}(\vec{0}, \mathbf{C}(\vec{\sigma}', \vec{\alpha}'))$ denotes the realization of a random vector distributed according to the generalized n-dimensional normal distribution with expectation $\vec{0}$ and with covariance matrix $\mathbf{C} = \mathbf{C}(\vec{\sigma}', \vec{\alpha}')$ represented by a vector $\vec{\sigma}$ of standard deviations and $\vec{\alpha}$ of rotation angles. The

notation $N_i(\mathbf{0},1)$ indicates that the random variable is sampled anew for each value of i . The correlated $\bar{\sigma}_c$ can be obtained from an uncorrelated $\bar{\sigma}_u$ by applying rigid rotation transformation to $\bar{\sigma}_u$ by means of the α angles. This transformation is calculated by

$$\bar{\sigma}_c = \left(\prod_{p=1}^{n_\sigma-1} \prod_{q=p+1}^{n_\sigma} \mathbf{R}_{pq}(\alpha_j) \right) \cdot \bar{\sigma}_u \quad (4)$$

with $j = \frac{1}{2}(2n_\sigma - p)(p+1) - 2n_\sigma + q$ and where the rotation matrix $\mathbf{R}_{pq}(\alpha_j)$ is defined by an identity matrix except for the following entries: $\mathbf{R}_{pp} = \mathbf{R}_{qq} = \cos(\alpha_j)$, $\mathbf{R}_{pq} = -\mathbf{R}_{qp} = -\sin(\alpha_j)$.

Selection

The new parent population is selected to create the next offspring generation of individuals. This operator is completely deterministic. There exist two variants of this operator: $s_{(\mu+\lambda)} : I^{\mu+\lambda} \rightarrow I^\mu$ and $s_{(\mu,\lambda)} : I^\lambda \rightarrow I^\mu$. The μ individuals are selected based on their fitness which is evaluated by means of the objective function $\Phi(\bar{a})$:

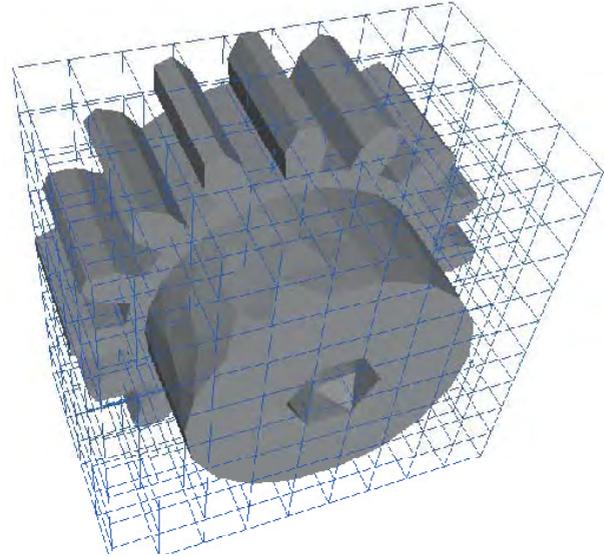
1. $(\mu + \lambda)$ -ES: The new parent population is chosen from $P(t) \cup Q(t)$. This strategy is also known as elitism. In the case of changing environments this ES variant preserves outdated solutions and is not able to follow the moving optimum. This can be solved by re-evaluating the parent's population, which leads to the introduction of the computational overhead of μ evaluations to the algorithm; and
2. (μ, λ) -ES: Parent individuals are chosen from $Q(t)$. The capability of this strategy to forget good solutions, in principle, allows for leaving small local optima and is therefore advantageous in the case of multimodal topologies.

Fixed Grid Finite Element Method

Fixed Grid (FG) as a methodology used to solve elasticity problems was first introduced by García (García, 1999) as an engine for numerical estimation of stress and displacement fields. FG method advantages are simplicity

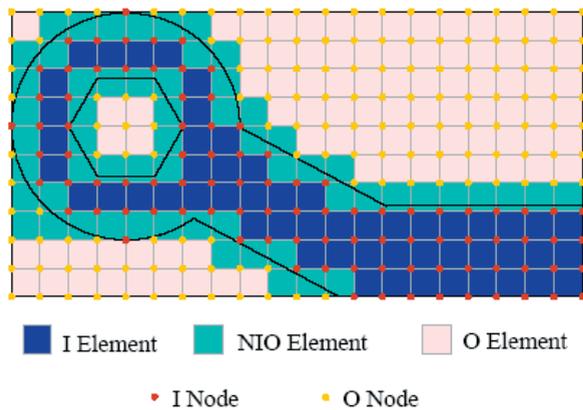
and speed at a permissible level of accuracy. The fixed grid is generated by immersing the given structure into a rectangular grid of equal-sized elements (see Figure 1).

FIGURE 1. Solid model immersed into a fixed grid



In this way, elements are either inside (**I**), outside (**O**), or on the boundary (**NIO**) of the structure (see Figure 2). The material properties for **O** elements are the ones of a non-interactive medium. That is, its values are significantly less than the ones for the **I** element material properties. This transforms the problem into a bi-material formulation. **NIO** elements are constituted by two types of material and therefore their properties are not continuous over the element. Different methods can be used to approximate **NIO** elements. That includes from treating them as **O** elements to complex non-continuous domain integration. By computing **NIO** element properties as averaged, the element-stiffness matrix can be computed as a factor of a standard stiffness matrix which makes the global stiffness matrix assembly a very efficient process.

FIGURE 2. Classification of the elements in a fixed grid

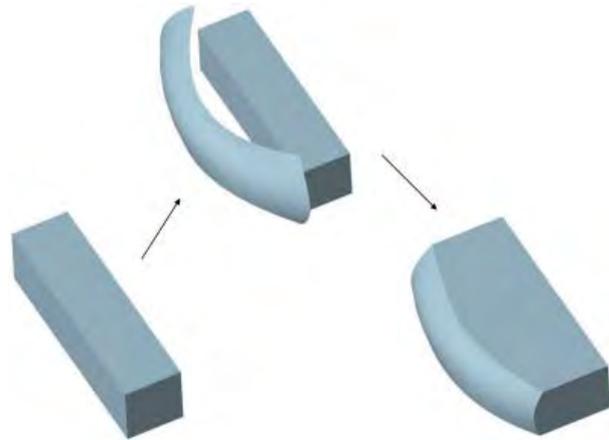


An additional advantage is found when the shape of the structure is changed in response to a previous analysis. The global structure of the FG is maintained, and recomputation of the new stiffness matrix can be accomplished by changing only the positions affected by the elements whose *I*, *O*, and *NIO* state has changed. Details on the 3–D implementation of this method can be found in (Ruiz, 2001).

Evolution Strategies Structural Optimization Application

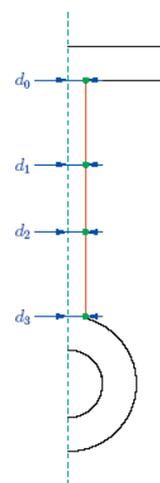
As stated in 2, for evolution strategies an individual is represented by $\vec{a} = (\vec{x}, \vec{\sigma}, \vec{\alpha})$. In the case of structural optimization, $\vec{x} = \{p_0, p_1, \dots, p_n\}$ contains the parameters defining the solid model of the structure to be optimized. When shape optimization is the goal, p_i is a control point for the NURBS representation of a solid face. Figure 3 Shows the process to modify a solid model face. The NURBS representation from the face to modify is obtained, then the control points from the NURBS surface are modified, this new surface is imported to the geometric modeler and the original surface is replaced by the new imported surface.

FIGURE 3. Illustration of the solid surface replacement process



When dimensional optimization is the goal, p_i is a defining dimension of the solid model, this set of dimensions can be the distance at which a spline's control points are defined. In this way, shape optimization and dimensional optimization can be performed simultaneously. Figure 4 shows an example of a model defined with a spline curve which control points dimensions are the optimization parameters.

FIGURE 4. Dimensions for a spline's control points locations



For both dimensional and shape optimization cases the objective function can be defined as:

$$f(\vec{x}_i) = w_1 \frac{\text{volume}(\vec{x}_i)}{\text{volume}(\vec{x}_0)} + w_2 \frac{\text{max_disp}(\vec{x}_i)}{\text{max_disp}(\vec{x}_0)}, \quad (5)$$

subject to

$$\text{max_VM}(\vec{x}_i) \leq \text{max_VM}(\vec{x}_0), \quad (6)$$

with $\vec{x}_i \in$ space of admissible structures. This objective function can change depending on the design needs. Here, $\text{max_disp}(\vec{x}_i) = \|\mathbf{u}\|_\infty$ is the infinite norm of

the displacement field \mathbf{u} of the studied structure, and $\text{max_VM}(\vec{x}_i)$ is the maximum Von Mises stress S_{VM} of the structure evaluated at Fixed Grid nodes. S_{VM} can be calculated as a function of the stress tensor components by

$$S_{VM} = \sqrt{\frac{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_x - \sigma_z)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + 6(\sigma_{xy}^2 + \sigma_{yz}^2 + \sigma_{xz}^2)}{2}}. \quad (7)$$

FIGURE 5. Brace for a handrail of a bus cabin: (a) boundary conditions applied to the model, (b) Von Mises stress field distribution for the initial model



Using the theoretical concepts presented in this article, an application named *Provolution* was developed under PRO/ENGINEER's API, PRO/TOOLKIT. This application provides the user with a friendship interface to solve 3-D linear elastic problems using FG-FEA, and perform shape and dimensions optimization by means of Evolution Strategies. An example of a model optimized using *Provolution* is presented in Figure 5 and Figure 6.

FIGURE 6. Von Mises stress field contour obtained after 100 (5+13)-ES generations



CONCLUSIONS

Evolution Strategies are an effective method to find the optimum shape of a structure for a given objective function. However, this shape can vary in the final design in order to improve manufacturability and other design requirements. The use of NURBS and splines for representing the solid surfaces, helps to find easy to manufacture shapes.

Evolution Strategies present advantages over traditionally binary Genetic Algorithms because it uses real valued parameters for representing the individuals.

Fixed Grid Finite Element Method has the advantage that it needs less solution time for structural problems. Even though, the solutions obtained with FG are less accurate than with Finite Element Analysis. However, this does not represent a problem for structural optimization because there is no need of highly accurate solutions in the computation of the objective function.

Results obtained in ES structural shape optimization depend in the objective function defined by the user and the search space used for the process. The objective function parameters or even the objective function itself can be changed in order to obtain different results.

BIBLIOGRAPHY

- Bäck, T.; Rudolph, G. and Schwefel, H.P. (1993). "Evolutionary programming and evolution strategies: similarities and differences". In: 2nd annual Conference on Evolutionary Programming, San Diego. pp. 11–22.
- Bäck, T. and Schwefel, H.P. (1996). "Evolutionary computation: An overview". In: 1996 IEEE International Conference on Evolutionary Computation. Nagoya, Japan, pp. 20–29.
- Bäck, T. (1996). *Evolutionary Algorithms in Theory and Practice*. New York: Oxford University Press.
- González, Carlos Andrés. (2001). *Optimización de forma para estructuras continuas por medio de algoritmos evolutivos utilizando el método de elementos finitos de malla fija en dos dimensiones*. Proyecto de grado Universidad Eafit: Departamento de Ingeniería Mecánica.
- García, M. and González, C. (2004). "Shape optimization of continuum structures via evolution strategies and fixed grid finite element analysis". In: *Journal of Structural and Multidisciplinary Optimization*. Vol. 26. No. 1–2. pp. 92–98.
- García, Manuel J. (1999). *Fixed Grid Finite Element Analysis in Structural Design and Optimization*. PhD. Thesis: the University of Sydney, Sydney.
- Gen, M. (1997). *Genetic Algorithms and Engineering Design*. New York: John Wiley & Sons.
- KOZA, J.R. (1996). *Genetic programming: on the programming of computers by means of natural selection*. Cambridge, M.A.: The MIT press. Fifth ed.
- Mitchell, M. (1996). *Introduction to genetic algorithms*. Cambridge, M.A.: The MIT Press.
- RUIZ, Luis Miguel. (2001). *Método de los elementos finitos de malla fija en tres dimensiones para problemas elásticos lineales*. Proyecto de grado Universidad Eafit: Departamento de Ingeniería Mecánica.
- Schwefel, H.P.; Rudolph, G. and Bäck, T. (1995). "Contemporary evolution strategies". In: 1995 European Conference on Artificial Life. Granada, Spain. pp. 893–907.

EL CONFORT EN VEHÍCULOS FERROVIARIOS DE PASAJEROS

GERMÁN RENÉ BETANCUR GIRALDO. gbetanc4@eafit.edu.co

LEONEL CASTAÑEDA HEREDIA. lcasta@eafit.edu.co

Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS

MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

ASESOR PRINCIPAL

Ing. LEONEL CASTAÑEDA HEREDIA

EMPRESA

UNIVERSIDAD EAFIT

RESUMEN

Este artículo presenta algunos conceptos básicos relacionados con el confort, iniciando por su definición, y presentando el ruido y las vibraciones como los principales factores de afección al confort y la salud de las personas; además se presentan los resultados preliminares de la evaluación del confort y el ruido de una unidad del sistema férreo local, junto con la metodología implementada para realizar dichas evaluaciones.

La evaluación del confort se apoya en normativa internacional y local, considerando el ruido y las vibraciones medidas en los vehículos de pasajeros del sistema férreo local. Las mediciones y evaluación fueron realizadas durante el año 2005 y hacen parte del proyecto de grado “El confort en vehículos ferroviarios de pasajeros”, desarrollado como requisito para la obtención del título de ingeniero mecánico.

PALABRAS CLAVE

Confort, Sistemas ferroviarios, Efectos del ruido y las vibraciones, Normativa internacional, Ruido y vibraciones en sistemas férreos.

KEY WORD

Comfort, Railway systems, effects of the noise and the vibrations, international Norm, Noise and vibrations in railway systems.

INTRODUCCIÓN

El *confort* es definido a menudo como el bienestar de una persona o la ausencia de perturbaciones mecánicas en relación con el ambiente. Este bienestar puede conseguirse, pero también puede ser perturbado por muchos factores: fisiológicos (expectativa, sensibilidad individual, etc.) y por ambientes físicos (movimiento, temperatura, ruido, vibraciones, características del asiento, etc.) (Lauriks, 2000, 14).

Dado que en los sistemas de transporte el ruido y las vibraciones son un factor determinante en la percepción de los pasajeros del confort del viaje, este proyecto está enfocado principalmente en los efectos sobre el confort que ejercen dichos factores en el transporte ferroviario, lo que configura el objetivo general de este proyecto.

Son muchos los factores que generan ruido y vibración en sistemas de transporte; en especial en sistemas ferroviarios, el estado de la vía, la velocidad del vehículo y las características del mismo juegan un papel importante en la dinámica del vehículo y, por ende, en el confort de los pasajeros.

Tanto el ruido como las vibraciones afectan a las personas; si bien el confort es un concepto bastante subjetivo, muchos autores buscan definirlo con el fin de verificar cómo situaciones a las que se ve expuesto el individuo, ejercen un efecto negativo en su percepción del confort.

Alrededor del tema se ha generado una normativa nacional, internacional y empresarial, acerca de la evaluación del confort en sistemas ferroviarios, tomando en consideración las variables dinámicas del vehículo y variables geométricas de la vía. Algunas de las normativas existentes y estudiadas son: ISO 2631-1 (Mechanical vibration and SOC – Evaluation of human exposure to whole body vibration), UIC 518 (Testing and approval of railways vehicles from the point of view of their dynamic behavior, safety, track fatigue and ride quality), CEN ENV 12299 (Railway applications – ride comfort for passengers – measurement and evaluation) y BSI 6841 (British Standard guide to measurement and evaluation of human exposure to whole-body mechanical vibration and repeated shock.), y estudios como los realizados por Sperling, VDI¹, JNR² y otros, además de normativas acerca del ruido generado por los sistemas de transporte, como APTA, Resolución 8321 del Ministerio de salud Colombiano y propuestas de evaluación como la presentada por Piec (2004).

Se analizó el comportamiento de los indicadores de confort de acuerdo a la distribución por tramos separados por curvas de entre 250 y 400m, curvas entre 400 y 600m, curvas de mas de 600m y vías tangentes, se observó que para dichos tramos los niveles de confort permanecieron en un rango estable.

¹ Verein Deutscher Ingenieure.

² Japanese National Railways.

El análisis del confort según las normas establecidas fue el siguiente, ISO lo califica como confortable, Wz para el confort de pasajero, esta en apenas notable, mientras que la calidad de marcha esta en el limite permitido para vehículos de pasajeros, según la norma CEN mediante el método de confort promedio para pasajeros sentados y mediante el método simplificado se tiene un estado muy confortable, situación que se presenta también en los resultados de la UIC.

Según la resolución 8321 del Ministerio de salud, el nivel de presión sonora debe ser menor a 92dBA, en el exterior del vehículo detenido y en movimiento, lo cual se cumple, según las mediciones tomadas todos los puntos arrojan valores inferiores.

Según las recomendaciones dadas por Piec, el nivel de presión sonora en el interior del vehículo detenido, debe ser de 60dBA, según las mediciones tomadas todos los puntos superan este límite

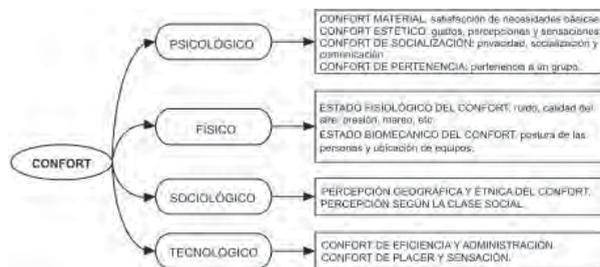
CONCEPTUALIZACIÓN ALREDEDOR DEL CONFORT

El confort es un concepto complejo, considera requerimientos de la ergonomía y las impresiones subjetivas de cada persona, por tanto no puede definirse de una manera sencilla sino que es una mezcla de factores psicológicos y fisiológicos que dependen de las necesidades propias del individuo, involucrando un sentido de bienestar relativo y la ausencia de incomodidad, tensión o dolor.

Existen diferentes puntos de vista alrededor del confort, los cuales son presentados en la figura 1, estos consideran factores psicológicos, físicos, sociológicos y tecnológicos, para definir el confort.

El proyecto se basa en el punto de vista físico dado al confort, específicamente en el estado fisiológico del confort, en el cual intervienen factores como el ruido, la calidad del aire, la presión, las vibraciones entre otros.

FIGURA 1. Puntos de vista del confort



Fuente: Betancur, 2005, 23

Para la evaluación del confort del sistema férreo local, serán considerados como factores de afección al confort, el ruido y las vibraciones, por tal motivo, se presentan a continuación los efectos que estos generan en el organismo de las personas.

Efectos del ruido en la salud

El ruido interfiere con la actividad de las personas en sus hogares y en el trabajo, y es perjudicial para la salud y el bienestar; causa problemas fisiológicos y psicológicos, en sistemas y órganos diferentes al de la audición, interrumpe el sueño y la comunicación entre las personas, molesta, pone a la gente de mal humor y afecta negativamente el desempeño y rendimiento, produciendo un estado de nerviosismo y estrés, en consecuencia, produce una serie de molestias o perjuicios que generalmente se denominan efectos no auditivos del ruido.

Todos estos efectos se suman para producir el detrimento de la calidad de vida de las personas y del medio ambiente. Aunque a veces no se conozca con exactitud su relación causa - efecto, conviene que sean considerados como origen de problemas para la salud y el rendimiento en el trabajo y, por lo tanto, deben ser estudiados y regulados a fin de ser eliminados o al menos minimizarlos.

Muchos estudios han concluido que entre los problemas psicofísicos, se detectan efectos del ruido en la salud mental y su influencia en el desempeño y la productividad de las personas, especialmente en tareas que requieren

concentración. Estos efectos son comprobables por cambios cuantificables en la presión sanguínea, ritmo cardíaco y en niveles de secreción endocrina.

La tabla 1, presenta una relación entre los niveles de presión sonora y los efectos sobre la salud de las personas.

TABLA 1. Efectos a la salud humana del ruido

Nivel de ruido dBA	Efecto sobre la salud humana
< 35	No es dañino para la salud, aunque a veces es incomodo.
35 – 70	Influye negativamente en el organismo, afecta el sistema nervioso, causa un descenso de la sensibilidad de la vista, dificulta el entendimiento del habla (comunicación) e influye negativamente en el sueño y en el descanso.
70 – 85	Influye negativamente en el rendimiento del trabajo y en la salud, se presenta una disminución auditiva, dolor de cabeza y perturbaciones nerviosas.
85 – 130	Es peligroso para el organismo, produce diferentes perturbaciones, entre ellas, en el sistema circulatorio y digestivo.
> 130	Produce la vibración de algunos órganos internos de las personas, generando su enfermedad y destrucción.

Fuente: Piec, 2004, 183

Efectos de las vibraciones en la salud

Los riesgos psicológicos y fisiológicos en la salud de las personas pueden ser clasificados como agudos o crónicos; existen varias categorías para los efectos fisiológicos de las vibraciones los cuales son mostrados en la tabla 2.

TABLA 2. Efectos fisiológicos de las vibraciones

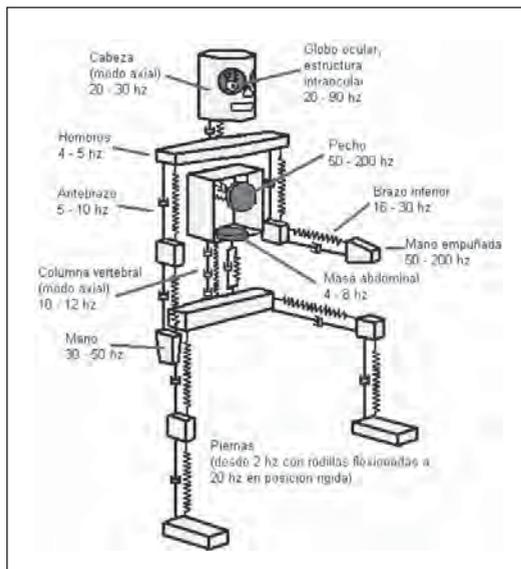
Sistema o proceso	Efecto
Cardiovascular	Aumento en palpitaciones, presión de la sangre, etc.
Respiratorio	Incremento en la ventilación y consumo de oxígeno.
Endocrino y metabólico	Incremento en la temperatura del cuerpo
Procesos motores	Efectos sobre las funciones de músculos, tendones, etc.
Procesos sensoriales	Ilusiones momentáneas y distorsiones del equilibrio.
Sistema nervioso central	Cambios rítmicos en el EEG (electroencefalograma).
Sistema óseo	Efectos crónicos como la degeneración y efectos agudos como la fractura.

Fuente: Jönsson, 2005, 2

El cuerpo humano es biológica y físicamente un sistema de gran complejidad mecánica, por lo que su respuesta a las vibraciones es en general compleja y difícilmente simplificable. Sin embargo, estudios realizados en esta

área determinaron algunas frecuencias de resonancia de las partes más representativas del cuerpo humano presentadas en la figura 2, por lo tanto una continua exposición a vibraciones con frecuencias contenidas en los rangos mostrados en la gráfica, pueden generar la enfermedad e incluso el daño de las partes o órganos especificados.

FIGURA 2. Sistema mecánico simplificado para representar el cuerpo humano



EVALUACIÓN DEL CONFORT EN SISTEMAS FÉRREOS

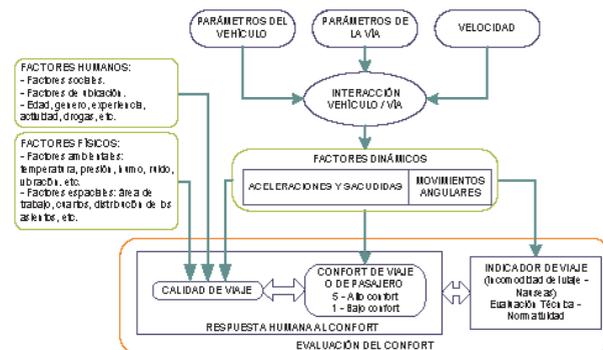
En cuanto a la evaluación del confort en sistemas férreos se presentan tres métodos de evaluación mostrados en la figura 3, la calidad del viaje, el confort de viaje o de pasajero y el indicador de viaje.

La calidad de viaje involucra factores humanos, físicos y movimientos dinámicos, pero el confort de viaje y la evaluación técnica (indicador de viaje) involucran variables dinámicas (movimiento). Algunas de estas cantidades son evaluadas por normas internacionales o por normas de la compañía.

La calidad de viaje, es la reacción de una persona a un juego de condiciones físicas en un vehículo

como ambiente, donde influyen variables dinámicas, ambientales y espaciales. Las variables dinámicas consisten en movimientos medidos como aceleraciones y sacudidas (cambios súbitos de aceleración) en las tres direcciones (lateral, longitudinal y vertical), movimientos angulares sobre estas direcciones (balanceo, cabeceo y serpenteo) y movimientos súbitos, como los choques y sacudidas fuertes. Las variables ambientales pueden incluir temperatura, presión, calidad del aire y ventilación, así como ruido y vibraciones de altas frecuencias, mientras que las espaciales pueden incluir área de trabajo y otras variables de los asientos. Otros factores pueden ser la conveniencia del transporte, la frecuencia, etc.

FIGURA 3. Influencia del vehículo, vía, factores físicos y humanos en el confort



Fuente: Förstberg, 2000, 14

El término confort de pasajero, confort de viaje o confort de viaje promedio o estimado, es usado por muchos como un grado sobre una escala con respecto a la influencia de variables dinámicas. Normalmente esta escala está entre 1 y 5 puntos, entonces, un alto grado sobre la escala (5 puntos) significa un mejor confort de viaje, mientras que bajos grados sobre la escala (1 punto) significa un menor confort de viaje.

El indicador de viaje, puede ser usado como una evaluación técnica de cantidades dinámicas (movimientos del vehículo) de acuerdo con normas emitidas por CEN, ISO, BSI y UIC. Estas técnicas de evaluación están basadas sobre reacciones humanas a esas cantidades dinámicas. Sin embargo, existen muchos argumentos

concernientes a la apariencia de estas reacciones, diferencias en las curvas de ponderación, fórmulas de evaluación y aproximación estadística.

TABLA 3. Algunas normas internacionales para la evaluación del confort

Norma o índice de confort	Cantidad a evaluar
Sperling y Betzhold (Vz)	Aceleraciones verticales.
	Aceleraciones laterales.
Índice de viaje (RI)	Aceleraciones verticales.
	Aceleraciones laterales.
ISO 2631-1	Método normal.
	Método MTVV
	Método VDV
	MSDV (enfermedad de movimiento – mareo)**
BSI 6841	Equivalente a la ISO.
UIC 518	Valor máximo de las aceleraciones.
	Valor r.m.s de las aceleraciones.
	Aceleración quasiestática lateral.
CEN ENV 12299:1999	Confort N_{VA} para pasajeros sentados.
	Promedio N_{VD} para pasajeros parados.
	* N_{MV} método simplificado.
	Confort P_{DR} sobre vías rectas y circulares.
	Local P_{CF} sobre curvas de transición.

Fuente: Betancur, 2005,77

RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DEL CONFORT

La tabla 4, muestra en resumen el proceso de cálculo determinado por los diferentes métodos estudiados, para la evaluación del indicador de viaje.

TABLA 4. Procedimiento cálculo de los indicadores de confort

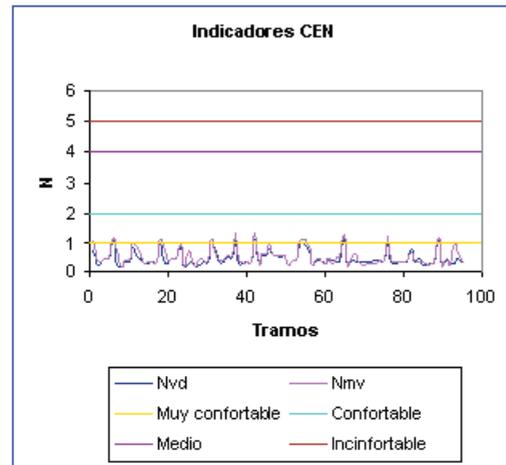
Wz	ISO 2631-1	CEN ENV 12299	UIC 518
	Aceleración en el piso de la caja		
cm/s ²	m/s ²	m/s ²	m/s ²
Calculo del PSD en cada dirección.	Análisis en bandas de 1/3 de octava.	---	---
Ponderación en frecuencias 0.01 y 80hz.	Ponderación según la dirección, por un filtro entre 0.5 y 80hz.	Ponderación usando los filtros ISO.	Filtrado 0.4 a 10 hz y hasta los 20hz
Calculo de la varianza en el intervalo de frecuencia de interés.	---	Hallar el r.m.s cada 5 segundos cada 5min. Generar histograma de la distribución de los valores r.m.s.	Separar los datos por tramos. Separar los tramos de velocidad constante.
Calculo de los indicadores			
Wz adimensional	A_{wz} (m/s ²)	N_{VD} y N_{MV} (m/s ²)	valor estimado (m/s ²)
Calculado para todo un recorrido del sistema Metro			Calculado para cada tramo
Comparar con los límites establecidos			

Fuente: Betancur, 2005, 136

A modo de ejemplo se presentan los resultados obtenidos en la valuación según la norma CEN ENV 12299 y la ISO 2631.

Según la norma CEN 12299, el indicador de confort calculado por el método simplificado N_{MV} y N_{VD} confort promedio para pasajeros sentados, en ambos casos la evaluación considera muy confortable.

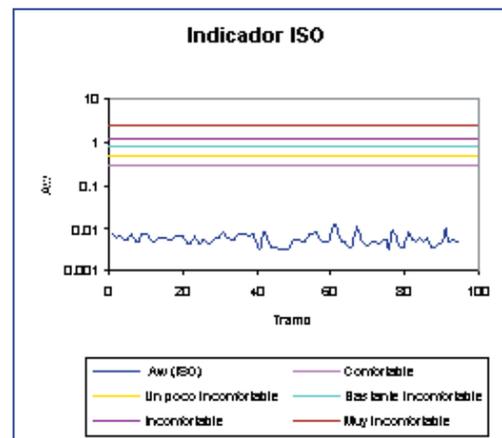
FIGURA 4. Índices de confort CEN para la unidad estudiada



Fuente: Betancur, 2005, 144

Según la norma ISO 2631-1 la unidad es confortable, dado que todos los valores están por debajo de 0.315m/s², como se puede observar en la figura 5.

Figura 5. Índice de confort ISO, para la unidad estudiada



Fuente: Betancur, 2005, 143

EVALUACIÓN DEL RUIDO EN SISTEMAS FÉRREOS

Los niveles globales de ruido recomendados en el interior de los coches operando a máxima velocidad oscilan desde un rango mínimo de 70dB(A), en una vía construida sobre balasto y durmiente en campo abierto, hasta un máximo de 80dB(A) en vías subterráneas la tabla 5 presenta las categorías para evaluar el ruido interior en los coches propuestos por M.E. Bryan, fundamentados en los criterios de diseño para ruido interior en coche según APTA.

TABLA 5. Categorías para el nivel de ruido interior en coches de pasajeros

Categoría	Nivel de ruido no excede dB(A)
Silencioso	67
Audible	73
Notorio	79
Molesto	85
Muy molesto	91

Fuente: INDISA, 1998, 16

La tabla 6 presenta valores de ruido máximo permitidos por la APTA en la construcción de trenes de acuerdo a características propias de operación del sistema como son: el tipo de vía y el tipo de construcción para las estaciones, estableciendo valores adecuados para los niveles de ruido permisibles en el exterior e interior de los coches.

TABLA 6. Niveles de ruido máximos permitidos según APTA

Detalle	Valores óptimos dB(A)
Niveles de ruido en el interior de vehículos (coches vacíos)	
- En cielo abierto (balasto y durmientes) a máxima velocidad sobre riel soldado en línea recta (+5dB(A) sobre riel con uniones pernadas).	70
- En cielo abierto (viaducto) a máxima velocidad.	74
Ruido en estaciones: plataforma a nivel (trenes ingresando y saliendo)	
- Balasto y vía con durmientes.	75 – 80
- Viaducto.	80 – 85
Niveles de ruido exterior: a 15m respecto al eje de la vía, en espacio abierto, sin reflexión de ondas, vía recta, sobre balasto a nivel (respuesta rápida del sonómetro).	
Velocidad (km/h)	Número de coches
130	2 4 8
95	80 86 87
	80 82 83

Fuente: INDISA, 1998, 17

La resolución 8321 de 1983 del Ministerio de Salud de Colombia dicta normas sobre protección y conservación de la audición de la salud y el bienestar de las personas, por causa de la producción y emisión de ruidos.

En el capítulo 4 de la resolución, se dictan normas especiales de emisión de ruido para algunas fuentes emisoras, el artículo 36 dicta: ninguna persona ocasionará o permitirá la operación de vehículos de motor, motocicletas o cualquier otro similar, en las vías públicas y en cualquier momento de tal forma que los niveles de presión de sonido emitidos por tales vehículos excedan los niveles máximos permisibles establecidos en la tabla 7.

TABLA 7. Niveles máximos permisibles para vehículos

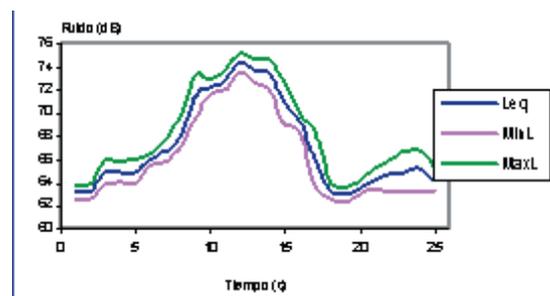
Tipo de vehículo	Nivel sonoro dB(A)
Menos de 12 toneladas	83
De 2 a 5 toneladas	85
Más de 5 toneladas	92
Motocicletas	86

Fuente: Resolución 8321, 1983, 5

RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DEL RUIDO

Se midió el ruido a una distancia de 25m de donde pasaba el tren; para un tren a una velocidad de 60km/h aproximadamente, llegando a la estación.

FIGURA 6. SPL del ruido exterior al paso del tren a 25m

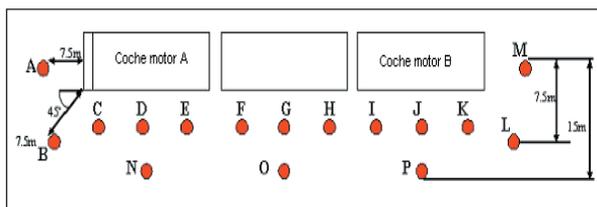


Fuente: Betancur, 2005, 136

En este caso el nivel de presión sonora no supera los 76dBA, tanto para la resolución 8321 como para la propuesta de Picc, el valor esta por debajo de los limites establecidos.

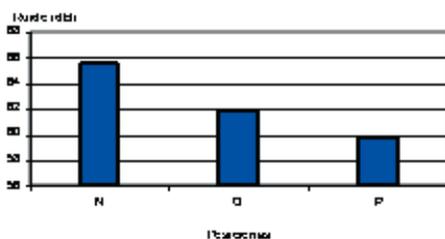
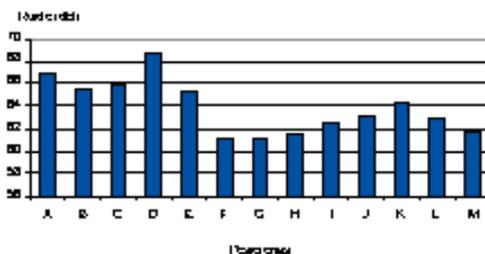
La figura 7, presenta los puntos de medición de ruido exterior generado por el vehículo detenido, según la metodología propuesta por Picc, mientras que la figura 8 muestra los valores de nivel de presión sonora obtenidos en cada punto.

FIGURA 7. Puntos de medición al exterior del vehículo detenido



Fuente: Betancur, 2005, 152

FIGURA 8. SPL al exterior del vehículo detenido a 7.5 y 15m.

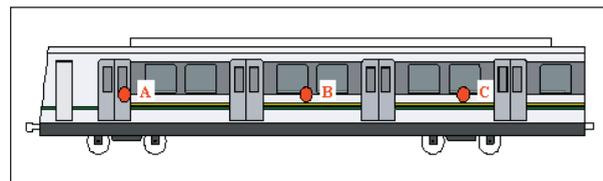


Fuente: Betancur, 2005, 152

Según la resolución 8321 del Ministerio de salud, el nivel de presión sonora debe ser menor a 92dBA, lo cual es cumplido según las mediciones tomadas; todos los puntos arrojan valores inferiores.

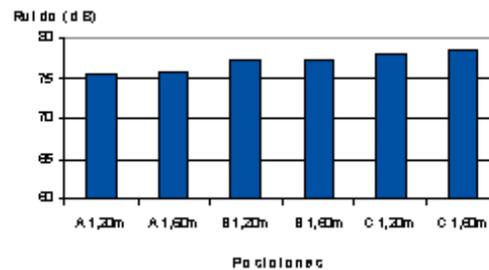
La figura 9 presenta los puntos de medición para el interior del vehículo tanto en marcha como detenido y las figuras 10 y 11 los resultados obtenidos en la medición en ambas condiciones.

FIGURA 9. Puntos de medición del ruido en el interior del vehículo detenido



Fuente: Betancur, 2005, 147

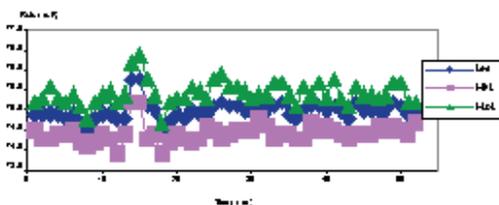
FIGURA 10. SPL en el interior del vehículo detenido, a diferentes alturas



Fuente: Betancur, 2005, 148

Los niveles de presión sonora en estos puntos son catalogados entre audibles (73dB) y notorios (79dB), por la norma APTA.

FIGURA 11. Interior del vehículo en marcha



Fuente: Betancur, 2005, 150

El nivel promedio está en 75.4dBA, el cual es superior a los valores recomendados por la norma APTA y por Pic, los cuales establecen un límite de 70dBA.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Son muchos los factores que generan ruido y vibración en sistemas de transporte, en especial en sistemas ferroviarios, el estado de la vía, la velocidad del vehículo y las características del mismo, juegan un papel importante en la dinámica del vehículo y por ende en el confort de los pasajeros.

Según los factores a evaluar, se puede hacer una clasificación de la evaluación del confort en sistemas férreos, en donde se tiene la calidad de viaje que involucra factores humanos, físicos y movimientos dinámicos; el confort de viaje y la evaluación técnica (indicador de viaje) involucran variables dinámicas (movimiento) solamente; éstas son usualmente aceleración y movimientos angulares. Algunas de estas cantidades son evaluadas por normas internacionales como UIC, ISO, CEN, BSI, entre otras, por metodologías propuesta por estudios como la presentada por Sperling o por normas de la compañía.

Tanto el ruido como las vibraciones generan en las personas afecciones a su confort y salud, si bien el confort experimentado por una persona es un concepto bastante subjetivo, muchos autores buscan definirlo con el fin de verificar como situaciones a las que se ve expuesto el individuo, ejercen un efecto negativo en su percepción del confort.

El ruido y las vibraciones pueden ejercer en las personas expuestas afecciones a su salud, desde una simple molestia, hasta la enfermedad de algunos órganos internos, es por esto que es importante evaluar dichas cantidades en los puestos de trabajo y en los lugares en donde las personas se pueden ver expuestas a condiciones altas de ruido y vibración, además estos factores se han convertido en parámetros de diseño de los vehículos de transporte en los cuales se busca la comodidad o confort de los pasajeros.

Las principales propiedades de las vibraciones que se presentan en líneas ferroviarias y que las diferencian de otras ramas del transporte son su rango estrecho de frecuencias naturales, bajos niveles de aceleración de la vibración y baja estacionalidad de las señales de vibración.

El nivel de aceleración de la vibración que se presentan en vagones de pasajeros es por lo general pequeño. Para material rodante proyectado en los últimos años el valor r.m.s de las señales de la aceleración de la vibración medidas entre 0 a 25hz es por lo general menor a 0.4m/s^2 . Al analizar las amplitudes de aceleración de la vibración medida en el sistema férreo local, se observa que los niveles son próximos a este valor.

La principal diferencia entre los métodos de evaluación del confort, radica en los filtros de ponderación, específicamente en la atenuación de las frecuencias que se encuentran fuera de el y la ganancia de las frecuencias de interés, las cuales por lo general se encuentran en un rango de 0.5 a 80hz, pues en este rango se considera que las vibraciones con estas frecuencias son mas nocivas para las personas influyendo en su confort.

Se analizó el comportamiento de los indicadores de confort de acuerdo a la distribución por tramos separados por curvas de entre 250 y 400m, curvas entre 400 y 600m, curvas de mas de 600m y vías tangentes, se observó que para dichos tramos los niveles de confort permanecieron en un rango estable.

El análisis del confort según las normas establecidas fue el siguiente, ISO lo califica como confortable, W_z para el confort de pasajero, esta en apenas notable, mientras que la calidad de marcha esta en el limite permitido para vehículos de pasajeros, según la norma CEN mediante el método de confort promedio para pasajeros sentados y mediante el método simplificado se tiene un estado muy confortable, situación que se presenta también en los resultados de la UIC.

Según las recomendaciones dadas por Pic, el nivel de presión sonora en el interior del vehículo detenido, debe ser de 60dBA, según las mediciones tomadas todos los

puntos superan este límite, no hay diferencia significativa en las mediciones con respecto a la altura en el mismo punto, tampoco es representativa la diferencia entre los diferentes puntos de medición, sin embargo, existe una pequeña tendencia ascendente, para las mediciones tomadas en la parte posterior del vagón, es por esto que en la metodología propuesta para las mediciones de ruido se recomienda solo realizar una medición en la parte posterior del vagón. Es de aclarar que dicha metodología solo es una propuesta que requiere mediciones en mas unidades, con el fin de verificar la validez de las afirmaciones mencionadas en el presente informe, el fin de la propuesta es disminuir el tiempo de toma de medidas.

Según la resolución 8321 del Ministerio de salud, el nivel de presión sonora debe ser menor a 92dBA, en el exterior del vehículo detenido y en movimiento, lo cual se cumple, según las mediciones tomadas todos los puntos arrojan valores inferiores. Se recomienda tomar las mediciones en sólo dos puntos recomendados en la metodología propuesta, puesto que en dichos lugares se presentan los niveles máximos, los cuales son considerados más representativos, y así se reduce sustancialmente el tiempo requerido para las mediciones.

BIBLIOGRAFÍA

- ARANA BURGUI, Migel y Eransus Izquierdo, Javier. Disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la exposición a las vibraciones mecánicas en los puestos de trabajo : Extracto de directiva 2002/44/CE, Norma UNE-EN-ISO 5349-1 y Norma ISO 2631-1. Navarra : Departamento de Salud, Instituto Navarro de Salud Laboral, 2004. 24 p.
- BOTERO HERRERA, Francisco Javier. Herramienta para asistir la aprobación de vehículos ferroviarios según la norma UIC 518. Medellín : El autor, 2004. 44 p.
- BRÜEL & KJÆR, SOUND & VIBRATION MEASUREMENT A/S. Ruido Ambiental. Barcelona : BRÜEL & KJÆR, 2000. 70 p.
- CARLBOM, Pelle. Carbody and passengers in rail vehicle dynamics. railway technology. Stockholm: Engineering. Royal Institute of Technology, 2000. 107 p.
- CHUDZIKIEWIEZ, Andrzej i GROLL, Witold. Metoda oceny komfortu jazdy w lukach i krzywych przejściowych. s.l. : Centrum naukowo techniczne kolejnictwa, 2002. 4 p.
- CORRADI, Roberto. Il comfort dei veicoli ferroviari. Italia: el autor, 15p.
- CZAJKA, Józef H. Pomiary drgań i hałasu na stanowiskach pracy w transporcie. Warszawa : Oficyna wydawnicza politechniki warszawskiej, 2000. 249 p. ISBN 83 – 7207 – 178 – 0.
- DUMUR, Eliane; BARNARD, Ivonne and BOY, Guy. Designing for comfort. Toulouse: EURISCO International, 2004. 12 p.
- ESVELD, Coenraad. Modern railway track. 2 ed. Delft : TU Delf, Delft university of technology, 2001, p 155 – 157, 459 – 473. ISBN 90 – 800324 – 3 – 3.
- FÖRSTBERG, Johan. Ride comfort and motion sickness in tilting trains : Human responses to motion environments in train experiment and simulator experiments. Stockholm, 2000, 164 p. Doctoral thesis. Royal Institute of Technology. Department of Vehicle Engineering.
- GROLL, Witold. Póśrednia metoda wyznaczania komfortu jazdy i stopnia narazenia zdrowia na drgania. s.l. : xxxxx, 1992. p 30 – 39.
- HARRIS, Cyril M. Manual de medidas acústicas y control del ruido. 3 ed. Madrid : McGraw Hill Interamericana de España, 1995. 2 v.
- INDISA. Programa de evaluación y seguimiento del efecto de la operación del metro en el ruido ambiente. Medellín : el autor, 1998. 174p.
- INTERNATIONAL UNION OF RAILWAYS (UIC). Testing and approval of railways vehicles from the point of view of their dynamic behaviour, safety, track fatigue

- and ride quality. 2 ed. Paris : UIC, 2003. 72 p. : il. (UIC 518 OR).
- INTERNATIONAL UNION OF RAILWAYS (UIC). Rail defects. 4 ed. Paris : UIC, 2002. 111 p. : il. (UIC 512 R).
- ISAZA RUIZ, Santiago, TORO BOTERO, Hernán y URIBE GÓMEZ, Santiago. Teoría de barreras y encierros acústicos en salones industriales: Modelo matemático y simulación en computador. Medellín, 1988, 3 – 25 p. Trabajo dirigido de grado presentado como requisito para optar el título de ingeniero mecánico. Universidad Pontificia Bolivariana. Facultad de ingeniería mecánica.
- JONSSON, Peter. Procedure for the reduction of the effect of transient whole body vibrations. Sweden, 2005, 35 p. Doctoral Thesis. Lulea University of Technology. Department of Human Work Sciences. Division of Sound and Vibration.
- KOZUBEK, Konrad & TOMASZEWSKI, Franciszek. Analiza i ocena zjawisk wibroakustycznych wagonów pasazerskich. s.l.: Instytut Pojazdów Szynowych, Politechnika Poznanska, 2020, 5 p.
- LAURIKS, J, et al. UIC comfort tests : Investigation of ride comfort and comfort disturbance on transition and circular curves. s.l. : International Railway Union, 2003. 130 p.
- MACMILLAN, Renata, Assessment and control of whole-body vibration. Australia : SafetyLine Institute, 1998. 25 p.
- MARCINIAK, Józef. Wpływ drgan podjazdów szynowych na organizm ludzki. En : XIV Konferencja Naukowa Pojazdy Szynowe: Pojazdy Szynowe Na Przelomie Wieków (2000 : Kraków), 2000. p 65 – 71.
- MINISTERIO DE SALUD. Resolución 8321 de 1983. Bogotá : Ministerio de salud, 1983. 11p. (Resolución 8321:1983).
- MIYARA, Federico. Niveles Sonoros [en línea]. [Rosario, Argentina] : Universidad Nacional de Rosario, 2005. [citada 13 mayo de 2005]. Disponible en Internet: <<http://www.eie.fceia.unr.edu.ar/~acustica/comite/niveles.htm>>.
- MIYARA, Federico. Contaminantes físicos : criterios sobre vibraciones. Argentina : Universidad Nacional de Rosario : Facultad de ciencias exactas, ingeniería y agrimensura. 2005. 17 p.
- MONDELO, Pedro R. et al. Ergonomía 4: El trabajo en oficinas. Barcelona : Ediciones UPC, 2001. v.4, p.171–172.
- GRIFFIN, Michael J. Riesgos generales : vibraciones. Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo. España : OIT (Organización Internacional del Trabajo). 2001. p 50.1 – 50.17.
- PIEC, Pawel. Badana eksploatacyjne elementów i zespołów pojazdów szynowych. Kraków : Politechnika Krakowska, 2004. 248 p. ISBN 83-7242-311-3.
- TERRES ALEGRET, Xavier. Análisis de forjados metálicos a partir de ensayos dinámicos. s.l., 2004, 115 p. Tesis de fin de carrera (Ingeniero de caminos, canales y puertos). Universidad Politécnica de Cataluña. Departamento de la Ingeniería de la Construcción.
- VIRO, Gabriel E et al. Protocolo de mediciones para trazado de mapas de ruido normalizados. Buenos Aires : Universidad de Buenos Aires, 2002. 55 p.
- ZUO, L. y NAYFEH, S.A. Low order continuous - time filters for approximation of the ISO 2631-1 human vibration sensitivity weightings. En : Journal of sound and vibration. 265, 2003; pp. 459 – 46.

CARACTERIZACIÓN Y ANÁLISIS ENERGÉTICO DE UNA CELDA DE COMBUSTIBLE PEM

JULIÁN ANDRÉS CARDONA YEPES. jcardo15@eafit.edu.co
LUIS SANTIAGO PARÍS L. lparis@eafit.edu.co
Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS

DISEÑO DE SISTEMAS TÉCNICOS

ASESOR PRINCIPAL

DR LUIS SANTIAGO PARÍS L.

EMPRESA

UNIVERSIDAD EAFIT – ÁREA DE TÉRMICA

RESUMEN

El tema de las celdas de combustible es uno de los más abordados en la llamada tecnología del hidrógeno, esta alternativa de generación es bastante llamativa por su alta eficiencia y baja contaminación y de ser viable económicamente resuelve uno de los mayores dilemas de los ingenieros, producir energía con altas eficiencias a un costo moderado y con muy poco impacto ambiental.

ABSTRACT

The fuel cell subject is one of the most treated inside the Hydrogen technology, This generation alternative is truly encouraging because of the high efficiency and low contamination in fact it could solve one of the greatest problems of engineering: generating energy at low cost with a low environmental impact.

PALABRAS CLAVE

Celdas de combustible, Hidrógeno, Generación de energía, Energías alternativas.

KEY WORD

Fuel Cells, Hydrogen, Energy generation, Alternative energy.

ARTÍCULO

Reconociendo en las celdas de combustible un gran potencial este proyecto realiza un acercamiento a esta tecnología; para ello se apoya en una recopilación de información acerca del funcionamiento, montaje y operación y se complementa con una experiencia propia en los mismos aspectos de funcionamiento, montaje y operación.

El proyecto propone un protocolo de pruebas para la celda que permite repetir satisfactoriamente y bajo las mismas condiciones el montaje y operación. Pretendiendo con esto establecer un punto de partida para futuras investigaciones o montajes en aplicaciones industriales.

Lista de términos

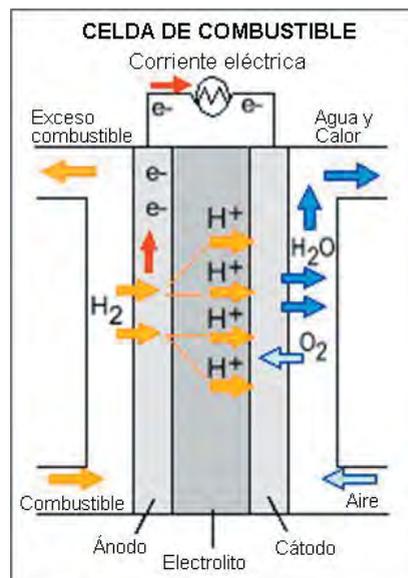
V	Voltaje
I	Corriente
E	Potencial de equilibrio
E°	Potencial estándar ideal
η	Polarización
H ⁺	Catión de hidrógeno
e ⁻	Electrón
H ₂	Molécula de hidrógeno
O ₂	Molécula de hidrógeno
H ₂ O	Molécula Agua
F	Constante de Faraday (96484C/mol)
R	Constante universal de los gases (8.315J / g mol x K)
α	Transferencia de electrones de la reacción en el electrodo.
Re	Resistencia eléctrica
P	Potencia disipada
SR	Relación estequiométrica
M	Peso molecular
Φ	Humedad relativa
Cp	Calor específico
hfg	Entalpía de vaporización
Psat	Presión de saturación
n	Número de electrones

FUNCIONAMIENTO DE LAS CELDAS DE COMBUSTIBLE

Las celdas de combustible se basan en los mismos principios electroquímicos que las baterías convencionales. Su característica distintiva es que las sustancias que reaccionan se alimentan en forma continua al sistema, de manera que estas celdas, a diferencia de las convencionales, no se descargan cuando los productos químicos del interior se agotan. Genera electricidad combinando hidrógeno y oxígeno electroquímicamente sin ninguna combustión (no hay llama). El tipo más sencillo de celda de combustible es la de membrana de intercambio protónico (PEM) esta emplea hidrógeno y oxígeno como combustible y el único subproducto que se genera es agua 100% pura.

En las celdas se han empleado diversas soluciones de electrólitos como ácido sulfúrico, ácido fosfórico y soluciones de hidróxido de potasio.

FIGURA 12. Esquema de funcionamiento celda de combustible PEM



Fuel cells 2000

Termodinámica de las celdas de combustible

El rendimiento ideal de una celda de combustible está definido por el potencial de Nernst representado como el voltaje de la celda. La reacción total en la celda correspondiente a la reacción individual en el electrodo está dada en la Tabla 1 con su correspondiente ecuación de Nernst. La ecuación de Nernst provee una relación entre el potencial estándar ideal (E°) para la reacción de la celda y el potencial ideal de equilibrio (E) a otras temperaturas y presiones parciales de los reactivos y los productos. Una vez conocido el potencial ideal a condiciones estándar, el voltaje ideal puede predecirse a otras temperaturas y presiones usando estas ecuaciones. De acuerdo con la ecuación de Nernst para la reacción del hidrógeno, el potencial ideal de la celda a una temperatura dada puede incrementarse operando la celda a presiones más altas, éstos incrementos en el rendimiento de la celda se han observado efectivamente al operarlas a altas presiones.

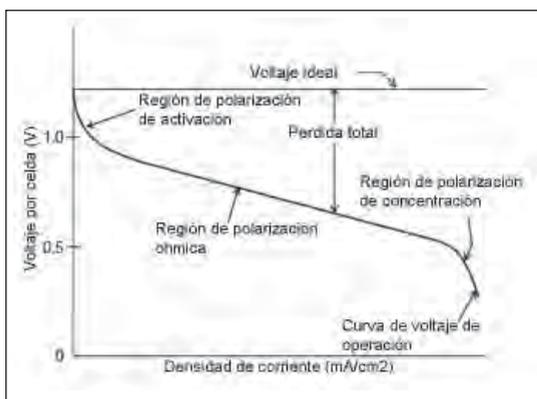
TABLA 5. Reacciones y su correspondiente ecuación de Nernst

Reacción en la celda	Ecuación de Nernst
$H_2 + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow H_2O$	$E = E^{\circ} + (RT/2F) \ln(P_{H_2} / P_{H_2O}) + (RT/2F) \ln(P_{O_2}^{1/2})$
$H_2 + \frac{1}{2} O_2 + CO_2 \rightarrow H_2O + CO$	$E = E^{\circ} + (RT/2F) \ln[P_{H_2} / P_{H_2O}(P_{CO_2})^{1/2}] + (RT/2F) \ln[(P_{CO})^{1/2}]$
$CO + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow CO_2$	$E = E^{\circ} + (RT/2F) \ln(P_{CO} / P_{CO_2}) + (RT/2F) \ln(P_{O_2}^{1/2})$
$CH_4 + 2O_2 \rightarrow 2H_2O + CO_2$	$E = E^{\circ} + (RT/8F) \ln(P_{CH_4} / P_{H_2O} P_{CO_2}) + (RT/8F) \ln(P_{O_2}^2)$

El potencial ideal estándar (E°) de una celda de combustible H₂/O₂ es 1.229 V, cuando los productos son agua líquida, y de 1.18 V cuando los productos son agua en estado gaseoso. Este valor se muestra en numerosos libros de química como el potencial de oxidación del hidrógeno.

El trabajo útil (energía eléctrica) se obtiene de la celda sólo cuando se induce una corriente razonable sin embargo el potencial actual de la celda decrece del potencial de equilibrio debido a las pérdidas irreversibles como se muestran la Figura 2. Son muchas las causas que contribuyen a las pérdidas irreversibles en una celda real. Las pérdidas, que comúnmente son llamadas polarización, sobrepotencial o sobrevoltaje (η), se originan principalmente de tres fuentes: 1º polarización de activación, 2º polarización óhmica y 3º polarización de concentración. Estas pérdidas resultan en un voltaje en la celda menor al voltaje ideal.

FIGURA 13. Características de Voltaje-Corriente para una celda de combustible



EG&G Technical Services, 2000

Las pérdidas de polarización de activación están en el dominio de las bajas densidades de corriente, en este punto, las barreras electrónicas se superponen a la corriente y el flujo de iones. Las pérdidas de activación se incrementan en tanto se incrementa la corriente. Las pérdidas por polarización óhmica varían directamente con la corriente, al incrementar la corriente en todo éste rango la resistencia de la celda permanece esencialmente constante. Las pérdidas por el transporte de masa del gas ocurren en todo el rango de densidad de corriente, sin embargo estas pérdidas se hacen prominentes en el límite más alto de las corrientes cuando es difícil proveer suficiente flujo de reactivo a la reacción en la celda.

MODELO EMPÍRICO

Para caracterizar el rendimiento del ensamble individual de la membrana electrodo en diferentes condiciones y para facilitar el diseño de las celdas de combustible, se han retomado modelos que se usan comúnmente para describir los límites de transportes de masa. La relación entre el potencial de la celda y la densidad de corriente bajo condiciones que no incluyen los límites de transporte de masa se describen comúnmente por una relación Tafel con un término más de para resistencia.

$$E = E_0 - b \ln(i) - iR$$

Esta ecuación es valida solo para bajas densidades de corriente (menos de 400 mA/cm²).

Se puede usar un software para estimar parámetros no lineales y con este determinar los parámetros de la ecuación (E_0 , b y R). Estos estimativos generalmente brindan una caracterización precisa de las curvas E . I. alcanzando coeficientes de correlación encima de 0.99. A densidades de corriente superiores el potencial observado decrece mucho más rápidamente que la ecuación. La diferencia (E) de potencial observado y el potencial estimado se ajusta a los datos de baja densidad de corriente y estima la pérdida potencial debida a los límites de transportes de masa. Puede demostrarse que la diferencia potencial se puede aproximar como una función exponencial de la densidad de corriente.

$$\Delta E = a \exp(ki)$$

Combinando las ecuaciones

$$E = E_0 - b \ln(i) - iR - a \exp(ki)$$

Que describe completamente la curva E. I.

Inicialmente se estima el parámetro b y R ajustando la ecuación a los datos inferiores a 400mA/cm2.

En el trabajo de Chamberlin, (1994) se utilizó la ecuación descrita para caracterizar la relación E. I.. La aceptación de esta ecuación es generalmente muy buena con coeficientes de correlación por encima de 0.99. También se encontró que la ecuación provee una descripción precisa de la relación E. I. sobre un amplio rango de temperatura, presión y condiciones de la reacción.

NECESIDADES DE MONTAJE

El funcionamiento de la celda requiere hidrógeno y aire a una determinada humedad por lo que resulta indispensable un sistema de suministro continuo de hidrógeno y de aire.

Además del funcionamiento, para realizar la caracterización se requiere tener control sobre las variables de entrada y poder medir las variables de salida del sistema, esto es básicamente: Regular el flujo y presión del hidrógeno, regular el flujo Y presión de aire, monitorear la temperatura de la celda, medir el voltaje total del arreglo así como el voltaje de cada celda y finalmente medir la corriente del circuito.

SUMINISTRO DEL HIDRÓGENO

El subsistema de suministro de hidrógeno para una celda de combustible generalmente utiliza tanques de almacenamiento de alta presión para el gas hidrógeno comprimido. Desde la perspectiva de la celda de combustible el hidrógeno comprimido almacenado de esta manera es la opción más eficiente. El hidrógeno es almacenado a presiones significativamente superiores que las necesarias para la celda (3000 a 5000 PSI) un

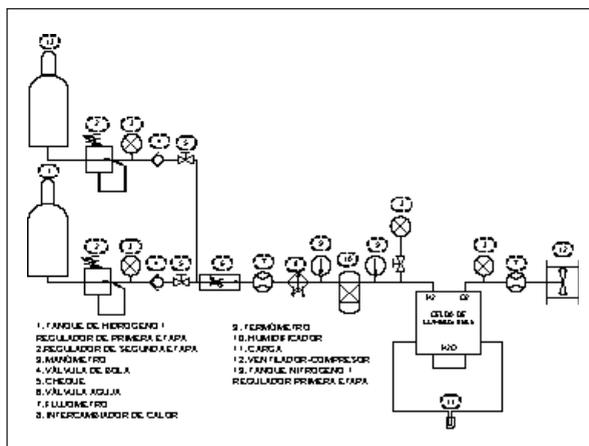
sistema simple para regular presión y flujo son suficientes para asegurarse que la celda reciba hidrógeno a la presión y flujo necesario. Además como el gas es esencialmente 100% hidrógeno no hay pérdidas de rendimiento en el lado del ánodo asociadas con dilución.

FIGURA 14. Regulador de primera y segunda etapa para hidrógeno



Autoría propia, Cortesía IET UPB

FIGURA 15. Esquema de suministro de hidrógeno



Autoría propia

El flujo de combustible así como el flujo de oxígeno determinan la potencia producida por la celda. A medida que las celda entrega corriente el hidrógeno reacciona en el electrodo dividiéndose en electrones e iones de hidrógeno, y debido que la corriente es una medida de flujo electrones el flujo másico de hidrógeno está directamente relacionado con la corriente entregada. Normalmente si existe un flujo de hidrógeno equivalente

al necesario para producir la corriente esperada esto corresponde a una relación estequiométrica de 1. En algunas ocasiones para dar flexibilidad a la operación se aumenta la relación estequiométrica es decir se suministra mas hidrógeno del necesario.

El balance de la reacción que ocurre en el ánodo determinan la cantidad de hidrógeno necesario para producir un flujo específico de electrones, según esto el flujo másico de hidrógeno queda determinado por:

$$\dot{m}_{H_2} = \frac{P(SR_{H_2})M_{H_2}}{nFV_c \chi}$$

El sistema humidificador por burbujeo empleado y en general la red de suministro requiere un sistema de purga del oxígeno residual pues la mezcla con el hidrógeno es peligrosa, para este fin se emplea un gas inerte como el Nitrógeno en un arreglo by pass

SUMINISTRO DE AIRE

Hay dos opciones para el subsistema de suministro de aire, un compresor o un soplador (ventilador), cualquiera los dos debe ser conectado a un motor. El ventilador entrega aire a una presión cercana a la ambiente pero puede variar el flujo entregado al arreglo con el fin de variar la relación estequiométrica. En contraste un compresor puede variar ambas, presión y flujo.

El la celda de combustible utilizada para la prueba no tiene una entrada de aire única, debido a que esta diseñada para tomar el aire del ambiente.

El flujo de aire necesario no puede controlarse pero puede determinarse de manera similar al flujo de hidrógeno, en este caso se utiliza el balance de la reacción que ocurre en el cátodo.

$$\dot{m}_{A_2} = \frac{1}{2} \times \frac{4.76PSR_{A_2}M_{A_2}}{nFV_c \chi}$$

HUMIDIFICACIÓN

Para evitar que la membrana (electrolito) se seque en las celdas de combustible, especialmente aquellas que

membrana intercambio protónico (PEM), requiere que el proceso de entrada de gases, tanto el aire como el combustible sean humidificados. Los procesos convencionales para humidificar los gases por burbujeo, por contacto con paredes húmedas o por atomización. (WOLFRAM, 1995).

FIGURA 16. Sistema de humidificación por burbujeo



Autoría propia, Cortesía IET

La atomización ofrece un gran control en la humedad relativa sin embargo es necesario un balance muy estricto pues la cantidad de agua requerida para alcanzar la saturación varía enormemente según la presión y temperatura de los gases, además de este enorme esfuerzo para balancear justo la cantidad de agua requerida existe un problema adicional pues el suministro necesario de agua para celdas pequeñas (menos de 1kW) es inferior a 10 gramos por minuto de manera que esta opción podría ser empleada para celdas grandes pero no es práctica para el prototipo DAC-10.

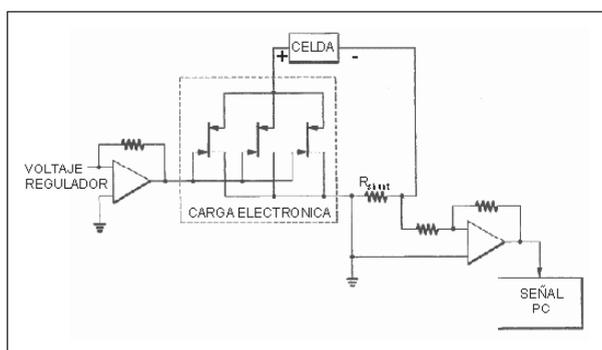
La humidificación del sistema se realiza por burbujeo en un sistema simple de saturación sin control de temperatura, inicialmente solo se humidificará el combustible, aprovechando las condiciones ambientales del sitio casi puede garantizarse que el aire aunque no se humidifica tiene un mínimo de 60% de humedad relativa.

Gracias a la condición inicial del hidrógeno de 0% de humedad relativa el balance resultante requiere solamente la Presión y la diferencia de temperatura entre la entrada y la salida para determinar la humedad relativa final.

SISTEMA DE VARIACIÓN DE LA CARGA

Realizar una curva de caracterización de una celda requiere operar la celda en rangos de densidades de corriente que abarquen cualquier situación posible a la que pueda ser sometida la celda; para este propósito la carga con la que se prueba la celda de combustible debe tener la posibilidad de exigir diferentes consumos de potencia variando la carga resistiva mientras consume una corriente mayor, en el mercado se encuentran elementos que pueden cumplir esta función estos son llamados sistemas electrónicos de control de carga o cargas electrónicas, en algunos diseños se emplean transistores FET puestos en arreglos paralelos que se utilizan como una carga variable a través de una variación en el voltaje de la base, Se utilizó un sistema de este tipo propuesto por CISAR (1996) en la patente referida.

FIGURA 17. Esquema carga electrónica



Autoría propia

PROTOCOLO DE PRUEBAS PROPUESTO

El protocolo de pruebas representa la parte práctica de la experiencia, la finalidad de este es lograr unas pruebas confiables y repetibles que además están planeadas con unos objetivos específicos.

La caracterización de una celda se basa prácticamente en dos aspectos, verificar que todas las celdas que componen el arreglo operan de manera similar y “correctamente” y graficar el comportamiento de la potencia ante varias situaciones de operación, esta condición se registra normalmente como una curva de polarización, voltaje vs densidad de corriente, de esta manera el protocolo tendrá como objetivo verificar la condición de operación (voltaje) individual de cada celda y además construir gráficas de polarización para diferentes estados de operación en donde varía básicamente el suministro de los gases.

La adquisición de datos se realiza utilizando la interfase desarrollada en el lenguaje LabView.

En la construcción de las gráficas cada prueba representa un punto y las condiciones de operación determinante a que gráfica pertenece. En cada prueba sin embargo se realizan varios muestreos, debido a que es una condición estable de operación los datos no deben variar, la prueba se rechaza si la desviación de cualquiera de los datos supera el valor acordado en 5%. El resultado de cada prueba será el valor medio de todas las muestras tomadas. El número de muestras se establece en 40 muestras pues es un valor superior al mínimo de muestras recomendado para una distribución estandar.

La secuencia de realización del protocolo es la siguiente:

1. Variar la carga de la red eléctrica

Justificación: Al variar descendientemente la carga eléctrica (resistencia) las condiciones de operación de la celda se alteran. La potencia disipada por el resistor cambia al variar el valor de la resistencia y es máximo cuando iguala la resistencia interna de la celda haciendo que los valores de voltaje y corriente se adecuan a las nuevas condiciones de operación de esta manera la densidad de corriente se aumenta hasta un valor pico y se registra los valores de voltaje que se alcanzan.

2. Tomar curva Ei variando el suministro de H2 y realizar procedimiento 1

Justificación: Un alza en la potencia de salida requiere mayor consumo de H2 al variar el suministro de H2 puede establecerse un consumo para una potencia determinada, además, puede determinarse la operación de la celda con una mayor o menor relación estequiométrica de H2 es decir la celda trabajando con exceso de H2 y con deficiencia de H2.

3. Variar el suministro de O2 y realizar el procedimiento 1

Justificación: El suministro de O2 varia las condiciones de la curva además el aire en exceso refrigera la celda por lo que se pueden alcanzar operaciones mas criticas sin exceder el límite de temperatura y de esta manera graficar la curva en el dominio de los valores de densidad superiores.

4. Variar la humedad y realizar el procedimiento 1

Justificación: La humedad es otro de los factores que condiciona la operación de la celda se busca ver el efecto que esta variación pueda tener en la forma de la curva y como predecir estados de inundación y secado de la membrana. Este procedimiento debe llevarse a cabo con sumo cuidado, sin embargo puede garantizarse que el valor mínimo de humedad en el aire será la humedad de Medellín (aprox. 60%).

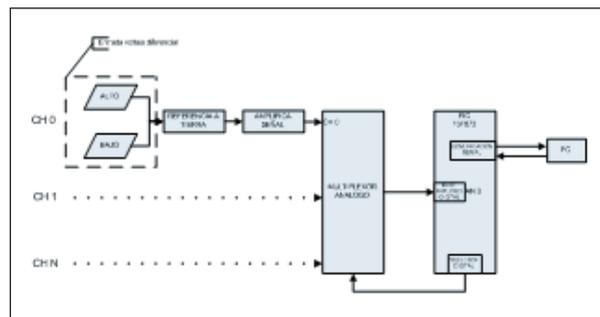
5. Monitorear la operación por un tiempo definido

Justificación: Con las pruebas anteriores puede determinarse una condición en la que quiera operarse la celda y garantizarla utilizando las condiciones de las variables de entrada. Con esta prueba se quiere observar la estabilidad de la celda al operar en estas condiciones y visualizar posibles necesidades de control para una operación continua.

Debido a la gran cantidad de variables involucradas en el proceso y tomando en cuenta que el voltaje debe medirse en cada celda de manera aislada, para la adquisición de datos se desarrollo una herramienta que simplifique en gran escala la labor de múltiple toma de datos.

Se buscaba que los datos pudieran ser procesados por lo que la disposición final de estos debe ser el PC, se selecciono un microcontrolador utilizando una comunicación serial con el PC, esta elección aunque requería un mayor esfuerzo en desarrollo y programación, ofrecía otras ventajas como su bajo precio, operación autónoma y flexibilidad en la programación.

FIGURA 18. Esquema general adquisición de datos



Autoría propia

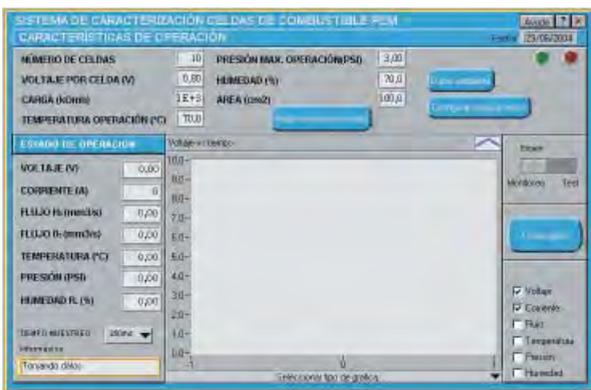
La Figura 7 muestra el proceso de adquisición de datos de manera esquemática, los datos llegan como una diferencia de voltaje desde el sensor, la señal se referencia a la misma tierra del PIC con lo que ahora se maneja una sola señal que es la diferencia de las entradas iniciales. Luego de ser amplificada (de ser necesario) llega por los diferentes canales a un multiplexor análogo que funciona como un suiche para que el PIC lea una sola señal al tiempo. Todo el manejo de la señal hasta este punto ha sido análogo el PIC se encarga entonces de hacer una conversión de esta entrada análoga a un valor digital que posteriormente envía al PC utilizando una comunicación serial.

Todos los datos adquiridos en diferentes condiciones se agrupan dentro del software como un proyecto y de cada proyecto se obtiene una curva de polarización. El procesamiento de datos retoma toda la información de voltaje y corriente almacenada en el paquete de informes y la deposita en un archivo único que contiene todos los datos para construir la curva de caracterización.

El objetivo es utilizar los datos del cada test como un punto (pareja ordenada) para construir las gráficas de polarización que definen el comportamiento de la

celda. Es necesario realizar un cambio manual en las condiciones para tomar otro punto, por lo que solo debe iniciarse un test por cada punto a tomar. Una vez adquiridos todos los datos posibles se realiza el procesamiento.

FIGURA 19. Pantalla principal interfase PC – monitoreo y configuración



Autoría propia

FIGURA 20. Pantalla principal interfase PC – test



Autoría propia

PROCESAMIENTO DE DATOS

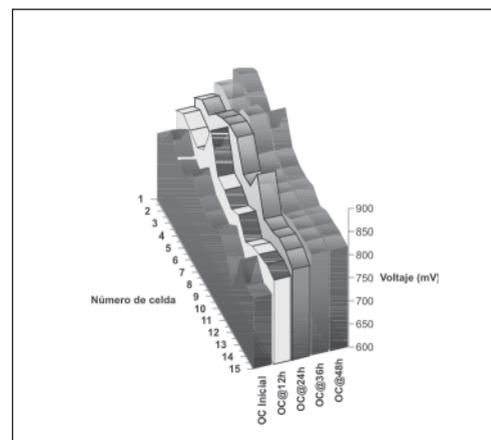
El pre-procesamiento de datos excluye del informe los datos que tienen un coeficiente de variación muy alto, es decir si los datos no son muy cercanos entre si se excluyen en el momento mismo de la adquisición, posteriormente se realiza una regresión no lineal para

estimar 3 parámetros utilizando el método de Levenberg Marquardt con los datos correspondientes a las bajas densidades de corriente y finalmente se realiza una estimación no lineal de 5 parámetros con el total de los datos y utilizando como valores iniciales los parámetros encontrados en el paso anterior.

RESULTADOS OBTENIDOS

FIGURA 21. Celda DAC-10 sin carga

Comportamiento en el tiempo de la celda de combustible sin carga



Autoría propia

La Figura 10 ilustra el comportamiento de la celda de combustible operada sin carga, aunque se esperaba que la celda cayera en su operación después de un tiempo sin carga el comportamiento fue totalmente contrario, la celda mejoró su condición con el tiempo y se estabilizó en su comportamiento después de una 24 horas de operación.

La Figura 11 es el resultado de la operación de la celda con una carga fija que demandaba una corriente de 1.3 Amp en la figura se observa que el comportamiento inicial de cada celda se mantiene muy constante en el tiempo además se observa una mejor respuesta de las celdas que se encuentran cerca al suministro de hidrógeno (Celdas 1-5).

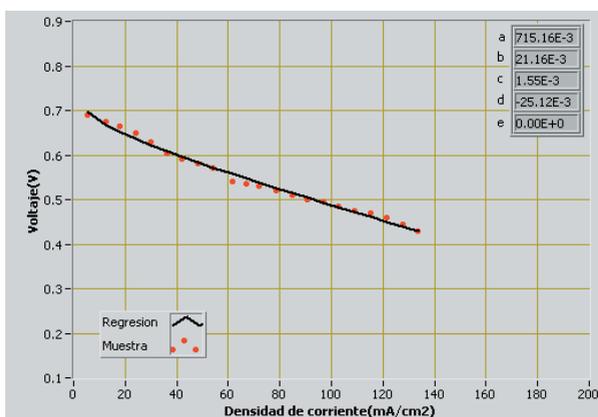
FIGURA 22. Celda DAC-10 en operación



Autoría propia

La Figura 12 ilustra el comportamiento de la celda de combustible bajo una carga variable y las demás condiciones de operación fijas, es notorio que la celda solo operó en el dominio de las bajas densidades de corriente. En los puntos máximos alcanzados la celda claramente sobrepasaba la corriente nominal de operación dada por el fabricante sin embargo nunca se alcanzaron densidades de corriente similares a las ilustradas en los casos de pruebas documentados.

FIGURA 23. Curva Ei de caracterización de la celda PEM



Autoría propia, Operación hidrogeno a 3 PSI Temperatura max. 62°C

Según los parámetros obtenidos la ecuación queda constituida como

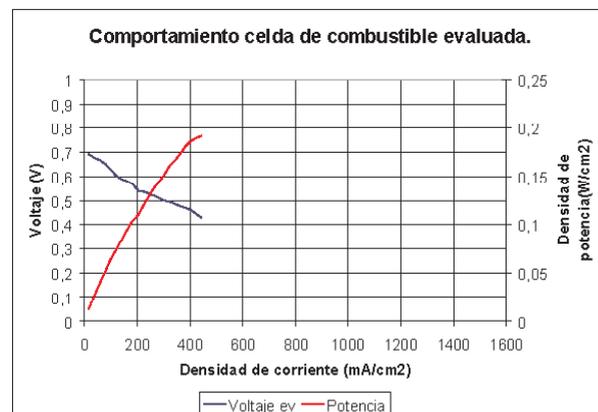
$$E = 715.16E-3 - 21.1E-3 \ln(i) - 1.55E-3 \times i + 25.12E-3 \exp(0)$$

Teniendo en cuenta que la parte exponencial se convierte en constante al tener como parámetro "0" se obtiene

$$E = 690.04E-3 - 21.16E-3 \times \ln(i) - 1.55E-3 \times i$$

De la ecuación produce un resultado bastante interesante, el termino que describe el comportamiento de polarización por concentración que se presenta en altas densidades de corriente se convierte en un valor fijo de esta manera el algoritmo solo tiene tres parámetros validos que corresponden a los parámetros de las bajas densidades de corriente. Los datos obtenidos no alcanzan a representar el comportamiento en las altas densidades de corriente y este resultado se refleja también en los parámetros resultantes depuse de correr el algoritmo de estimación.

FIGURA 24 Caracterización de la ceda evaluada



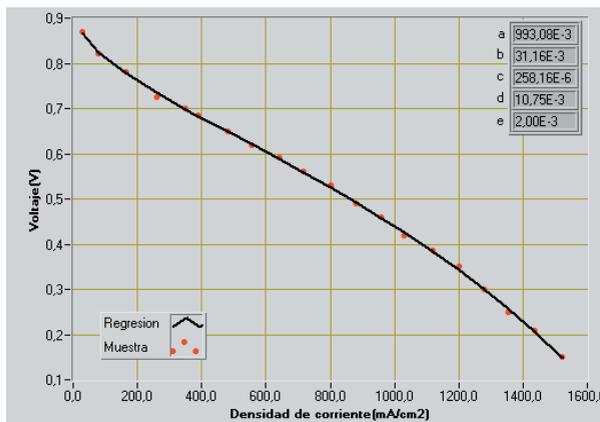
Autoría propia

Con el ánimo de comparar los resultados obtenidos se analizó el comportamiento de otra celda cuyos datos de operación se encuentran dentro de la literatura consultada.

La Figura 14 muestra el resultado de la caracterización de una celda tipo PEM con los datos publicados

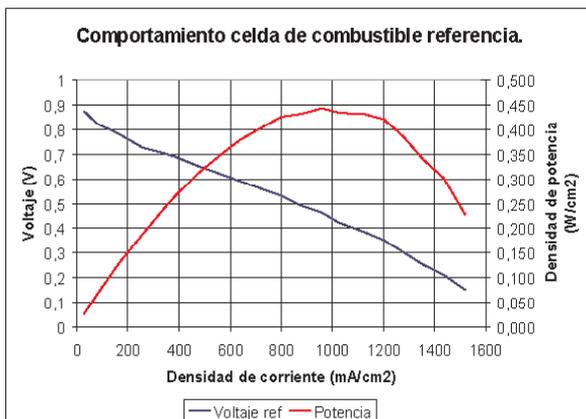
por Paganin, 1995, Estos datos ofrecen la ventaja operativa que fueron tomados en casi la totalidad del rango de densidades de corriente por lo que se utilizo para observar el comportamiento de la estimación de parámetros en un rango que incluya las altas densidades de corriente. Esta curva es el resultado de aplicar el método Levenberg Marquardt en repetidas ocasiones utilizando cada vez como parámetros de entrada los datos adquiridos anteriormente, la predicción del modelo empírico es bastante buena con un error cuadrado medio de 6.07E-5.

FIGURA 25. Curva Ei de caracterización de la celda PEM



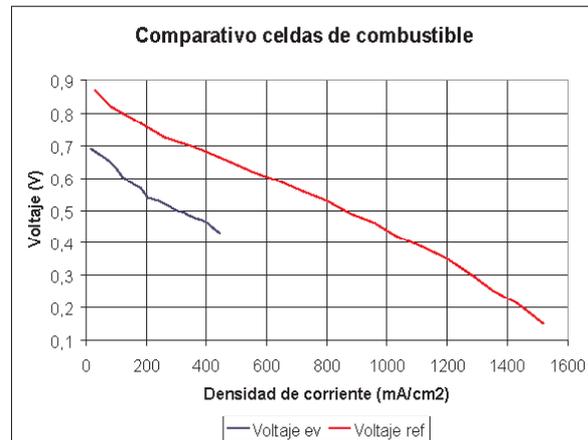
Autoría propia

FIGURA 26 Celda de combustible de referencia



Autoría propia

FIGURA 27. Figura comparativa del comportamiento de la celda



Autoría propia

Al comparar las curvas de operación de las celdas se observa como la celda evaluada tiene un menor rendimiento al de la celda con la que se compara además se visualiza mas claramente como la celda evaluada no alcanza los altos valores de densidad de corriente que la otra celda si logra.

La eficiencia de la celda es hallada como la relación de la potencia ideal o máxima y la potencia real

$$\chi = \frac{P_{real}}{P_{ideal}}$$

La potencia ideal se obtiene cuando la celda trabaja a un potencial ideal que podemos calcular con la ecuación de Nernst para la reacción y suponiendo un flujo máximo de electrones igual al equivalente del balance estequiométrico para un flujo de hidrógeno dado.

La potencia ideal quedaría como:

$$P_{ideal} = \frac{n \times F \times m_{H_2} \times E}{(SR_{H_2}) \times M_{H_2}}$$

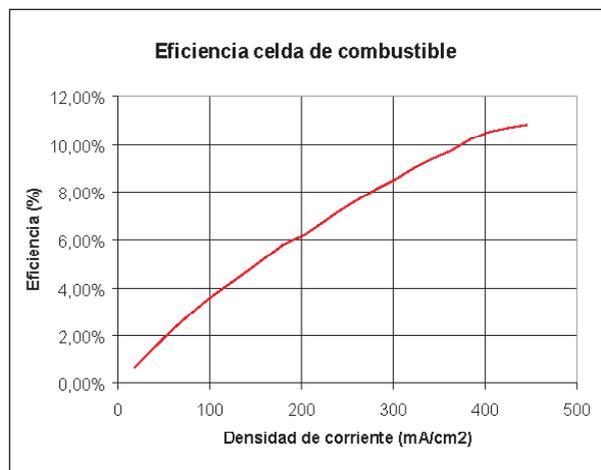
La correspondiente ecuación de Nernst queda como

$$E = E^{\circ} + (RT / 2F) \ln(P_{H_2} / P_{H_2O}) + (RT / 2F) \ln(P_{O_2}^{1/2})$$

TABLA 6. Valores de cálculo de la potencia ideal de la celda

Variable	Valor	Unidades
Flujo másico	5,12822E-05	g/s
Relacion estequiometrica	1	
Constante de Faraday	96499,9	C/mol
Potencial estandar	1,18	V
Presion H2	1,16	Atm
Presion agua	0,84	Atm
Presion oxigeno	0,84	Atm
R gases	8314	J/mol*K
Temperatura proceso	333	K
Potencial ideal (V)	0,74	V
Potencia ideal	58,8	W
Densidad de potencia	1,8	W/cm2

FIGURA 28. Eficiencia de operación de la celda evaluada



Autoría propia

El resultado final del proyecto es el desarrollo de un sistema para construcción de curvas de polarización de celdas de combustible PEM con 5 parámetros no lineales basado en información técnica, integrado por un montaje según las necesidades de operación, un protocolo de pruebas sustentado, un sistema de adquisición de datos propio con hardware y software a la medida y una metodología de procesamiento de datos que utiliza el algoritmo de Levenberg Marquardt para la estimación de parámetros no lineales.

BIBLIOGRAFÍA

Libros y demás material escrito

- [1] ACUÑA Francisco, Celdas de combustible En: Ingeniería y desarrollo Vol 0 Número 25 (Jul, 2001) Barranquilla, Colombia pag 94-104.
- [2] AGUDELO Sergio y Otros. El hidrógeno, una solución energética. En: Revista facultad de ingeniería Universidad de Antioquia. Volumen 00, Número 25 (Abr, 2002); pag 142-148.
- [3] APPLEBY, A. J. Annual review of energy: Advanced fuel cells and their future market. Palo Alto, USA, Editorial Committee, 1988. Pag 267-316. Serie 0362-1626.
- [4] CÁMARA A. Eficiencia de las celdas de combustible. En: Ingeniería química. Volumen 34, Número 390 (May, 1992); pag 140-146.
- [5] CISAR, Alan, United Status Patent: Method and apparatus for testing electrochemical energy control devices, Patent N°: 5512831, Abril.30, 1996
- [6] .EG&G Technical Services , Fuel Cell Handbook. Quinta Edición. Morgantown, USA, U.S. Department of Energy , 2000.
- [7] HOLMAN, Jack. Métodos experimentales para ingenieros. México DF, México McGraw-Hill, 1994 4ª Ed ISBN: 0-07029613-8
- [8] JONES J.B.y DUGAN, R.B. Ingeniería termodinámica: Sistemas de conversión directa de energía. México, Prentice Hall 1997
- [9] LAIDLER Keith y MEISER Jhon. Físicoquímica: Celdas electroquímicas. Primera Edición. México DF. México: Compañía editorial continental, 1997. Pag 309-352. ISBN 968-26-1309-4
- [10] MANN, Ronald. Journal of power sources 86. Development and application of a generalized steady-state electrochemical model for a PEM fuel cell, Ontario, Canada, Elsevier, 2000 pg 173-180

- [11] MIRSCH, Dietmar, United Status Patent: Fuel cell system, Patent N°: 6596425, Jul.22, 2003
- [12] SERWAY, Raymond, Física, México, McGraw-Hill, 1997 4ª Ed. ISBN 970-10-1297-6
- [13] SYNDOR Alvin. Energy from fuel cells. En: Electronics now. Volumen 68, Número 10 (Oct, 1997); pag 56-58.
- [14] WOLFRAM, Fleck, United Status Patent: Process and apparatus for humidifying process gas for operating fuel cell systems, Patent N°: 5432020, Jul.11, 1995
- [15] ADVISOR Documentation: Fuel converter for fuel cells Disponible en internet en: http://www.ctts.nrel.gov/analysis/advisor_doc/fuel_converter_fuel_cell.htm
- [16] Amplificador operacional. Disponible en Internet en: www.uco.es/dptos/electro/electronica/documentos/electema10.pdf
- [17] BLAKE, Kuman. Web Seminar: The new digitally controlled programable gain amplifier Sept., 2003 Disponible en internet en: <http://techtrain.microchip.com/webseminars/documents/PGAwebcast.pdf>
- [18] CHAMBERLIN, C.E. Preliminary results of the schatz fuel cell research project. World hydrogen energy conference, Jun, 1994. Disponible en internet en http://www.humboldt.edu/~serc/papers/WHEC_FC_1994.pdf
- [19] FAMOURI, Parviz. GEMMEN, Randall. PEM Fuel cell electric circuit model www.nfrcr.uci.edu/UFFC/PowerElectronics/PDFs/20_Famouri.pdf
- [20] FRIEDMAN, D.J. MOORE, R.M. PEM fuel cell optimization Disponible en internet en: <http://fcv.ucdavis.edu/fcvprog/Publications/System%20Optimization%20-%20Final.doc>
- [21] Fuel cells 2000. Celdas de Combustible en el Transporte. Disponible en internet en: <http://www.fuelcells.org/fc2000sp.htm>.
- [22] MICROCHIP, PIC 16F873 Datasheet, Microchip technology inc., 1999
- [23] MIKKOLA, Mikko. Modifications to a PEM fuel cell arreglo, 2000. Disponible en internet: www.hut.fi/Units/AES/studies/specials/mikkola1.pdf
- [24] NATIONAL INSTRUMENTS. Fuel cell testing – the NI way Disponible en internet: www.ni.com/automotive/fuel_cell.htm >
- [25] NATIONAL SEMICONDUCTOR. An applications guide for op amps. Application note 20, 1969 Disponible en internet <<http://www.national.com/an/AN/AN-20.pdf> >
- [26] OGBURN, Michael. Systems integration, modeling and validation of a fuel cell hybrid electric vehicle. Blacksburg, USA, 2000 Disponible en internet: <<http://scholar.lib.vt.edu/theses/available/etd-05032000-15510004/unrestricted/mjo-final-thesis.pdf>>
- [27] PHILIPS, 74HC/HCT4051 8-channel analog Datasheet,1990.

Internet

DISEÑO Y PROGRAMACIÓN DEL PORTAL PARA INTERNET DEL ÁREA DE MANTENIMIENTO

ALEJANDRO GARCÍA OCAMPO. Alejandro_garciao@hotmail.com
Ing. LUIS ALBERTO MORA. lmora@hotmail.com
Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS

MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

ASESOR PRINCIPAL

Ing. LUIS ALBERTO MORA

EMPRESA

UNIVERSIDAD EAFIT – ÁREA DE MANTENIMIENTO

RESUMEN

El mundo actual ha sido cambiado radicalmente desde la aparición de la Internet, esta es en la actualidad la herramienta más consultada por estudiantes, investigadores, funcionarios de empresas y en general cualquier persona en el mundo que busque información de cualquier índole, en Colombia por ejemplo se calcula que el número de usuarios de Internet es de 3'585.688.

El portal de Internet brinda al área de mantenimiento de la Universidad EAFIT una herramienta que le da acceso a la Web, con él logra comenzar a caminar en sectores en los cuales combina la ingeniería mecánica con nuevas tecnologías. El portal facilita la comunicación entre estudiantes y profesores, pone a disposición medios que permitan dar a conocer a nivel mundial las investigaciones, seminarios, simposios y especializaciones que se realizan dentro del área.

Se diseño y programo el Portal para el área de mantenimiento bajo lo requerimientos técnicos mas acordes para un correcto desempeño del mismo, teniendo en cuenta su estructura, usos, lenguaje de programación, diseño visual, estructura general, tiempos de descarga etc.

Se da un manual del usuario para que futuro estudiantes lo puedan actualizar y se proponen las recomendaciones para mejorar el proceso.

PALABRAS CLAVE

Portal para Internet del Área de Mantenimiento Industrial

ARTÍCULO

En este proyecto se pretende diseñar y programar el portal para Internet del área de mantenimiento, para esto se estudiaran los principales portales que existen en Internet, se analizando su estructura, diseño y usos mas importantes y se tomaran las conclusiones para obtener diseño mas apropiado para nuestro caso, posteriormente se publicara y se hará la promoción del mismo para que los navegantes lo puedan encontrar cuando busquen información relacionado con mantenimiento.

ORIGEN DE LA INTERNET Y LA EDUCACIÓN

La educación tiene más de 2.500 años de historia desde que Platón, proclamara la necesidad de la formación del hombre de Estado, y se ocupara de ello en dos de sus obras: La República y Las Leyes (Frabroshi@, 2004), creando con sus maestros Sócrates y Aristóteles las bases y los métodos de la misma.

La Internet fue creada a partir de un proyecto del departamento de defensa de los Estados Unidos llamado ARPANET iniciado en 1965 esta era una red de conmutación de paquetes basada en un conjunto de pequeños computadores interconectados llamados procesadores de mensajes con interfaz (IMPs), los cuales ofrecieron capacidad de encaminamiento y almacenamiento (Supaginaweb@, 2001). La idea original consistía en la construcción de una red que pudiera continuar operando aunque parte de ella hubiera colapsado como consecuencia de un ataque nuclear. Esta red fue impulsada y financiada por la Agencia de Proyectos de Investigación del Departamento de Defensa Estadounidense (llamada inicialmente ARPA y después DARPA)

La ARPA crea en 1979 la primera comisión de control de la configuración de Internet tras varios años de trabajo; en 1981 se termina de definir el protocolo TCP/IP y ARPANET lo adopta como estándar en 1982, sustituyendo a NCP. Son las primeras referencias a Internet, como "una serie de redes conectadas entre sí, específicamente aquellas que utilizan el protocolo TCP/IP". Internet es la abreviatura de Interconnected Networks, es decir, redes interconectadas, o red de redes. Además en estos años se fundan Microsoft (1975) y Apple (1976)

En 1985, quince años después de la primera propuesta, se termina el desarrollo del aún vigente protocolo para la transmisión de ficheros en Internet (FTP), basado en la filosofía de cliente-servidor.

En 1991 había 31 países con conexión a Internet pero para el 97 la cifra se multiplica a 171 (Megchun @,

2004), en la actualidad más de 195 naciones cuentan con algún tipo de conexión a la Internet, y solo faltan 42 países por conectarse.

La Internet provee las siguientes funciones básicas:

Enviar y recibir correo electrónico o E-mail.

Leer noticias (vía USENET).

Participar en grupos de discusión o en listas de distribución ("LISTSERV").

Acceder a otras computadoras y copiar o transferir archivos (FTP).

Buscar y consultar documentos o información a través del sistema de WWW.

INTERNET Y LA EDUCACIÓN

En el mundo educacional hay problemas y situaciones que son barreras para el aprendizaje: el aislamiento geográfico, la movilidad, la disposición irregular de tiempo, determinadas condiciones sociales o humanas como situaciones de enfermedad; cuya incidencia en el aprendizaje puede resolverse, o paliarse, con el concurso de los medios telemáticos.

Los estudiantes requieren en el de siglo XXI de una nueva forma de educación orientada a mejorar la comunicación, a utilizar el aprendizaje interactivo, y a tener un análisis crítico de las situaciones. La nueva educación debe responder al reto de enseñar a aprender, y a lograr que este proceso no termine con la Universidad, sino que se mantenga como un proceso continuo, en el cual el estudiante egresado continúa su proceso de aprendizaje y de formación en forma ininterrumpida. Debe considerarse que en el entorno de hoy, la información crece por lo menos 200.000 veces más rápido que la población humana.

La conferencia unida a la presencia en un aula debe revisarse, y buscar la apertura hacia nuevos medios que permitan el pasar de una educación pasiva a un

nuevo modelo más activo. La comunicación directa y estructurada por ordenador (el correo electrónico, para la comunicación uno a uno, o las listas de distribución, los grupos de discusión, el IRC, para el diálogo de uno a varios) permiten la comunicación entre usuarios (alumnos o profesores), directa y simultánea o mediante intercambio de mensajes, así como el intercambio de ficheros. Estas posibilidades son útiles para la realización de actividades de tipo grupal, a tiempo real, entre varios alumnos en lugares distantes.

La Internet cambia la forma de trabajar, hace que aparezcan nuevas formas: a distinto tiempo (de forma asíncrona) y en distinto lugar (a distancia). Hace posible que los alumnos y profesores distantes se comuniquen, o que alumnos presénciales puedan ser tutelados a distancia, en casa. También induce cambios en la metodología, favoreciendo formas menos individuales de trabajo.

La nueva red es en sí misma un recurso específico para la educación que crea entornos propios de aprendizaje, docencia y trabajo para alumnos y profesores. Otro efecto que se consigue con esta experiencia es el de que el alumno penetre en actividades del mundo real, acceda a instrumentos, y opere con recursos, propios de la vida adulta y profesional, de la misma forma como puedan hacerlo un grupo de investigadores o de técnicos.

ANÁLISIS DE LOS PORTALES EXISTENTES EN INTERNET

Después de analizar los portales de yahoo, lycos, altavista, terra, hispanista se puede concluir lo siguiente:

Diseño general de portales

Los portales se caracterizan por tener colores claros y muy llamativos, con tipos de fuente de fácil lectura para las personas, con colores en sus textos que contrasten contra el fondo sobre el que se encuentran y están diseñados para un tamaño de visualización específico de pantalla, generalmente se utiliza 800 X 600 píxeles.

Un portal está formado por secciones, conocidas como páginas, vinculadas entre sí. Estas páginas contienen textos, sonidos e imágenes. El usuario ("cibernauta") no sólo puede recorrerlas libremente, una y otra vez, sino también interactuar con ellas, enviar y recibir información.

Los portales contienen una página principal (index) diseñada con alto contenido de texto y enlaces y con pocas imágenes esto hace que el tiempo de descarga de la página para los usuarios sea corto. La mayoría de páginas tiene un encabezado en la parte superior donde se ubica un logotipo con el nombre del portal o página que se está visitando seguido de unos índices generales ubicados en la margen izquierda de la página.

Estructura de los portales

El lenguaje que se utiliza en la mayoría de los portales es el Html, este hace que las páginas sean muy livianas y fáciles de descargar, además lo soportan por todos los navegadores permitiendo que los sitios puedan ser vistos en cualquier ordenador, también tiene la ventaja de que este lenguaje es aceptado en cualquier servidor, lo que permite un fácil alojamiento de la página.

Los portales se estructuran en la gran mayoría de la siguiente manera: tienen una página principal donde se da una idea global de la información que en ellos se publica y los principales servicios que ofrecen y unas páginas anidadas dentro del portal en las cuales se desarrolla toda la información que se ofrece en el sitio Web.

Las páginas interiores son poco extensas para que el usuario no pierda la identidad del lugar donde se encuentra, si el documento es muy largo se le ofrece al usuario la oportunidad de avanzar a la siguiente sección o de retroceder si se encuentra en una página posterior, además también se tiene la oportunidad de volver a la página principal haciendo click a la imagen superior donde está el logotipo con el nombre del portal donde se encuentran o con algún enlace creado en texto con este fin.

Usos de los diferentes portales

En la actualidad existen gran cantidad de portales en diferentes temas como por ejemplo: medicina, entretenimiento, educación y generales que ofrecen cualquier tipo de información a sus visitantes, existen los portales que mezclan la información con el entretenimiento y otras funciones como son el servicio de motores de búsqueda.

La Internet es un espacio abierto en el que hay contenidos de todo género y en donde la destreza primordial consiste en saber buscar, para decidir a qué sitios se desea entrar y a cuáles no.

La Internet es una colección de espacios potencialmente inacabables en donde se acumula información muy amplia, la mayor parte de la cual no ha sido concebida como apoyo en la enseñanza.

Los portales más visitados en la actualidad son: yahoo, terra, lycos, hipavista entre otros. Aunque en estos portales la función mas utilizada es sus motores de búsqueda.

Características varias de los portales

Los portales presentan un link de “contáctenos” sin importar el tema que estos traten. Esto permite al usuario de la página ponerse en contacto con las personas que administran el sitio Web par dar opiniones, sugerencias o hacer consultas, brindando la imagen que el navegante es importante para quienes diseñaron el portal.

Los portales presentan información de la última fecha de actualización, esto permite al usuario saber que tan reciente es la información a la cual están accediendo.

Los portales pueden o no contener un contador de visitantes visible para cualquier usuario, esta característica no es muy relevante, se da más que todo solo en ciertas páginas Web.

ESTRUCTURA DEL PORTAL

El diseño del portal de área de mantenimiento permite una navegación ágil dentro de él para que los visitantes tengan una experiencia agradable cuando lo usen y deseen volver en un futuro para esto se diseñaron elementos de programación como los índices superior e inferior que permiten que el usuario navegue fácil pudiendo pasar de una sección a otra en cualquier instante. El lenguaje de programación que se seleccionó fue el Html ya que este facilita que se pueda visualizar en cualquier navegador sin requerimientos especiales y tiene una fácil lectura por el tamaño y tipo de fuente seleccionados.

Los colores utilizados bajo los parámetros del departamento de comunicaciones de la Universidad Eafit, le dan la identidad al portal y al área de mantenimiento de que pertenecen a la Universidad, dándole más respeto y credibilidad a su contenido.

El portal esta dividido en varias secciones principales las cuales son: quienes somos, conferencias, especialización, cursos Cec, tesis de grado, monografías de postgrado e información que sea relevante para los estudiantes que cursen el área de énfasis en mantenimiento industrial.

VINCULACIÓN DEL PORTAL

Hosting u hospedaje: El Hosting u hospedaje consiste en poner una página Web en un servidor, desde donde las páginas son descargadas por los visitantes que acceden al sitio. El portal esta anidado en el servidor de la Universidad EAFIT, con una capacidad de 20 DGS de almacenamiento que soporta el envío de correos electrónicos directos.

Asignación de dirección URL: Un URL es un string que indica la dirección Internet de un sitio Web o de un recurso en WWW, es la manera de acceder a una dirección en Internet y depende del tipo de recurso que se está buscando.

Una dirección URL está compuesta de cuatro partes básicas :

aaaa://bbb.bbb.bbb/ccc/ccc/ccc?ddd

Donde:

aaaa: representa el método de acceso utilizado por el navegador para comunicarse con el recurso:

Hipertexto: http

http://www.mtv.com

Gopher: gopher

gopher://gopher.uba.ar

FTP: ftp

ftp://ftp.microsoft.com

E-mail: mailto

miguel@infovia.com.ar

File: file

c:\documentos\ftp\help.htm

Grupos de Noticias: news

news://comp.lang.basic.visual.announce

Telnet: telnet

telnet://spacelink.msfc.nasa.gov

bbb.bbb.bbb: representa el nodo de Internet al cual se hace referencia, si no se incluye por defecto se toma la computadora en la cual se está ejecutando el navegador. El nodo puede ir seguido de dos puntos (:) y el número de puerto.

/ccc/ccc/ccc: indica el camino en que se encuentra ubicado el archivo dentro de los directorios del servidor, incluyendo directorios, subdirectorios y nombre de archivo.

?ddd: argumentos, dependerán del método de acceso empleado, pueden ser #, ?, &, por ejemplo:

indica que lo que viene a continuación es una sección dentro del hipertexto.

El portal del Área de Mantenimiento de la Universidad EAFIT tiene la siguiente dirección URL:

<http://www1.eafit.edu.co/mantenimiento>

Modo de actualización de datos: Para poder actualizar la página necesitamos los siguientes datos:

Nombre del servidor: Nombre del servidor de la Universidad Eafit.

Nombre de usuario para acceder al servidor: mantenimiento.

Contraseña para acceder al servidor: Pedir al área de comunicaciones de la Universidad la contraseña

Para realizar esta actualización se requiere de los siguientes requerimientos técnicos: una conexión a Internet, un programa que permita la transmisión de datos FTP, y un navegador.

Promoción del portal: para promocionar el portal se siguieron las siguientes estrategias: se anido en motores de búsqueda de manera gratuita, además se esta buscando afiliarse con paginas amigas e inscribirlo en círculos temáticos relacionados con el tema. Ademas el portal cuenta con herramientas de diseño que permite que los motores de búsqueda lo identifiquen y lo listen cuando un usuario este buscando algo relacionado y que este dentro del sitio Web.

CONCLUSIONES

El Portal del área de mantenimiento es solo un primer paso que busca acercar al área a una nueva tecnología. Internet permite muchas nuevas alternativas pero solo se puede llegar a ellas si se esta en la disposición de conocerlas y adaptarlas a las necesidades que se tengan.

La experiencia personal de los estudiantes con la información electrónica facilita el proceso de aprendizaje ya que mediante el uso de redes, como la Internet,

fomenta un estado de independencia y autonomía, mediante el cual los estudiantes descubren por sí mismo tópicos y recursos educativos según sus intereses particulares. Las singularidades técnicas que ofrece Internet (especialmente la interactividad que pueden ejercer sus usuarios y la casi infinita cantidad y variedad de contenidos que hay en ella) la distinguen de otros medios de comunicación.

El portal tiene una limitación porque a diferencia de los recursos más elementales en el que hacer educativo, la Internet actualmente no esta al alcance de todas las personas, que para acceder a ella se requiere de una pequeña sofisticación tecnológica de la que no siempre se dispone ya que para emplear la Internet hacen falta al menos una computadora con módem, una conexión a la red y energía eléctrica para alimentar ese equipo. Además de la falta recursos e infraestructura falta también exigencia, entusiasmo y creatividad para que en el campo de la educación la Internet sea utilizada intensa y extensamente.

La tecnología impone sesgos y matices a los contenidos educativos que se exponen o comunican con ella. Las tecnologías educativas de carácter convencional permiten sobre todo resaltar y explicar gráficamente los contenidos que se quieren inculcar en los alumnos. La Internet exige, más que cualquier otra tecnología, que esa capacidad de elegir se ponga en práctica, con una diferencia adicional: quien decide ya no es solamente el maestro, los alumnos se involucrarán pronto en la selección de los contenidos que quieran conocer. En una segunda fase en el aprovechamiento de la Internet los profesores y alumnos podrán diseñar sus propios contenidos y alojarlos en la red de redes.

La Internet posee implicaciones educativas para el presente muy importantes y para el futuro las expectativas de las telecomunicaciones son de incalculable magnitud. Esta tecnología dinámica posee el potencial de alterar radicalmente de manera positiva y efectiva la naturaleza tradicional del proceso de enseñanza y aprendizaje. La Internet representa el "salón de clase virtual" que traspasa las paredes físicas de las aulas de clase, y

el cual puede ser utilizado prácticamente en cualquier momento y en cualquier lugar.

La Internet ofrece una serie de valiosos servicios para los educadores, tales como enviar mensajes electrónicas a compañeros de trabajo a nivel local e internacional, buscar y acceder a información y bancos de datos para propósitos de investigación o educativos, llevar a cabo una búsqueda de literatura a través de las muchas librerías académicas disponibles internacionalmente, bajar programas y artículos/publicaciones de otras instituciones educativas distantes, someter artículos o investigaciones a las "revistas electrónicas" del ciberespacio, suscribirse mediante correspondencia electrónica a una lista de grupos académicos que discuten tópicos comunes por todo el mundo, leer las noticias más recientes discutidas por grupos de educadores, mantenerse al día de los últimos acontecimientos e investigaciones recientes en su especialidad académica, de manera que las metas curriculares y necesidades particulares de los estudiante puedan ser alcanzadas.

SUGERENCIAS

En un futuro el portal del área de mantenimiento puede ofrecer los siguientes servicios:

- Monitoreo de equipos a empresas utilizando la Internet. Mediante proyectos de grado posteriores se pueden crear dispositivos que puedan evaluar el desempeño de una maquina y con el desarrollo de un software adecuado estos datos pueden ser analizados y generar un reporte que puede ser enviado por Internet en tiempo real.
- Crear un archivo en el portal con las conferencias y seminarios que se dictaron en un pasado en la Universidad y de los cuales existe algún registro audiovisual, a esta información se puede indexar en lugares protegidos a los cuales solo se puede acceder mediante claves que se le asignen a los visitantes, ya sea pagando o porque sean estudiantes, así se puede ofrecer cursos, seminarios, simposios todos los días del año.

- Ofrecer el servicio de seminarios en línea, esto se hace si se crea un acceso con claves especiales donde se puede ver en línea y en tiempo real un seminario que se este llevando a cabo en la universidad. Las notas del seminario se pueden dar al usuario en archivos PDF o que le lleguen por correo.
- Ofrecer en el portal el servicio de inscripciones en línea a seminarios, curso, esto facilita que personas de otras ciudades se puedan inscribir y pagar para asistir a los mismos.
- Publicar los temas de los cursos en cada semestre, creando clases semipresenciales ya que los alumnos pueden consultar el tema de su materia e ir solo a talleres y a presentar los exámenes en las fechas que indique la universidad, además de maximizar el tiempo de estudiantes y alumnos se gana porque el tiempo que se dedicaba a dictar la materia se puede aprovechar en practicas mejorando el proceso de aprendizaje.

El portal sirve como medio para compartir investigaciones, o realizar investigaciones compartidas con investigadores en otros países, publicando los adelantos que tenga cada investigación en el sitio Web.

Realizar convenios con universidades de otros países para hacer clases en línea en otros idiomas, mediante un programa que permita visualizar imágenes en formato de video e indexándolo en algún lugar del portal se podría ver una clase que se dicte al mismo tiempo en cualquier otro país.

En Internet es común el intercambio de información, y esa información puede ser muchas veces es confidencial o privada. Por eso, es muy importante asegurar que las secciones que se consideren confidenciales sólo puedan acceder a ella quienes estén autorizados. Existen para este fin muchos métodos de protección que permiten, mediante la utilización de códigos personales secretos ("passwords"), garantizar la confidencialidad de los datos.

BIBLIOGRAFÍA

- FABROSHI, Azucena Adelina. La educación [en línea]. Texinfo. (Argentina). [cited 5 mayo 2004]. Platon. Available from World wide web: <<http://afraboschi.freesevers.com/Platon.htm>>
- SUPAGINAWEB. Principiantes en Internet. [en línea]. Texinfo. (Tachira, Venezuela). 24 Sep. 2001. [cited 10 Mayo 2004].Historia. Available from word wide web:<<http://www.supaginaweb.com/ques.htm#Historia>>
- MEGCHUN, ALPIZAR. Rosa María. Internet En zonas rurales [en línea]. Texinfo. (México). Diciembre 2001 [cited 5 mayo 2004]. ¿Quiénes Son los Usuarios de la Red en el Mundo?. Available from World wide web: <<http://hiper-textos.mty.itesm.mx/num3rosa.html>>

ESTRATEGIAS APLICABLES AL SECTOR AUTOMOTRIZ EN COLOMBIA, EN UN MARCO DE TRATADOS DE LIBRE COMERCIO

HANS BLISS SOLÓRZANO, hblisso@eafit.edu.co
MANUEL ESTEBAN ACEVEDO
Departamento de ingeniería mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS

PROYECTOS

ASESOR PRINCIPAL

Neg. MANUEL ESTEBAN ACEVEDO

SECTOR BENEFICIADO

La cadena económica global de la industria automotriz colombiana. Ensambladoras, fabricantes de autopartes, insumos varios de un vehículo. Almacenes de repuestos, talleres de reparación, etc. Y el consumidor como última instancia.

RESUMEN

En este artículo se presentan algunas estrategias aplicables a la industria automotriz colombiana en un marco de tratados de libre comercio, luego de analizar las generalidades del sector en los últimos 5 años y confrontarlas con las industrias automotrices más representativas en América Latina a la luz del acuerdo comercial que mayor impacto haya tenido en su industria automotriz.

(Brasil y Argentina con el MERCOSUR y México con el TLCAN).

ABSTRACT

This article suggests some strategies applicable to the Colombian automotive industry in a frame of Free Trade Agreements, after analyzing the majorities of the sector in the last 5 years and confronting them with the more representative automotive industries in Latin America to the light in the commercial agreement that greater impact has had in its automotive industry.

(Brasil and Argentina in MERCOSUR and México in NAFTA).

PALABRAS CLAVES

Tratados de libre comercio/Industria automotriz/Competitividad.

KEY WORDS

Free Trade Agreements/ Automotive industry/Competitiveness.

INTRODUCCIÓN

Años atrás, la creencia que predominaba en las compañías automotrices, era que los clientes y los mercados, se comportaban de manera lógica y predecible. Las empresas funcionaban guiándose por una planeación que les predecía el camino a seguir, para lograr sus objetivos comerciales, sin mucha estrategia.

Pero rápidamente los mercados cambiaron a finales del siglo pasado y muchas empresas por ser tan lineales y poco objetivas en el mercado, no supieron dar respuestas ágiles a estos cambios, por lo que perdieron su enfoque y su contacto con la realidad, además de que con la aparición en el mercado de novedosos productos de otras latitudes, perdieron rápidamente sus clientes.

Es por esto que se hace necesario conocer la realidad de la industria automotriz colombiana dentro del nuevo contexto global que esta tomando el renglón en América Latina. Todas las acciones deben estar encaminadas en pro de la competitividad del renglón; que la reestructuración industrial y comercial futura, sea agresiva y benéfica para la economía del sector y del país, y que se dé sin tropiezos o en su defecto, con los menores tropiezos posibles.

CONCLUSIONES

Luego de realizar todo el proceso de investigación de los diferentes componentes del sector automotriz tanto en Colombia como en los más significativos países del área, tales como : Brasil, Argentina y México , los cuales han vivido anteriormente similares procesos de globalización y la suscripción de tratados comerciales, sus generalidades y los paralelos entre los diferentes países, se han encontrado una serie de estrategias para Colombia, las cuales se deben evaluar detalladamente, para su futura puesta en práctica y que posibiliten la generación de beneficios tanto individuales, como colectivos y sectoriales y que en la medida de lo posible, la firma de los nuevos tratados en vez de afectar, signifique estímulos competitivos que redimensionen empresas y que potencialicen sectores, de las partes implicadas en el asunto.

ENSAMBLADORAS

Especialización de la producción

La estrategia de especialización de la producción, disminuye la variedad de tipos de productos fabricados,

enfocándose en uno o dos modelos por categoría que incorporen la mayor capacidad de la empresa. Los esfuerzos se enfocan en generar ventajas derivadas del conocimiento de los procesos de fabricación y diseño, así como las economías de escala que resultan de manejar altos volúmenes en un número limitado de productos. La disminución en la gama de productos fabricados, se compensa con el aumento en volumen y con la complementación regional. Para toda la cadena productiva se estima provechosa esta especialización de producción de cara al futuro, aunque para el presente inmediato, a corto y mediano plazo, genere problemas y múltiples inquietudes debido al cambio.

Diversificación de mercados

El sector automotriz colombiano debe iniciar un proceso de apertura hacia nuevos mercados. La inestabilidad de las exportaciones del sector debido a las condiciones políticas, sociales y culturales presentadas en los últimos años en los países destino como Ecuador y Venezuela lo hacen necesario. Además al especializar la producción, se van a tener mayores unidades de cada modelo, las cuales no podrán ser consumidas por los mercados existentes.

Los fabricantes de autopartes también deben hacer parte de esta estrategia, observando los tratados de libre comercio como una oportunidad para llegar a nuevos mercados, con productos competitivos. La calidad y tecnificación de los productos Colombianos, redundará sin duda en la consecución de algunos nichos proyectados.

Atracción de proyectos de inversión a Colombia

Históricamente la industria de autopartes se ha concentrado en abastecer a la industria terminal establecida en Colombia. Así, aumentos en la producción nacional de vehículos impactan de manera positiva a la producción de autopartes. El aumento de la producción, requerirá de crear las condiciones propicias para atraer la inversión de la industria terminal y para tal efecto, se estima se deberán orientar estrategias industriales

en las zona francas de Barraquilla, Cartagena y Santa Marta especialmente, por la facilidad que tienen a través de sus puertos dichas ciudades, para importaciones y exportaciones.

Involucramiento en las decisiones de la industria mundial

La integración entre las industrias colombianas y las organizaciones multinacionales del sector debe de comenzar a relacionarse más allá de aspectos relacionados con la producción. Las grandes decisiones de diseño, producción y venta se toman por lo general en los centros corporativos ubicados en Estados Unidos, Francia y Japón. Es muy importante que las empresas nacionales fortalezcan día a día su posición en la cadena de valor de la industria mundial con el fin de participar con mayor peso en dichas decisiones para mantener la presencia dentro de la región, y paulatinamente, lograr un mayor peso dentro de la misma.

Producción según la capacidad instalada

En este nuevo escenario que tomará el sector automotriz colombiano y tomando como modelo lo que ha acontecido en los mercados automotrices luego de incursionar en la globalización, es preciso el rediseño interior de cada una de las compañías ensambladoras en Colombia.

El objetivo central debe ser la ocupación en la producción del 100% de la capacidad instalada, sea esta en un conjunto reducido de vehículos de una misma marca o en una mezcla de productos de diferentes marcas, ensamblados en una misma unidad de producción. Tal es el caso de Renault que a nivel mundial ensambla en plantas de su marca vehículos Nissan para ser comercializados por esta empresa a nivel nacional e internacional.

AUTOPARTISTAS

Desarrollo de ensambladoras y proveedores

Es imprescindible contar con una red de abastecimiento desarrollada para la cadena que permita que los insumos

y las partes se provean de manera rápida y eficiente. En el sector autopartes colombiano, existen en la actualidad algunas carencias de insumos básicos y tecnología, que dificultan la actuación de las empresas. Estas carencias tienen un doble impacto negativo, ya que incrementan los costos de producción al incurrir en altos costos y reducen la capacidad de respuesta ante los cambios de producción de las ensambladoras.

Incremento de capacidades tecnológicas

El desarrollo tecnológico, es una acción central para enfrentar los cambios que se avecinan en el panorama de la industria automotriz nacional y mundial, así como un elemento de diferenciación de valor. Las tendencias en la industria a nivel mundial, requieren que las ensambladoras y las empresas de autopartes estén cada vez más familiarizadas con la tecnología de proceso, de producto, de materiales, así como de comunicación entre clientes y proveedores. Es fundamental que se definan las prioridades estratégicas en materia de tecnología a nivel industria y se realicen las acciones necesarias para llevarlas a cabo a la brevedad.

ENTORNO

Aumento de competencias del recurso humano

Los recursos humanos son el medio para llevar a cabo las estrategias planteadas tanto a nivel de la industria como a nivel de la empresa, por lo que es necesario fomentar la capacitación del personal para conformar un elemento más de diferenciación a través de valor. Contar con personal capacitado en la industria, es un requisito para cristalizar acciones estratégicas basadas en mayor flexibilidad y valor. Se tiene la necesidad de orientar académicamente las Universidades hacia la especialización en temas puntuales y de última generación y en este caso, que la capacitación en el tema automotriz se oriente paralelamente al desarrollo de la firma de tratados comerciales.

Vinculación empresa, gobierno y academia

Gran parte de las acciones que necesita la Industria Automotriz en Colombia de cara a la firma de nuevos

tratados comerciales, se sustentan en la combinación de esfuerzos de empresas, gobierno e instituciones académicas. La vinculación de los tres sectores al unísono, permitirá diseñar y generar planes integrales y estrategias en pro del desarrollo de la industria. Los centros educativos del país no pueden ser agentes externos a los nuevos requerimientos que traen consigo la firma de nuevos tratados y como tal, deberán comprometerse con la industria automotriz y desarrollar en este caso particular paquetes académicos y de investigación orientados a mejorar el nivel de conocimiento y por ende la competitividad en el sector. Históricamente la integración de estos tres agentes ha sido un factor crítico en mejorar el nivel de conocimiento y competitividad en los países.

Comprometimiento del estado en políticas

Se da por hecho que para la firma de los tratados comerciales futuros, se prohibirá la importación de vehículos y partes usadas.

Nuevos yacimientos y precios de los combustibles

En un nuevo entorno de precios del petróleo, el balance para el país puede ser bueno, siempre y cuando se tomen las decisiones adecuadas. Esto es, de una parte, generar estrategias que permitan más y mejores posibilidades de explotación de crudo por parte de multinacionales, buscando reservas, y sostenibilidad en el abastecimiento, como también de otra parte, dinamizar la estrategia de hacer rentable la explotación de pequeños pozos, que no son de interés para las grandes compañías y que pueden entusiasmar a inversionistas locales y extranjeros. No se puede perder de vista que Colombia no es un país petrolero con todas sus credenciales, pero si no hay descubrimiento de nuevos yacimientos, tiene sus días contados en ese mercado : en 2006 comenzará a comprarles crudo a los asociados de ECOPETROL y en 2009 Colombia volvería a ser un importador neto.

Igualmente, la fórmula como el Ministerio de Minas coloca regularmente en Colombia los valores de los galones de combustibles, tendrá que ser revisada en

cuanto a sus tasas impositivas, habida cuenta de que superan los precios del mismo producto en los mercados internacionales, lo cual es inaceptable como política futura, de cara a la dinamización del sector automotor.

Hurto de vehículos y comercialización de repuestos

Es necesario un compromiso decidido y fuerte por parte del estado, generando sanciones ejemplares para el hurto de vehículos y la comercialización de los repuestos del deshuese en el mercado negro. Sería interesante pensar incluso como política de estado la disponibilidad final de los vehículos recuperados por parte de las compañías aseguradoras. La venta posterior de los mismos, genera inconvenientes innecesarios para este mercado.

Políticas de reposición para transporte público y de carga

Es preciso ajustar los mecanismos de regulación y aplicación de esta norma en el ámbito nacional. En ningún momento se puede caer en la tentación del mercado negro de cupos como sucede actualmente. Donde cada cupo puede llegar tener un valor entre 30 y 50 millones de pesos, cifras que sumadas a las grandes inversiones que se requieren para la adquisición de los vehículos hacen en la actualidad más inviable la modernización de parque automotor colombiano. Todas las acciones deben estar acompañadas por estímulos financieros, los cuales fomenten la reposición del parque automotor en el sector transporte de pasajeros y de carga.

Con ello, se generarían múltiples beneficios: compra de reposición con menores intervalos, mejor calidad de la flota, disminución en consumos de combustibles, mejoramiento en la calidad ambiental y mayor seguridad para los usuarios.

Importaciones ilegales de repuestos

Drásticamente se tiene que sancionar esta modalidad que ha hecho carrera en el país. Se deben implementar políticas, beneficios y sanciones al respecto.

Desarrollo y mejoras de la red vial del país

Son fundamentales dentro de estas estrategias, el desarrollo de las vías troncales y secundarias de Colombia y la navegabilidad de dos arterias fluviales, el río Magdalena buscando la salida al Atlántico y el Río Meta desde Puerto López hasta Puerto Carreño, proyecto que interesa a Japón y Brasil y cuya financiación para la construcción de un canal de navegabilidad ya está inicialmente tramitado.

Es preciso que estas estrategias citadas anteriormente se den en un corto plazo, para que las ciudades del interior puedan colocar sus productos en puertos a bajo costo y articular su crecimiento industrial, contrarrestando la tendencia universal y que se está dando en los últimos años en Colombia, especialmente en las ciudades de Barranquilla y Cartagena, que se proyectan a ser las segundas ciudades industriales del país.

Será importante igualmente y a la usanza de los países industrializados, revisar y concesionar la red férrea y su viabilidad financiera, ya que el transporte férreo es más barato que el carretero para trayectos largos, pero de los 2.500 kilómetros de vías férreas en Colombia, 500 de ellos están inactivos.

También es de gran importancia el desarrollo de los puertos en Colombia, pues ellos son el corazón de la integración comercial, habida cuenta de que un alto porcentaje de la carga entrante y saliente del país, se hace por éste medio. Sin embargo, se debe concentrar la atención en adecuar puertos de gran calado y de acuerdo a insuficiencias detectadas en estudios realizados por el Ministerio de Transporte y el Sena, en los próximos años se debe reestructurar la oferta de servicios de capacitación en las ciudades portuarias, dada su relevancia en la internacionalización.

BIBLIOGRAFÍA

- ADEFA. Anuario estadístico de la industria automotriz Argentina, 1997.
- ALÁEZ, Ricardo. El sector de automoción: nuevas tendencias en la organización productiva. Ed. Civitas, Madrid, España, 1996.
- ANFAVEA. Anuario estadístico de la industria automovilística brasilera, 1997.
- ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE FABRICANTES DE AUTOPARTES. El sector automotor colombiano 2003. Santafé de Bogotá D.C.: ACOFPA, 2004. Manual Estadístico No. 24.
- BANCOMEXT. Evolución del sector automotriz. México, 2001.
- BOOZ ALLEN, Hamilton. Desarrollo estratégico de la cadena de valor automotriz. Buenos Aires, Argentina, 2004.
- INSTITUTONACIONALDEESTADISTICA, GEOGRAFIA E INFORMATICA. La industria automotriz en México.: INEGI, 2001.
- KOREA AUTOMOBILE MANUFACTURERS ASSOCIATION. Globalization of Daewoo motors. Paris, Francia, 1997. 35-47 p.
- LECLER, Yveline. Stratégies de délocalisation des fournisseurs de l'industrie automobile en Asie de l'est et du sud-est. Paris, Francia, 1996. 19-21 p.
- LUGONES, Gustavo y SIERRA, Pablo. Los cambios en la industria automotriz Argentina en los años 90. UNQUI, 1998.
- Asociación de fábricas Argentinas de Componentes. [Citado en Agosto 31 de 2004]. Disponible en internet: [http:// www.afac.com.ar](http://www.afac.com.ar)

Asociación de Fabricantes de Automotores Argentinos.
[Citado en Agosto 31 de 2004]. Disponible en internet:
[http:// www.adefa.com.ar](http://www.adefa.com.ar)

Asociación Nacional de Fabricantes de Vehículos
Automotores de Brasil. [Citado en Agosto 31 de
2004]. Disponible en internet: [http:// www.anfavea.
com.br](http://www.anfavea.com.br)

Asociación Mexicana de la Industria Automotriz. [Citado
en Agosto 31 de 2004]. Disponible en internet: [http://
www.amia.com.mx](http://www.amia.com.mx)

Industria Nacional de Autopartes Mexicana. [Citado en
Agosto 31 de 2004]. Disponible en internet: [http://
www.ina.com.mx](http://www.ina.com.mx)

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática
México. Citado en Agosto 31 de 2004]. Disponible en
internet: [http:// www.inegi.gob.mx](http://www.inegi.gob.mx)

Organisation for Economic Co-operation and
Development. [Citado en Agosto 31 de 2004].
Disponible en internet: [http:// www.oecd.org](http://www.oecd.org)

Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. [Citado
en Agosto 31 de 2004]. Disponible en internet: [http://
www.secofi-siem.gob.mx](http://www.secofi-siem.gob.mx)

ESTUDIO SOBRE LA MANTENIBILIDAD DE UNA EMPRESA APLICADO A C. I. COLAUTO

RICARDO PASTOR GONZÁLEZ V. rgonzal4@eafit.edu.co
MAURICIO SANCHEZ K. msanche8@eafit.edu.co
LUIS ALBERTO MORA. lmora@eafit.edu.co
Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS

MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

ASESOR PRINCIPAL

Ing. LUIS ALBERTO MORA

EMPRESA

C. I. COLAUTO

RESUMEN

La necesidad por tener una empresa cada vez más competitiva ha desarrollado mejores gestiones de mantenimiento que se vienen implementando y arrojan mejores resultados económicos y laborales, los cuales se pueden medir por medio de indicadores.

El apogeo por implementar nuevas políticas de mantenimiento ha creado intereses por conocer el estado de dicho departamento al interior de la empresa, para lo cual se han creado diferentes herramientas de análisis tales como las auditorías y encuestas que arrojan índices que simulan su estado actual.

El proyecto utiliza el Flash Audit como herramienta para medir la gestión del departamento de mantenimiento en la empresa COLAUTO¹. El estudio se complementa

midiendo el CMD (Indicadores de Confiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad), en un equipo que sea crítico para la empresa.

Se concluye con un plan de trabajo propuesto a la empresa basado en los resultados de la auditoría, del CMD y las observaciones hechas durante el proceso.

ABSTRACT

The necessity to have a more and more competitive company, has developed better maintenance management strategies, which have been implementing and showing better economic and labor results, which can be measured by means of indicators.

The apogee to implement new policies of maintenance has created interests to know the state of this department at the interior of the company, for which different tools for analysis have been created such as the audits and surveys that show indices that simulate their present state.

The project uses the Flash Audit as a tool to measure the management skills of the maintenance department in COLAUTO. The study is complemented measuring the RAM (Reliability, Availability and Maintainability), in an equipment that is critical for the company.

It is concluded with a work plan proposed to the company, based on the results of the audit, the RAM and the observations made during the process.

³ C. I. COLAUTO: COMERCIALIZADORA INTERNACIONAL COLOMBIANA DE AUTOPARTES S.A.

PALABRAS CLAVE

Flash Audit, CMD, Mantenimiento, Auditoría.

KEY WORD

Flash Audit, RAM, Maintenance, Audit.

1. INTRODUCCIÓN

La auditoría de una gestión se realiza con el fin de evaluar la eficiencia que tiene el departamento en cuestión, en aras de lograr las metas que la compañía pretende obtener. Entendido una empresa como varios departamentos que luchan por un mismo fin, se debe evaluar la eficiencia que cada uno de estos presenta, su posicionamiento y accionar comparado con los demás y consigo mismo, y en últimas emitir un informe sobre el desempeño de la misma. No se puede seguir hablando solo de auditoría financiera cuando la globalización exige, implícitamente, que la empresa deba funcionar a un alto nivel competitivo y que esto se logre con la sincronización perfecta de todos y cada uno de las divisiones al interior de ella.

La regulación hacia la gestión de un departamento de mantenimiento es un control incipiente entre las auditorías de gestión, y viene tomando cada vez mas fuerza dentro de la categoría de revisar los procesos de las actividades, la forma de relacionarse con los otros departamentos y la probabilidad que da en otorgar mantenibilidad, mantenimiento y confianza hacia los equipos que maneja y que logran el producto final (Lourival@, 2000).

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

2. FLASH AUDIT

El Flash Audit es una herramienta diseñada para evaluar el desempeño de la gestión del departamento de mantenimiento. Se basa en una encuesta que se realiza generalmente a una muestra representativa de personas de cada uno de los departamentos directamente involucrados (generalmente entre dos y cuatro, dependiendo del tamaño de la organización), estos son el de mantenimiento mismo, el de producción y el de la alta gerencia que supervisa a ambos.

La gran fortaleza de este tipo de auditoría es que se hace de forma rápida, y evalúa a partir de diferentes puntos de vista involucrados, en el que se mira a mantenimiento como un oferente de un servicio, a producción como un cliente de este servicio y a la gerencia como un ente objetivo que se relaciona por igual con los dos anteriores.

El procedimiento consiste en evaluar a cuatro personas de cada departamento y se les hacen preguntas sobre los siguientes temas:

- Enlaces entre producción y mantenimiento
- Percepción del mantenimiento por la jerarquía superior
- Percepción del departamento de mantenimiento por mantenimiento
- Conocimiento sobre la disponibilidad de los equipos
- Conocimiento de los costos de mantenimiento
- Métodos y preparación
- Planeación (programación de trabajos y ajuste de horarios)
- Manejo de inventarios
- Quién hace qué (realidad en las relaciones con el organigrama)
- Recursos humanos
- Medios materiales
- Entrenamiento

La ilustración muestra la evaluación de los grandes temas que cubija la encuesta; entre más cercano al centro se encuentra un aspecto, es que tiene mayor potencial para mejorar.

ILUSTRACIÓN 1. Resultados del Flash audit



Obtenida del Flash Audit. 9 mayo 2005.

Los principales aspectos a mejorar son los relacionados con el entrenamiento y la relación que hay entre los departamentos de producción y mantenimiento; se consideran críticos para el estudio aquellos que tienen un valor superior al 25%.

3. CÁLCULO DEL CMD

Los cálculos se realizan sobre los datos suministrados por la compañía de los años 2003-2004, teniendo en cuenta todos los tiempos de paradas por fallas, procedimientos preventivos y preparación de montajes requeridos para el funcionamiento de algunas de las máquinas.

Para los cálculos se elige el modelo de Weibull; es entonces la distribución con una razón de falla más general aplicable en estas circunstancias, ya que describe los tiempos de falla de componentes cuando sus razones de falla crecen o decrecen con el tiempo.

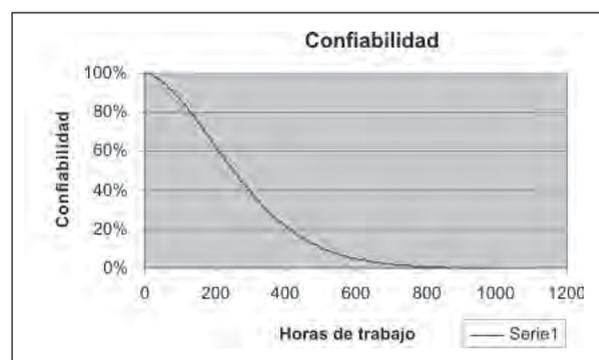
El equipo clave de manufactura se elige con el fin de plantear las actividades de mantenimiento preventivo, el departamento de mantenimiento y producción ha identificado varios equipos críticos de los cuales se escogió para realizar este cálculo la prensa de 160 toneladas con el código 81009, por:

- Impacto de paro en el flujo productivo
- Numero de equipos sustituidos

- Alternativas de subcontratación del proceso
- Disponibilidad de repuestos
- Tiempo típico de reparación
- Complejidad del mantenimiento.

El estudio de confiabilidad comienza después de la selección del modelo estructural, con la posterior elección de una distribución que modele los datos de cada uno de los bloques de la estructura que para el caso es la distribución de Weibull. A partir del método de regresión de mínimos cuadrados se obtienen los parámetros necesarios, se estudian su correlación y su ajuste y se realizan los análisis.

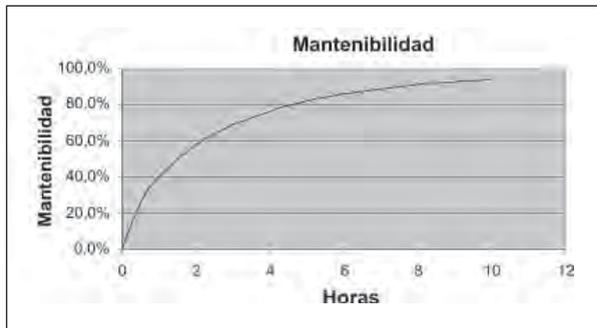
ILUSTRACIÓN 2. Resultados de confiabilidad



Elaboración propia. 2005

El cálculo de la mantenibilidad sigue un procedimiento igual al de la confiabilidad para seleccionar la distribución de mejor ajuste. Los tiempos se tabulan y se calcula por medio de la distribución de Weibull la mantenibilidad.

ILUSTRACIÓN 3. Resultados de mantenibilidad



Elaboración propia. 2005

La disponibilidad que se escoge es la inherente puesto que los únicos datos que se tienen son los tiempos de falla y los tiempos de operación, por lo tanto es la más adecuada.

MTBF = 278.6 horas.

MTTR = 2,91 horas.

$$A_i = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = \frac{278.6}{278.6 + 2,91} = 98.96\%$$

MTBF = Índice de Confiabilidad, 278.6 horas.

MTTR = Índice de Mantenimiento, 2,91 horas.

El TMR es el índice clave para la mantenibilidad, es frecuentemente el tiempo medio para reparar², o tiempo medio de mantenimiento correctivo, y se interpreta como un límite para el tiempo máximo de reparación. Cualitativamente, se refiere a la facilidad con que los equipos son restablecidos a su estado de funcionamiento. Cuantitativamente es una probabilidad y se mide con base en el tiempo de parada por mantenimiento, incluyendo todos los tiempos por mantenimiento activo: diagnóstico, desarme, reemplazo y pruebas de verificación para saber si la reparación fue adecuada (Knezevic, 1996, 50).

⁴ MTTR (mean time to repair)

TABLA 1. Resultados obtenidos para los parámetros de distribución de Weibull

Weibull	
confiabilidad	
Beta	1,72620131
Eta	312,573901
TMEF	278,613542
Mantenibilidad	
Bm	0,74809038
Am	2,44213579
TMPR	2,91383408
Disponibilidad	98,96%

Elaboración propia. 2005

El análisis de los resultados implica tabular estos tiempos y, aplicando la distribución Weibull, el TMPR es igual a 2,91 horas lo que significa que esta máquina se debe reparar en un máximo de 3 horas que es un buen tiempo contando con que la máquina cumple un turno de 16 horas diarias y el TMEF es de 12 días entre fallas.

El tiempo medio entre fallas, $MTBF^3$, es la medida de la tendencia central o valor promedio de la distribución de la variable aleatoria tiempo entre fallas, aplicada a ítems reparables (Billinton y otro, 1993, 254). El TMEF es de 278,61 horas que es igual a que cada 12 días en promedio ocurre una falla, tomando en cuenta que el promedio de tiempo de operación diario de 16 horas con tres turnos.

La frecuencia con la cual un sistema se encuentra disponible se expresa básicamente como la relación de sus tiempos de funcionamiento y sus tiempos de parada y presenta diferentes variantes. El tiempo de funcionamiento y el tiempo de parada son mutuamente excluyentes por la condición dicotómica de los estados de un sistema; el tiempo de funcionamiento se refiere a la capacidad de desempeñar una tarea, en tanto que el tiempo de parada se refiere a la imposibilidad de desempeñarla (Barringer @2005).

⁵ (Mean time between failures)

La disponibilidad para este caso es de un 98.96% que es muy buena contando con que la máquina está mas tiempo funcionando del que se encuentra en reparación.

4. PLAN DE TRABAJO

El plan de trabajo que se propone a la empresa constituye una guía de recomendaciones basada en el estudio de todas las variables de mantenimiento que se evalúan en este proyecto. El hecho de proponer el plan implica de ninguna forma que es lo único que debe o puede hacer la empresa sino que, dado un ambiente de constante renovación y crecimiento, es un primer paso donde se recomienda la dirección adecuada para que la empresa puede avanzar hacia el mejoramiento de su departamento de mantenimiento, convirtiéndola en sí en una empresa con mejor mantenibilidad.

El plan de trabajo se elabora partiendo de los resultados del Flash Audit y se toma en cuenta igualmente los resultados del cálculo del CMD y las observaciones que se hacen durante las visitas a la empresa y las entrevistas con las personas que participan. Los principales temas que muestran posibilidad de mejoramiento son las relaciones entre mantenimiento y producción y el entrenamiento. Se plantean acciones concretas que la empresa decide si las debe adoptar, las cuales para se clasifican según la inmediatez tanto de su implementación como de sus resultados.

Acciones a corto plazo:

- Usar mejor los medios de comunicación internos existentes en la empresa.
- Incluir a producción en las reuniones de planeación de mantenimiento.
- Definir claramente las necesidades de entrenamiento.
- Descentralizar la información del área.

Acciones a mediano plazo:

- Hacer un cronograma de entrenamiento basado en necesidades reales.

- Incluir a los operarios de producción en labores básicas de mantenimiento.
- Concretar los indicadores de mantenimiento y establecer planes y metas a partir de estos.
- Llevar un control mas adecuado sobre el presupuesto y desagregarlo para las diferentes necesidades del área.

Acciones a largo plazo

- Concientizar a los operarios de su responsabilidad frente a los equipos.
- Instalar un sistema completo de información de mantenimiento.
- Adoptar metodologías universalmente aceptadas de mantenimiento que se adapten a las necesidades específicas de la empresa.

5. CONCLUSIONES

El cálculo del CMD, la composición de las auditorías y los conceptos básicos del mantenimiento son fundamentales para pronosticar y estudiar la mantenibilidad de una empresa.

COLAUTO es una compañía metalmecánica que produce principalmente Autopartes y Motopartes, hace 5 años se fusionó buscando mejorar su competitividad y está muy enfocada en la calidad. Su departamento de mantenimiento está fundado por la premisa de los paros correctivos y debido a la normalización de sus productos se ha visto en la necesidad de implementar programas preventivos que en el fondo no han subsanado las fallas que presentan los equipos de tipo operacional.

La herramienta Flash Audit arroja como resultado que los principales temas que debe empezar a tratar esta empresa para mejorar su mantenibilidad son los relacionados con el entrenamiento y la relación entre producción y mantenimiento.

Las mejoras se clasifican bajo un sistema que divide la gestión de mantenimiento en niveles que facilitan la medición del alcance de las acciones y decisiones

que toma la empresa. Para cada uno de estos niveles se proponen mejoras de forma generalizada; para el nivel instrumental, se propone implementar un sistema de información; para el nivel operacional, se propone integrar más a los departamentos involucrados en la planeación; para el nivel táctico, se propone integrar a producción en las labores básicas de mantenimiento y para el nivel estratégico, se propone mejorar el sistema de indicadores.

El proceso para medir el CMD comienza con la recopilación de los datos de la máquina, después se escoge la distribución y los parámetros. Se procede a calcular la confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad y se hace un análisis de estos resultados. Los tiempos medios de falla y los tiempos máximos de reparación dan como resultado la relación de disponibilidad que, en nuestro caso, se cuenta con un porcentaje del 98%.

El plan de trabajo sugiere varios puntos que se deben atacar para mejorar la mantenibilidad de la empresa clasificados por el tiempo en que se puede tanto implementar como empezar a ver los resultados de su implementación.

Las propuestas son: a corto plazo, se propone usar mejor los medios de comunicación interna de la compañía, hacer una lista de necesidades de entrenamiento y mejorar el sistema para archivar la documentación técnica; en el mediano plazo se recomienda elaborar un plan concreto de entrenamiento basado en las necesidades reales, incluir ese plan dentro del presupuesto, involucrar más a los operarios en labores básicas de mantenimiento y mejorar el sistema de indicadores; en el largo plazo se recomienda implementar un sistema de información de mantenimiento, adoptar metodología de disciplinas como el TPM y el RCM y procurar un cambio de actitud de los operarios hacia los equipos y su mantenimiento.

Como la empresa está en constante crecimiento y en un entorno cambiante, el plan no es la única solución sino que sirve como un punto de partida para mejorar el estado del departamento de mantenimiento.

6. BIBLIOGRAFÍA

- AVALLONE, A. Eugene y BAUMEISTER III, Theodore. Marks manual del ingeniero mecánico. 3 ed. Colombia : McGraw-Hill, 1997. ISBN 970-10-0661-5.
- BARLOW, Richard E.; PROSCHAN, Frank y HUNTER, Larry C. Mathematical Theory of Reliability. New York, NY, USA. John Wiley & Sons, Inc. 1995. Library of Congress Card Number 64-25897. ISBN N/A.
- BERENSON, Mark L. y LEVINE, David M. Estadística Básica, Conceptos y Aplicaciones. México, México. Prentice Hall. S.A. 1992. ISBN 968-880-227-1.
- BILLINTON, Roy y ALLAN, Ronald. Reliability Evaluation of Engineering Systems. 2 ed. London, Great Britain. Pitman Advanced Publishing Program. 1992. ISBN 0306440636
- Blanco, Yanel – Normas y procedimientos de la auditoría integral – Editorial Roesga – Colombia – Bogota – 1998. ISBN N/A.
- Blanchard, Benjamín – Verma, Dinesh -Peterson, Elmer –mantenibility: a key to effective serviceability and Maintenance management – Editorial. Wiley interscience – Series nuevas dimensiones en ingeniería – USA. -1995. ISBN 0-471-59132-7.
- GIBRA, Isaac N. Probability and Statistical Inference for Scientists and Engineers. New Jersey, NJ, USA: Prentice-Hall, Inc, 1973. ISBN 0-13-711622-5.
- GNEDENKO, Boris y USHAKOV, Igor. Probabilistic Reliability Engineering. New York, NY, USA: John Wiley & Sons, Inc. 1995. ISBN 0-471-30502-2.
- GONZALEZ, Claudio Julian y ZAMBRANO, Alejandro. Aproximación al Control Estratégico de Mantenimiento Mediante Indicadores CMD Estándares Internacionales. Medellín, Colombia: 2002. Proyecto de grado (Ingeniería Mecánica). Universidad EAFIT. ISBN N/A.
- IRESO, W. Grant. Reliability Handbook. New York, NY, USA: Editorial McGraw-Hill Companies, Inc. 1966. ISBN 07-032040-05

- KneZevic, Jezdimir – Reliability, Maintainability and supportability aprobabilistic approach. Mc Graw Hill – London – Englad – 1993. ISBN 0-07-707423-8.
- Koontz, Harold y Wehrich, Heinz – Administración Una perspectiva global – Mc Graw Hill– México – México D.F. – 1998. ISBN 0-07-035419-7.
- MONTGOMERY, Douglas C. Design and Analysis of Experiments. 5 ed. New York, NY, USA: John Wiley & Sons, Inc. 1997. ISBN 0-471-52000-4.
- MONTOYA, José A. Y LOPEZ, Juan C. Modos de Falla y Análisis de Efectos (FMEA). Medellín, Colombia, Proyecto de grado, Ingeniería Mecánica Universidad EAFIT, 2001. ISBN N/A.
- Mora Gutiérrez, Luis Alberto –Selección y jerarquización de las variables importantes para la gestión de mantenimiento en empresas usuarias o generadoras de tecnologías avanzadas. Aplicación a las empresas del área de Medellín, Colombia. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España 1999. Escrito a. ISBN N/A.
- MORA, Luis Alberto; ARISTIZABAL; Sergio y RODRIGUEZ Carlos A. Dirección y Sistematización del Mantenimiento. Medellín: Centro de Educación Continua, Universidad EAFIT. 1989. ISBN N/A.
- MORA, Luis Alberto; TORO, Juan C. y CESPEDES, Pedro. Gestión de Mantenimiento de Quinta Generación. II Congreso Bolivariano de Ingeniería Mecánica, II COMBI. Ecuador, Julio 23. 2001. ISBN N/A.
- Newbrough, E. T. –Personal de Albert Ramona y Asociados, Inc. –Administración del mantenimiento industrial –Editorial Diana. Sexta Edición. –Ciudad de México -México -1982 pp. Completo. ISBN N/A.
- ORTIZ, German. Gestión de Mantenimiento Orientada por la Terotecnología. Medellín, Colombia: 2001 Tesis magister en administración, Universidad EAFIT. ISBN N/A.
- Ramió, Carles Y Mas, Jordi–la auditoría operativa en la practica- -editorial alfaomega- -Ciudad de México- -México- 1997. ISBN 970-15-0255-8.
- Rey Sacristán, Francisco, Hacia la excelencia en mantenimiento. Editorial TGP Hoshin, S.L. Madrid, España. 1996. ISBN 84-95428-18-0.
- SMITH, Charles O. Introduction to Reliability in Design. Malabar, Fl, USA. Robert E. Krieger Publishing Company: 1986. ISBN 0-89874-553-5.
- TORO, Juan Carlos y CESPEDES, Pedro Alejandro. Metodología para Medir Confiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad en Mantenimiento. Medellín, Colombia: 2001. Proyecto de grado (Ingeniería Mecánica). Universidad EAFIT. ISBN N/A.
- VALLEJO, Juan Santiago. Desarrollo, Validación, Contraste y Pronóstico del Cálculo CMD. Medellín, Colombia: 2004. Proyecto de grado (Ingeniería Mecánica). Universidad EAFIT. ISBN N/A.
- Velásquez Velásquez, Eduardo. Administración del Mantenimiento. Editorial Serie Nabla Delta. Universidad Pontificia Bolivariana. 1ª edición. Medellín, Colombia 1992. ISBN N/A.
- CDASERVICES. FMEA Studies [online], Junio 2000 [citado el 5 Junio 2003]. <http://www.cdaservices.com/java/fmea.htm>
- Barringer, Paul. BARRINGER & ASSOCIATES INC. [online], Septiembre 2003 [citado el 5 Octubre 2004]. <http://www.barringer1.com/ar.htm>
- Designing for Reliability, Maintainability, and Safety. George Novacek. Circuit Cellar [online], Diciembre 1998 [citado 16 Abril 2003]. <http://www.circuitcellar.com>
- Fabres, José Luis. Auditoría de gestión de mantenimiento [en línea]. 1991[citado en Junio 10 de 2001] Disponible en Internet: <<http://www.mantencion.com/articulos/rev06.html/Art.2.r6.html>> Escrito a

- Fabres, José Luis. Auditorías de mantenimiento: Un paso inicial para mejorar la competitividad [en línea]. Agosto 1991 [citado en Junio 10 de 2001] Disponible en Internet <<http://www.mantenion.com/articulos/rev5art1.php3>> Escrito b
- FERNANDEZ, Pita y DÍAS, Pertega. Estadística Descriptiva de los Datos [online], Marzo de 2001 [citado en Junio 20 de 2003]. <http://www.fisterra.com/material/investiga/10descriptiva/10descriptiva.htm>.
- Lourival, Augusto Tavares. Índices de mantenimiento. [en línea]. 2000 [citado en Junio 8 de 2001] Disponible en Internet: <http://www.mantenion.com/articulos_listado.php3> Escrito a
- Lourival, Augusto Taveres. Análisis y diagnóstico. [en línea]. 2000 [citado en Junio 8 de 2001] Disponible en Internet: <<http://www.mantenion.com/articulos/rev14.html/rev14.art2>> Escrito b
- Marín, Maria del Pilar. EL MODELO DE WEIBULL EN LA PRUEBA DEL CICLO DE VIDA. <http://correo.puj.edu.co/probabilidad/el%20modelo%20de%20weibull/EL%20MODELO%20DE%20WEIBULL.htm>
- Pelayo, Carmen Maria. Las principales teorías administrativas y sus principales enfoques. [en línea]. Agosto 1999 [citado en Junio 23 de 2001] Disponible en Internet: <<http://www.dii.ude.cl/coliva/fayol.html>>

PROGRAMAS UTILIZADOS

- EXCEL. Microsoft® Excel 2002. Copyright © Microsoft Corporation, USA, 1985 – 2001.
- WEIBULL ++. RS Weibull ++ 5.0 Copyright © ReliaSoft Corporation, USA, 1992 – 1998.

IMPLEMENTACIÓN DE LAS 5S Y CONTROL VISUAL EN EL TALLER AUTOMOTRIZ CASA MECÁNICA LTDA.

JUAN DIEGO RESTREPO SÁNCHEZ. jrestr41@eafit.edu.co
GUSTAVO VILLEGAS LÓPEZ. gvillega@eafit.edu.c
Departamento de ingeniería mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS

MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

ASESOR PRINCIPAL

Ing. GUSTAVO VILLEGAS LÓPEZ

SECTOR BENEFICIADO

SECTOR AUTOMOTRIZ

RESUMEN

El proyecto presenta el desarrollo de la implementación de la filosofía de las 5s y control visual en el taller automotriz casa mecánica Ltda. Esto se hizo con el fin de aumentar la eficiencia y optimizar la forma en que se esta trabajando, con lo cual se pueda satisfacer las necesidades de los clientes de una mejor manera y mejorar la competitividad de la empresa frente a otros talleres.

La implantación de las 5's requirió que se realizara un diagnóstico que presentara las bases de cómo se encontraba la empresa en el momento en que se comenzó con la implementación, además este diagnóstico sirvió de punto de comparación más adelante en el desarrollo del plan para poder evidenciar los cambios.

PALABRAS CLAVE

Filosofía 5s, eficiencia, optimizar, diagnóstico.

ABSTRACT

The Project presents the development of the 5s philosophy and visual control implementation in the casa mecánica Ltda automotive workshop. This was done to increase the efficiency and to optimize the way in which the work is being done, so the customer's needs could be satisfied in the best possible manner and to improve the competitiveness of the company.

The 5s implementation required for a initial diagnostic to be made to identify the company condition at the beginning of the project and so there would be a point of reference in which to compare the improvements accomplished.

KEY WORDS

5s philosophy, efficiency, optimize, diagnostic.

INTRODUCCIÓN

Los clientes actuales son personas cada vez más exigentes y con menos tiempo para malgastar, por eso cuando llevan su automóvil a un taller esperan que se les atienda muy bien y que su auto esté listo lo mas rápido posible, aquí es donde los talleres automotrices se ven en la obligación de aumentar su eficiencia para poder satisfacer las necesidades de éstos, además se ayuda a mejorar su competitividad que es algo demasiado

importante si se quiere sobrevivir en un mundo empresarial que esta constantemente cambiando, por esto se debe cumplir el objetivo de optimizar la forma en que se esta trabajando para no quedar en desventaja frente a los competidores. Esta optimización del desempeño se puede alcanzar aplicando la filosofía de las 5's en el lugar de trabajo.

FILOSOFÍA DE LAS 5S

Las 5's es un programa desarrollado en Japón, con el fin de conseguir un enfoque sistémico que se vería reflejado en mejoras duraderas en el nivel de organización, orden y limpieza.

Esta filosofía esta basada en palabras japonesas que comienzan con la letra "s", y se enfoca en trabajo efectivo, organización del lugar, y procesos estandarizados de trabajo. Las 5's simplifican el ambiente de trabajo, reducen los desperdicios y actividades que no agregan valor, al tiempo que incrementan la seguridad y eficiencia de calidad (CUATRECASAS, 2000).

Esta es una breve descripción de lo que son cada una de las 5's:

- **Seiri (Clasificar):** Se debe hacer una diferenciación entre elementos necesarios e innecesarios. Al hacer un análisis minucioso en el lugar de trabajo se define que elementos son necesarios en una jornada, que elementos no se utilizaran nunca y cuales en un futuro distante. Un método práctico y fácil consiste en retirar cualquier cosa que no se vaya a utilizar en los próximos treinta (30) días.

Una forma para identificar efectivamente los elementos que van a ser eliminados es la llamada "etiquetado en rojo" o "tarjetas rojas", y consiste en ponerles una tarjeta roja a todas las cosas que no se consideran necesarias para el desarrollo del trabajo. Después, si se corroboró que eran innecesarios, se les divide en dos clases: los que se pueden emplear en otra operación y los inútiles, siendo estos últimos los que serán descartados (CUATRECASAS, 2000).

- **Seiton (Ordenar):** Consiste en organizar los elementos que se han clasificado como necesarios de modo que se puedan encontrar con facilidad. Estos elementos que se necesitan, tales como herramientas, pueden ser elementos que no tengan uso si se almacenan demasiado alejados del lugar de trabajo o en un lugar donde sean difíciles de encontrar.

Por esto se deben clasificar los ítems según su uso y acomodarlos como corresponde para minimizar el tiempo de búsqueda y el esfuerzo, además se deben implementar sistemas de control visual que permitan al personal de la empresa ubicar fácilmente los lugares y los objetos (HIRANO, 1996).

- **Seiso (Limpiar):** Consiste en limpiar el entorno de trabajo, incluidas las máquinas y las herramientas, al igual que paredes, pisos y otras áreas del lugar de trabajo. La limpieza se encuentra directamente relacionada con el buen funcionamiento y desempeño de los equipos, además de la habilidad para desarrollar un trabajo de calidad.

El personal no sólo debe concentrarse en limpiar el lugar de trabajo, sino que también debe identificar las fuentes de suciedad y contaminación para tomar las acciones correctivas pertinentes y eliminar las causas desde la raíz.

Esta función es muy importante porque también ayuda al personal que limpia a descubrir anomalías en el lugar de trabajo y en las máquinas que utiliza ya que cuando estos están cubiertos de aceite, y polvo se hace muy difícil el identificar cualquier problema que se pueda estar formando como una fuga, una grieta que se este formando, o tuercas y tornillos flojos (IMAI, 1998).

- **Seiketsu (Sistematizar):** Se deben mantener los logros obtenidos con la implementación de las tres S anteriores. Esto se logra buscando formas más fáciles y efectivas de hacer las cosas, diseñando guías al alcance de todo el personal, para que se desarrolle todo el trabajo de una manera similar.

Se deben crear estándares de limpieza y de inspección que ayuden a cumplir un autocontrol continuo. Estos estándares no deben ser impuestos, si no alcanzados gracias a un proceso de formación (CUATRECASAS, 2000).

- **Shitsuke (Autodisciplina):** El empleo y uso de los procedimientos establecidos y estandarizados para la limpieza en el lugar de trabajo se deben convertir en hábito. Los beneficios alcanzados con las primeras S se pueden disfrutar por un tiempo prolongado, si se crea una cultura de respeto hacia las normas y se siguen los estándares establecidos con disciplina (HIRANO, 1996).

DIAGNÓSTICO INICIAL DEL TALLER CASA MECÁNICA

El propósito principal de la realización del diagnóstico inicial, es el de tener una referencia con la cual comparar

el cambio que se vaya produciendo a medida que se desarrolle la implementación de 5s en el taller. Para esto se llevó a cabo un registro fotográfico de todos los diferentes lugares del taller antes de empezar el proyecto.

PLAN DE ACCIÓN PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE 5S

Se hizo un mapa del taller demarcando las diferentes zonas para así poder identificar cuales eran las más críticas y lograr desarrollar el mejor plan de implementación para atacar los diferentes problemas.

Se generó una tabla para diferenciar los diferentes niveles de criticidad de las áreas del taller.

Se identificaron las áreas más críticas del taller, ya que eran las que tenían 2 o más número de ítems rojos.

TABLA 1. Sistema de detección de zonas críticas

	INTENSIDAD		
	Alta	Media	Baja
Limpieza			
Orden			
Control Visual			

CONCLUSIONES

- En la implementación de 5s se debe incentivar la participación de todo el personal de la empresa, para que con sus ideas se enriquezca mucho más este proceso y se pueda llegar a unos mejores resultados de limpieza y orden.
- El personal del taller casa mecánica estaba acostumbrado a guardar todo lo que les podía servir en un futuro, lo que generó que se acumulara mucha chatarra y elementos obsoletos que ocupaban mucho espacio.
- Algunos de los mecánicos fueron muy poco abiertos al cambio y se negaban a deshacerse de elementos que no estaban prestando ningún servicio, esto es algo muy común en los procesos de implantación de 5s.
- Con la implementación de las 2 primeras s, organización y orden, se consiguió un mejor aprovechamiento del espacio físico disponible en el taller, ubicando y distribuyendo mejor los elementos tales como latonería, repuestos, etc.
- Las tres primeras “s” fueron fáciles de implementar ya que se lograron muy buenos resultados en corto tiempo, además se contó con la colaboración y contribución de la gran mayoría del personal; sin embargo para la implementación de la cuarta y quinta “s” se requiere lograr un compromiso y responsabilidad mayor para cumplir con las tareas establecidas y poder sostener los logros alcanzados en el tiempo.
- Los medios de control visual que se implementaron en el taller tales como rótulos en las estanterías y la clasificación de la herramienta, son fundamentales para fomentar el orden y la organización, ya que facilitan la búsqueda de los elementos cuando se lleguen a necesitar.
- El proceso de implementación fue un poco largo respecto a lo planeado, debido a la falta de tiempo del personal para desarrollar actividades diferentes a sus labores cotidianas en el taller, esto generó varios retrasos en el cronograma.
- Gran parte de la implementación se tuvo que desarrollar en los fines de semana o tiempo extra, debido al gran flujo de automóviles que llegaban al taller en semana, lo que hacía casi imposible el desarrollo de las actividades programadas.
- Para el éxito de la implementación se necesita de sensibilización constante, capacitación y validación de la metodología a través del tiempo, para que de esta forma se garantice la buena interiorización de los conceptos y el mejoramiento continuo, de manera que las 5s conviertan en costumbres y estas costumbres en cultura del taller.
- Para fortalecer la cultura de las 5's es recomendable hacer campañas en el taller apoyadas en carteleras y reuniones, también se deben analizar los logros alcanzados para retroalimentar el proceso y hacer los cambios pertinentes de acuerdo a las nuevas situaciones o problemas que vayan surgiendo a través del tiempo.
- Con la implementación de las 2 primeras s se logró deshacer de gran cantidad de chatarra que estaba ocupando mucho espacio y obstruyendo los pasillos del taller.
- El espacio que se liberó fue utilizado para almacenar los repuestos, auto partes y latonería que antes eran ubicados en el piso, alrededor de los automóviles.
- El ubicar los elementos afines en un solo lugar y la rotulación, facilitó su búsqueda y minimizó las pérdidas de tiempo que se venían presentando anteriormente cuando se necesitaba alguno de estos.

BIBLIOGRAFÍA

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).

ASIGNATURA –Mantenimiento Productivo Total –TPM– Programa académico, Universidad EAFIT, 2004 - 1.

CUATRECASAS ARBÓS Luis. TPM: Hacia la competitividad a través de la eficiencia de los equipos de producción. Ediciones Gestión 2000. Barcelona. 2000, pp. Completo.

HIRANO Hiroyuki. –5's Para Todos: 5 Pilares de las Fábricas Visuales– Madrid, España: TGP Hoshin, 1996, pp. Completo.

IMAI, Maasaki. –Gemba Kaizen: Como implementar el kaizen en el sitio de trabajo– Santa Fe de Bogota, Colombia: Mc Graw Hill, 1998, pp. Completo.

SUZUKI Tukutaro –TPM in Process Industries: Japan Institute of Plant Maintenance– Portland, USA: Suzuki, 1999, pp. Completo.

VILLEGAS, Gustavo –Notas de clase de la materia Mantenimiento Productivo Total– Universidad EAFIT, 2004.

IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE INDICADORES PARA LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO DE UNA EMPRESA TEXTILERA

LUCAS CÉSPEDES ZAPATA. lcespede@eafit.edu.co
SANTIAGO MEJÍA ISAZA. smejiais@eafit.edu.co
CARLOS MARIO TAMAYO D.
Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS

MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

ASESOR PRINCIPAL

Ing. CARLOS MARIO TAMAYO D.

EMPRESA

FABRICATO TEJICÓNDOR S.A –
Área de Mantenimiento, Planta de acabados

RESUMEN

La gerencia de mantenimiento está sustituyendo los viejos valores por paradigmas de excelencia de mayor nivel. La práctica de ingeniería de confiabilidad, la gestión de activos, la medición de los indicadores y la gestión de la disponibilidad; así como la reducción de los costes de mantenimiento constituyen los objetivos primordiales de la empresa enfocados a asegurar la calidad de gestión de la organización de mantenimiento. La importancia que representa para una empresa contar actualmente con un sistema de información, el cual le permita medir y controlar su gestión y operación, ha creado la necesidad de aplicar un sistema de indicadores en el grupo de textileras del grupo Fabricado-Tejicóndor S.A. con el ánimo de obtener planes de mejoramiento, tendencias e implementar acciones necesarias útiles

para el logro de los objetivos de la empresa. Para el desarrollo del sistema de indicadores se comienza con el estudio teórico de los indicadores de seguimiento más utilizados a nivel mundial, seguido de los indicadores de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad; luego con base en este estudio, se entró a examinar minuciosamente el manejo, registro, y adquisición de datos del área, en donde se hicieron las respectivas reformas con el fin de mejorar la calidad, precisión y veracidad de los datos a utilizar para el cálculo de indicadores. Posteriormente se seleccionan con base en las necesidades de la empresa los indicadores de seguimiento más importantes y se realizan los respectivos cálculos matemáticos y estadísticos de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad con el posterior análisis de sus respectivos resultados y gráficas. Por último se sugiere a la empresa la implementación detallada de los indicadores escogidos y calculados al software de mantenimiento propio del departamento.

ABSTRACT

The maintenance management is substituting the old values for paradigms of excellence at a higher level. The reliability engineering practices, the assets manage, the indicators measurement and the availability manage; thus like the reduction of maintenance costs, constitutes the primary objectives focus to make sure the manage

maintenance quality. The importance that represents for a company to have a CMMS, that allows measurement and control its manage and operations, has create the need to apply an indicators system for the enterprise group of Fabricato-Tejicóndor S.A., encouraging better making maintenance plans used on getting to company's goals.

As for the development of the indicators system, it begins with the study of the indicators that are world widely used, followed by the reliability, maintainability and availability indicators. Then based on this study, we carefully examined the manage, register and acquisition of the area data where reforms were respectively made with the purpose of improving quality, precision and truthfulness of the data used for the calculations. After, the most important indicators are selected based on the company's needs and mathematical and statistical calculations of reliability, maintainability and availability are used to check the analysis, results and graphics. It is suggested that the company should apply the selected indicators and calculations used in the maintenance software.

PALABRAS CLAVE

Confiabilidad, Mantenibilidad, Disponibilidad, CMD, indicadores de seguimiento, indicadores clase mundial.

KEY WORD

Reliability, Maintainability, Availability, RAM, Following indicators, world class indicators.

ARTÍCULO

En este proyecto se pretende que el área de la empresa Fabricato. Tejicóndor S.A, logre obtener el control de la gestión y operación de mantenimiento, por medio de la implementación de un sistema integral de indicadores, el cual contenga tanto los indicadores de seguimiento que más se ajusten a sus necesidades, como los indicadores de clase mundial o de CMD. Éste proyecto se puede dividir en cinco fases fundamentales, las

cuales se pueden resumir en una primera fase de estudio teórico sobre las bases de mantenimiento, sus tendencias actuales hacia la terotecnología, el estudio de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad y el estudio de los indicadores de seguimiento más usados a nivel nacional e internacional. La segunda fase es el estudio detallado de los sistemas de adquisición y registro de datos junto con la forma en que se maneja la información de mantenimiento, la tercera fase consiste en la selección detallada y con base en las necesidades de la empresa, de los indicadores de seguimiento más apropiados y la creación de los indicadores propios únicamente de su gestión propia. Una cuarta fase se encarga del cálculo matemático y estadístico de la confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad, con el posterior análisis de resultados y gráficas. Por último se sugiere la implementación detallada del sistema de indicadores completo, tanto indicadores de CMD como de seguimiento dentro del sistema de información de mantenimiento de la empresa.

Lista de términos

CMD: Confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad.

MTTR: Tiempo medio para reparar

MTBF: Tiempo medio entre Fallas

R(t): Función de confiabilidad

f(t): Función de densidad de probabilidad de fallas.

$\lambda(t)$: Función de tasa de fallas

β : Parámetro de forma

η : Parámetro de escala

Γ : Función Gamma

NOCIONES PRELIMINARES SOBRE INDICADORES

Actualmente, obtener el control sobre toda la gestión del área de mantenimiento es sumamente importante para dirigir las acciones al logro de las metas de la empresa. Para el cumplimiento de estos objetivos, es necesario que se realicen mediciones en cada uno de los procesos que involucran a mantenimiento, como en aprovechamiento de máquinas, recursos humanos, reparaciones, control de inventarios, control de costos,

etc. Por medio de un buen sistema de indicadores de gestión de mantenimiento, que integre todas las anteriores mediciones junto con los indicadores de CMD o clase mundial, se logra obtener el control deseado por parte de la dirección.

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.

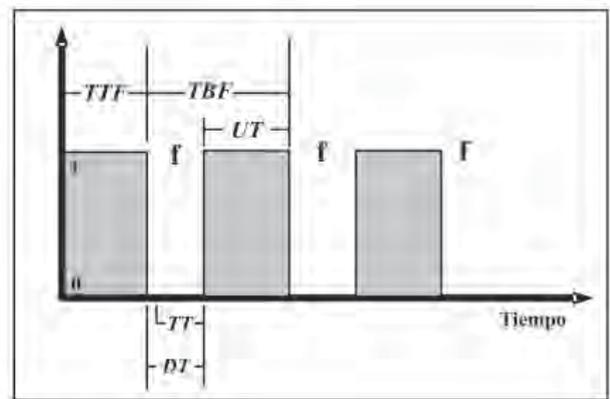
Confiabilidad

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 cual ha sido diseñado. La aplicación de las técnicas de confiabilidad se inicia en el año de 1713, pero su utilización definitiva se da en la Segunda Guerra Mundial, se calcula a partir de los tiempos de fallos de los elementos del equipo. Se entiende por confiabilidad ($R(t)$, Reliability) de una pieza o equipo la probabilidad de que éste cumpla, sin fallo, una cierta función durante un tiempo dado y bajo unas condiciones determinadas.

Las técnicas de confiabilidad se aplican no sólo al diseño de equipos y sistemas, también se utilizan en el análisis de información operativa para mantenimiento. En este último caso, permiten conocer el comportamiento de equipos en operación con el fin de:

- Aislar equipos o componentes problemáticos.
- Prever y optimizar el uso de los recursos humanos y materiales necesarios para el mantenimiento.
- Diseñar las políticas de mantenimiento a ser utilizadas.
- Calcular instantes óptimos de sustitución económica de equipos.
- Establecer frecuencias óptimas de ejecución del mantenimiento preventivo.

La relación entre los conceptos de disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad se puede visualizar de la siguiente manera:



Donde:

- 1= Condición operacional del equipo.
- 0 = Condición no operacional del equipo.
- f_i = Falla i -ésima.

TTF = Time to fail, tiempo hasta fallar (usado en equipos no reparables, que sólo fallan una vez).

TBF = Time between failures o tiempo entre fallas.

UT = up time o tiempo operativo entre fallas.

DT = Down time o tiempo no operativo entre fallas.

TTR = time to repair o tiempo necesario para reparar. De aquí se derivan los siguientes parámetros para un número de fallas = m

$MTBF$ = Mean time between failures, tiempo medio entre fallas = $\frac{\sum TBF}{m}$

MDT = Mean down time, tiempo medio de indisponibilidad entre fallas = $\frac{\sum DT}{m}$

$MTTR$ = Mean time to repair, tiempo medio de reparación = $\frac{\sum TTR}{m}$

MUT = Mean up time, tiempo medio de funcionamiento entre fallas = $\frac{\sum UT}{m}$

Mantenibilidad

La mantenibilidad es la probabilidad de realizar con éxito y de completar una acción de mantenimiento correctivo, preventivo o ambas, dentro de un período definido de tiempo, a un nivel de confianza deseado, con la mano de obra especificada, niveles de experiencia determinada,

con la tecnología y herramientas adecuadas, equipos de prueba, datos técnicos, manuales de mantenimiento y bajo las condiciones medioambientales específicas; también es conocida como la probabilidad de poder reparar un equipo y regresarlo a su condición técnica de referencia. La mantenibilidad, depende de factores como:

Factores de diseño	<ul style="list-style-type: none"> • Complejidad del equipo • Diseño de los componentes • Facilidades de montaje y accesibilidad • Normalización e intercambiabilidad de componentes
Factores de organización	<ul style="list-style-type: none"> • Formación del personal de mantenimiento • Disponibilidad de los equipos de mano de obra • Eficiencia del almacén de recambios • Disponibilidad de documentación técnica
Factores operativos	<ul style="list-style-type: none"> • Especialización de la mano de obra • Herramientas y utillaje de los equipos de mantenimiento • Instrucciones y procedimientos de preparación de trabajos de mantenimiento

Disponibilidad

La disponibilidad es la probabilidad real de disponer un equipo produciendo en forma adecuada durante un período de tiempo (al cual se le excluyen los tiempos de fallos y los de reparación), siendo el tiempo neto real.

Se calcula a partir de los valores de MTBF y MTTR. 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.

Indicadores de seguimiento

Para facilitar la evaluación de las actividades del mantenimiento, permitir tomar decisiones y establecer metas, deben ser creados informes concisos y específicos formados por tablas de índices, algunos de los cuales deben ir acompañados de sus respectivos gráficos, proyectados para un fácil análisis y adecuado a cada nivel de gestión. Dentro de estas tablas se puede diferenciar índices e indicadores así:

Índice

Se refiere a indicio o señal de algo, se define como la evolución de una cantidad, se denota indicio como la señal o signo aparente y probable de existencia de algo real o supuesto; seña o vestigio de algo, definido como la relación entre varios números calificativos de algo

Indicador

El indicador es una magnitud o expresión cuantitativa del comportamiento de varias variables o de los atributos de un producto o servicio en proceso de una organización.

La magnitud del indicador sirve para compararla con un valor o nivel de referencia con el fin de adoptar acciones correctivas, modificativas, predictivas o preventivas según sea el caso.

Para cada tipo de empresa y para cada situación conviene desarrollar los indicadores propios que analicen el alcance de los objetivos fijados. La clave para este desarrollo, consiste en elegir las variables necesarias para el éxito de los procesos críticos de la empresa.

Algunos autores coinciden en que pueden existir tres tipos diferentes de indicadores de gestión, los cuales son: Indicadores de eficacia, eficiencia y efectividad.

Características de los indicadores de gestión

Los indicadores de gestión deben cumplir con unos requisitos y elementos para poder apoyar la gestión para conseguir el objetivo. Estas características pueden ser:

- *Simplicidad*: puede definirse como la capacidad para definir el evento que se pretende medir, de manera poco costosa en tiempo y recurso.
- *Adecuación*: entendida como la facilidad de la medida para describir por completo el fenómeno o efecto. Debe reflejar la magnitud del hecho analizado y mostrar la desviación real del nivel deseado.
- *Validez*: en el tiempo puede definirse como la propiedad de ser permanente por un periodo deseado.
- *Participación de los usuarios*: es la habilidad para estar involucrados desde el diseño, y debe proporcionárseles los recursos y formación necesarios para su ejecución. Este es quizás el ingrediente fundamental para que el personal se motive en torno al cumplimiento de los indicadores.
- *Utilidad*: es la posibilidad del indicador para estar siempre orientado a buscar las causas que han llevado a que alcance un valor particular y mejorarlas.
- *Oportunidad*: entendida como la capacidad para que los datos sean recolectados a tiempo. Igualmente requiere que la información sea analizada oportunamente para poder actuar.

Indicadores de eficacia

La eficacia podría entenderse como la comparación de los valores reales contra los esperados, se pueden citar algunos indicadores que, al ser comparados con las metas que se espera, estimarían el grado de eficacia que la programación de mantenimiento está teniendo. Para éstos el control se sitúa en el campo de los resultados, generando acciones sobre los recursos o los procesos cuando los resultados obtenidos sean diferentes a los esperados. La eficacia en pocas palabras se puede definir como el logro de una meta.

Indicadores de eficiencia

Estos indicadores relacionan los resultados obtenidos y los recursos empleados, es decir, lograr la meta con unos recursos limitados y dados.

Indicadores de efectividad

La efectividad se define como lograr la meta con unos recursos limitados y dados, al menor costo, con la mayor calidad y competitividad, en el menor tiempo y máxima oportunidad.

CÁLCULO DE INDICADORES DE CMD

Calidad de datos

Existe la necesidad de obtener datos completos y exactos correspondientes al funcionamiento de equipos, accidente y sus consecuencias, operaciones de mantenimiento y sus costos. El mejor caso es cuando dicha información es recolectada del mismo equipo (datos específicos de falla) o de equipos análogos en condiciones similares de operación.

Los datos que se adquieren actualmente para el control de la gestión en la planta de la totalidad de máquinas existentes en el área de acabados, se realiza con base en las “solicitudes de servicio” u “órdenes de trabajo”, las cuales son llenadas por el personal técnico de mantenimiento, justo después de terminada su intervención en la máquina.

Para evaluar la calidad de los datos encontrados en la solicitud de servicio de atención técnica o orden de trabajo (work order), es importante que se hagan las siguientes preguntas:

- ¿Qué tan completos son los datos?
- ¿Qué tan precisos son los datos?
- ¿Qué tan oportunos o convenientes son los datos?
- ¿Qué tan útiles son los datos?

El tener una buena cantidad de datos, de una manera completa, es necesario para el desarrollo satisfactorio de cualquier análisis de historial o de condiciones actuales de un equipo. La precisión en los datos es necesaria para identificar correctamente las raíces de las causas de los fallos. Los datos oportunos por su parte, son utilizados para corregir los problemas de los equipos antes de que causen las fallas en las máquinas

Cálculo de confiabilidad

La confiabilidad es definida como la probabilidad de que un equipo funcione por encima de un período de tiempo t . Para expresar ésta relación matemáticamente, se define T como la variable aleatoria que representa la vida de un equipo cualquiera. Para estimar o predecir el comportamiento de una variable aleatoria es conveniente conocer su función de distribución de probabilidad.

El Tiempo Promedio Entre Fallos (Mean Time Between Failures, MTBF) indica el intervalo de tiempo más probable entre un arranque y la aparición de un fallo; es decir, es el tiempo medio transcurrido hasta la llegada del evento "fallo". Mientras mayor sea su valor, mayor es la confiabilidad del componente o equipo.

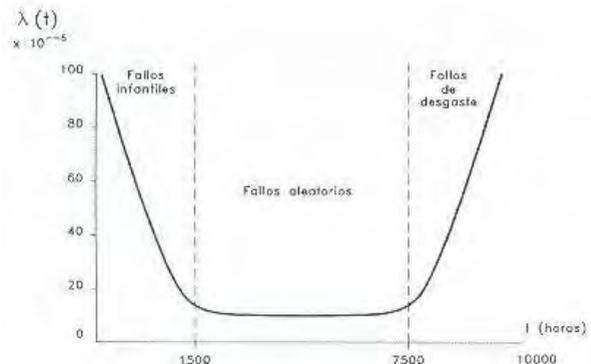
Para empezar los cálculos, es necesario realizar un historial de fallos y reparaciones, con base en la hora de reporte del fallo y su respectiva fecha, las horas totales de maquina en estado no operativo y las horas de atención o reparación de cada intervención. Una vez obtenido los datos, se procede a realizar los cálculos de CMD.

Las distribuciones más frecuentemente usadas para el cálculo de la confiabilidad, son la exponencial, la normal y la Weibull. la distribución Weibull es la más indicada para realizar los cálculos de confiabilidad pues posee algunas ventajas sobre las otras dos distribuciones.

La distribución de Weibull posee, en su forma general, tres parámetros lo que le da una gran flexibilidad. Ellos son:

- Parámetro de posición (γ): el más difícil de estimar y por este motivo se asume con demasiada frecuencia que vale cero. Indica el lapso en el cual la probabilidad de falla es nula.
- Parámetro de escala o característica de vida (η): su valor es determinante para fijar la vida útil del producto o del sistema. Cuando γ representa la vida útil.

- Parámetro de forma (β), permite a la distribución de Weibull tomar diversas formas, parámetros menores a 1 son característicos de los equipos en períodos de mortalidad infantil (tasa de falla decreciente); con valores cercanos a uno, de equipos en períodos de vida útil (tasa de falla constante y aleatoria); y con valores mayores a 1, de equipos en períodos de desgaste (tasa de falla creciente). Estos periodos se pueden ver en la curva da davies o de la bañera:



Para facilitar de la estimación de los parámetros de la distribución Weibull, se utiliza para los cálculos de este proyecto el método de regresión de mínimos cuadrados, en donde a obtención de estos parámetros se logra por medio de la linealización de la distribución Weibull mediante algunas transformaciones necesarias y la obtención del intercepto y pendiente de la recta. El proceso es el siguiente:

El primer paso es encontrar una estimación de desconfiabilidad para cada falla, para ésto, se utiliza el método más sencillo que consiste en encontrar el llamado Rango de Mediana. Éste se puede encontrar por la Aproximación de Benard:

$$R - M = \frac{j - 0.3}{N + 0.4}$$

Donde:

- RM = Estimador de desconfiabilidad del rango de mediana
- J = Posición del dato ordenada de menor a mayor
- N = Número total de datos

Posteriormente se realizan unas transformaciones de los valores del tiempo y la desconfiabilidad (valores X y Y) para la distribución Weibull:

$$x_i = \ln(T_i) \quad y_i = \ln \left[\ln \left(\frac{1}{1 - R_{Mi}} \right) \right]$$

Donde:

R_{Mi} = Rango de mediana

T(i) = Tiempos de fallas

NOTA: para este cálculo es necesario que los tiempos de fallas sean expuestos en forma ascendente.

El tercer paso es encontrar la pendiente y el intercepto de la recta creada por las coordenadas x_i y y_i previamente halladas. Para encontrar estos valores, se puede hacer uso de las funciones del programa EXCEL, las cuales son "PENDIENTE" e "INTERSECCIÓN.EJE".

Con base en la pendiente y el intercepto, se encuentran los parámetros β y (η) de la distribución Weibull despejándolos de la siguiente ecuación:

$$\beta = b$$

$$\eta = e^{\left(\frac{a}{b}\right)}$$

Donde: a: Intercepto de la recta

b: Pendiente de la recta

Utilizando los datos de la máquina Sucker Kansas 3, se encuentra que:

$$\beta = 0.91 \quad \text{y} \quad \eta = 66, 16$$

Una vez calculados los parámetros, se realiza la prueba de Bondad de Ajuste de Kolmogorov-Smirnov, para verificar si los datos se ajustan a la distribución de Weibull.

Se observa que el parámetro β indica que la máquina se encuentra en la primera zona de la curva de la bañera o sea en el lugar donde suceden las fallas por mortalidad infantil o fallas prematuras.

Se aplica la fórmula de la esperanza matemática para la distribución Weibull que es igual al MTBF y esta dada por:

$$MTBF = \eta \times \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right)$$

Reemplazando, el MTBF

es igual a 68.84 horas, que es lo mismo que 2.86 días, esto significa que la máquina Sucker Kansas 3, debería mantenerse en estado operativo durante el intervalo de preventivos, el cual es cada 3 semanas o 21 días. Este resultado preocupante, pues la máquina presenta una frecuencia de fallos muy alta, siendo 21 días el 100% del tiempo que debe estar operando, solo opera el 13% sin presentar alguna falla.

Para completar los cálculos de confiabilidad, es necesario que se calcule:

- Función de confiabilidad R(t) y su gráfica Confiabilidad Vs tiempo de operación (para distribución Weibull)

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

De donde se obtiene:



La función de fallas acumuladas, indica la probabilidad de que un equipo no llegue con vida a un determinado instante t. Analizando la gráfica de confiabilidad (complemento de la función de fallas acumuladas), se observa que la confiabilidad baja o decrece rápidamente, dando como resultado que al pasar las 50 horas de operación, ya existe el 50% de probabilidades de que

esta haya llegado con vida, y después de 100 horas de operación, existen un 23 % de probabilidades de que siga operando la máquina o lo que es lo mismo, un 77 % de probabilidades de que no llegue operando a las 100 horas.

- Función de densidad de probabilidad de fallas y su gráfica.

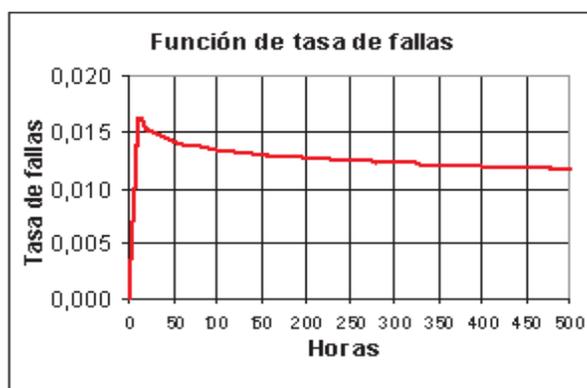
$$f(t) = \frac{\beta}{\eta^\beta} (t - \gamma)^{\beta-1} \exp \left[- \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^\beta \right]$$



La gráfica de función de densidad, muestra que la mayoría de fallos ocurren entre un lapso de 0 a 50 horas, ó 0 a 2.08 días, lo cual se aproxima al valor que encontramos del MTBF que es de 2,86 días.

- Función de tasa de fallas y su gráfica.

$$\lambda(t) = \frac{\beta(t - \gamma)^{\beta-1}}{\eta^\beta}$$



La gráfica de la función de tasa de fallas, nos revela una vez más que la tasa de falla más alta se presenta durante las primeras horas de rodaje, aproximadamente 0 a 50 horas. Por otra parte, esta gráfica nos revela que llegadas las 50 horas de operación, existe una probabilidad de que falle en la siguiente hora de 1.4%. Posteriormente, pasando de 250 horas de operación, se estabiliza la tasa de fallos en un 1.2% aproximadamente.

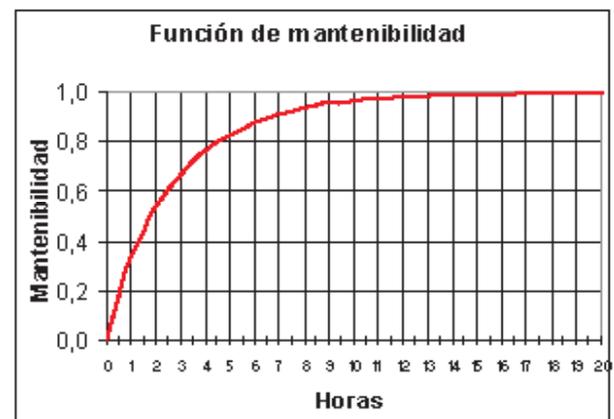
Cálculo de mantenibilidad

Para el cálculo de la mantenibilidad, se sigue el mismo esquema inicial que para el cálculo de la confiabilidad, por el método de regresión de mínimos cuadrados.

Los resultados arrojan un

$\beta = 0.92$ y $\eta = 2,67$ con lo cual calculamos un MTTR = 2.77 Horas o 166,2 minutos.

La función de mantenibilidad obtenida es:



Esta gráfica, nos indica la tendencia que tiene el mantenimiento correctivo, en la cual se observa que hay una probabilidad del 33% de que los mantenimientos se hayan terminado antes de una hora o que es lo mismo que existe una probabilidad del 67% que no se haya terminado el trabajo antes de una hora. También una probabilidad del 90% de que el mantenimiento se haya terminado después de 7 horas, o que es lo mismo que pasadas 7 horas hay una probabilidad del 10% que no se hayan terminado los trabajos.

Cálculo de disponibilidad

Para efectos de este proyecto se evaluará la disponibilidad inherente, la cual depende directamente de los valores obtenidos de MTBF y MTTR como se muestra:

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

Donde MTBF = 68,84 y MTTR = 2,779 Horas

Disponibilidad = 0.96 ó 96%

Lo cual significa que el 96% del tiempo total, se puede esperar que el equipo esté disponible para cumplir la función para la cual fue destinado.

Definición de indicadores de seguimiento

Para definir un buen indicador de control en un proceso es importante desarrollar un criterio para la selección de los indicadores que deberán monitorearse en forma continua, ya que el seguimiento tiene un costo alto cuando no está soportado por un verdadero beneficio; puede utilizarse una sencilla técnica que consiste en responder cuatro preguntas básicas:

- ¿Es fácil de medir?
- ¿Se mide rápidamente?
- ¿Proporciona información relevante en pocas palabras?
- ¿Se grafica fácilmente?

Independientemente a estos elementos, los indicadores debe ser claros, importantes (evalúan aspectos neurálgicos), deben ser fiables y sobre todo, seleccionar sólo los necesarios. Recuerden que las mediciones y seguimiento de los indicadores cuestan.

Si las respuestas a todas las preguntas son afirmativas, ya está definido un indicador apropiado. Claro que requiere de un poco de tiempo evaluar cada pregunta de manera concreta y asegurar que si se responde afirmativa o negativamente, la respuesta está asegurada.

El proceso para implantar un sistema de indicadores y determinar aquellos que contienen las variables más importantes para medir en la gestión de mantenimiento de la empresa, empieza con la elaboración de una tabla resumen de los indicadores más empleados por diferentes empresas a nivel mundial. Posteriormente, a los ingenieros encargados de las seis áreas que componen el departamento de mantenimiento de la planta de acabados de Fabricato.-Tejicóndor S.A, se les planteó la tabla, con el fin de analizar la aplicación de cada uno de ellos a su proceso de gestión, y de esta manera evaluar la viabilidad de implantarlos al sistema de indicadores.

Una vez planteada la lista de indicadores a la dirección de mantenimiento de la empresa, se procede a una reunión donde asisten todos los ingenieros encargados de las secciones de mantenimiento, en donde se analiza cada indicador, teniendo en cuenta las principales características de indicadores, como el significado de cada uno, la ayuda que brinda para el control del área y la manera cómo se pueden adquirir los datos necesarios para su aplicación.

Los resultados de los indicadores a usar son:

Grado de actividad para el período:

$$\frac{\text{Total de horas trabajadas * mes (en prev, corr, emergencia)}}{\text{Total de trabajos realizados * mes (en prev, corr, emergencia)}}$$

Horas de paro del equipo por averías vs horas de producción:

$$\frac{\text{Horas de paro por mantenimiento}}{\text{Horas de producción realizadas}} \times 100 \approx 1 - 3\%$$

La influencia del coste de mantenimiento en el coste final del producto:

$$\frac{\text{Costes de mantenimiento (totales)}}{\text{Costes de producción}} \times 100 \approx 5 - 6\%$$

Costos del mantenimiento preventivos:

$$\frac{\text{Costes del preventivo}}{\text{Costes totales de mantenimiento}} \times 100 \approx 20\%$$

Tiempo no operativo del equipo causado por fallos:

$$\frac{\text{Tiempo no operativo causado por fallos}}{\text{Tiempo total no operativo}} \times 100$$

Horas en mano de obra en trabajos de emergencia:

$$\frac{\text{Horas hombre empleadas en trabajos de emergencia}}{\text{Total de horas hombre trabajadas}} \times 100$$

Costo directo de mantenimiento correctivo:

$$\frac{\text{Costo directo de correctivos}}{\text{Total de costos directos de mantenimiento}} \times 100$$

Cantidad de OT's correctivas que pierden producción:

$$\frac{\text{Órdenes de trabajo de emergencia}}{\text{Total de órdenes de trabajo}} \times 100, \text{ debe ser menor al } 20\%$$

Porcentaje de OT's de mantenimiento preventivo:

$$\frac{\text{Órdenes de trabajo de mto preventivo}}{\text{Total de órdenes de trabajo}} \times 100 \approx 40$$

Porcentaje de OT's de mantenimiento correctivo que NO pierden producción:

$$\frac{\text{Órdenes de trabajo de mto correctivo}}{\text{Total de órdenes de trabajo}} \times 100 \approx 40\%$$

Tiempos medios de respuesta ante las averías:

$$\frac{\text{Tiempo total de espera de máquina}}{\text{Número de averías}}$$

Porcentaje de cumplimiento del mantenimiento preventivo:

$$\frac{\text{Acciones de mto preventivo ejecutadas}}{\text{Acciones de mto preventivo programadas}} \times 100$$

Porcentaje del mantenimiento planeado que es ejecutado:

$$\frac{\text{Acciones de mto preventivo ejecutadas}}{\text{Acciones de mto preventivo planeadas}} \times 100$$

Al continuar con los lineamientos establecidos para implantar un sistema de indicadores en una empresa, es muy importante evaluar que indicadores de

mantenimiento son propios de ésta, es decir, que su evaluación, análisis y resultado sólo les puede interesar a ellos mismos, pues algunas variables que son necesario medirlas, pertenecen a procesos específicos de los cuales es importante obtener un control. Por consiguiente el paso que sigue es la "identificación de las actividades a medir", que sean adquiridas de procesos internos de la empresa preferiblemente. Como resultado se plantean 6 indicadores propios principales los cuales son:

Fallos por tipo de servicio

$$\frac{\text{Número de fallos * tipo de servicio (X)}}{\text{Número de fallos totales}} \times 100$$

Cantidad de fallos por máquina

$$\frac{\text{Número de fallos * máquina (X)}}{\text{Número de fallos en todas las máquinas de la sección}} \times 100$$

Cantidad de fallos por determinada causa

$$\frac{\text{Número de fallos debidos a causa (X)}}{\text{Número total de fallas}} \times 100$$

Tiempo empleado por cada especialidad de técnico

$$\frac{\text{Número de horas empleadas * especialidad de técnico}}{\text{Número de horas de intervención totales}} \times 100$$

Tiempo empleado en mantenimiento preventivo

$$\frac{\text{Número de horas empleadas en mto preventivo * máquina}}{\text{Número de horas disponibles de máquina}} \times 100$$

Solución más utilizada

$$\frac{\text{Número de fallos con solución (X)}}{\text{Número de fallos totales}} \times 100$$

Todos estos indicadores se esquematizan por medio de diagramas de Pareto preferiblemente, como ejemplo:

Diagrama de Pareto para tiempo de servicio de cada especialidad



CONCLUSIONES

- La complejidad de las empresas modernas exige una alta disponibilidad de máquinas, lo que requiere la disminución de cualquier tipo de fallo que pueda presentarse, ya que un fallo que implique parada de máquina significa tiempo improductivo costoso para la empresa.
- Para el desarrollo correcto de los indicadores propios de la empresa es necesario que se evalúen las variables más críticas que tiene la gestión de mantenimiento de la empresa. Esto con el ánimo de que se evalúen pocos indicadores con los cuales se obtenga un buen control en la adquisición de sus datos y se profundice en ellos para analizarlos correctamente y tomar acciones para mejorar y corregir desviaciones en los resultados. No es necesario tener bajo control continuo muchos indicadores sino sólo los más importantes, los claves.
- Para cada tipo de empresa y para cada situación conviene desarrollar los indicadores propios que analicen el alcance de los objetivos fijados.
- El CMD es realmente una herramienta muy útil para que de una manera rápida sea posible visualizar las tendencias y comportamientos que un equipo

presenta bajo condiciones determinadas. Así, se puede notar que con las gráficas de función de confiabilidad, función de densidad y tasa de fallas, y agregando el *MTBF*, se puede tener un diagnóstico muy aproximado del estado por el que atraviesa la máquina, en el que se nota claramente que se encuentra en la zona de mortalidad infantil con un *MTBF* de 2,8 días y con una probabilidad de no fallo que decrece rápidamente, lo que da como resultado que al pasar sólo 50 horas de operación o 2,08 días, ya existe el 50% de probabilidades de que no esté en estado operativo.

- Las estrategias que se sugieren para que la empresa obtenga un mejor indicador de confiabilidad se basan en pruebas de arranque, verificación del montaje o construcción, pruebas de recepción y aceptación, aumento de controles de calidad a repuestos y reparaciones, capacitación al personal para obtener mejores reparaciones y disminución de la contaminación, entre otras.
- La mantenibilidad de la máquina Sucker Kansas 3 arroja un valor de *MTTR* de 2,77 horas o, lo que es lo mismo, 2 horas y 46 minutos. Este valor es necesario reducirlo, empleando estrategias como las capacitaciones para cada persona asignada a cada mecanismo de la máquina, el manejo de herramientas y la elaboración de instructivos, entre otros.

SUGERENCIAS

- La empresa debe enfocarse primordialmente a implantar los indicadores de seguimiento seleccionados y luego implantar el resto, siempre teniendo en cuenta que es mejor pocos indicadores que midan las variables más críticas.
- Para reducir el *MTTR* es necesario tomar acciones enfocadas a la capacitación del personal asignado para cada zona de la máquina, de manera que se reduzcan los tiempos de diagnóstico y de intervención como tal, al tener conocimiento completo de los mecanismos, su operación, su forma de repararlos y qué repuestos se utilizan más frecuentemente para mantenerlos a la mano.

- Se sugiere, para la presentación de los indicadores generales y de CMD, el diagrama de Pareto, debido a que brinda claramente el punto de comparación para enfocar las acciones sobre las máquina, mecanismos o partes más críticas.

BIBLIOGRAFÍA

- BLANCHARD, Benjamín S., VERMA, Dinesh, y PETERSON, Elmer. MAINTAINABILITY: A Key to Effective Serviceability and Maintenance Management. New York, NY, USA . John Wiley & Sons. 1995. p 111.
- CÉSPEDEZ GUTIÉRREZ, Pedro Alejandro, y TORO OSORIO, Juan Carlos. Metodología para medir confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad en mantenimiento. Medellín, 2002, 134 p. Trabajo de grado (Ingeniero Mecánico). Universidad Eafit. Departamento de Ingeniería Mecánica. Área de mantenimiento. p 9, 40.
- DÍAZ MATALOBOS, Ángel. Confiabilidad en mantenimiento. Caracas, Venezuela. Ediciones IESA . 1992. P 41.
- DOUNCE, E. La Productividad del Mantenimiento Industrial. México D.F, México. CECSA . 1998. p. 3.
- EBELING, Charles E. An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering. New York, NY, USA. McGraw-Hill. 1997. p 23, 256.
- ESREDA. WORKING GROUP. Handbook on Maintenance Management. Hovik, Norway, Det Norske Veritas. 2001. p 32.
- KELLY, A. y HARRIS, M.J. Gestión del mantenimiento industrial. Madrid, España. Fundaciones REPSOL. 1998. p 37
- MORA, Luis Alberto, TORO, Juan Carlos, y CÉSPEDES, Pedro Alejandro. Gestión de Mantenimiento de Quinta Generación, II Congreso Bolivariano de Ingeniería Mecánica, II COMBI. Ecuador, Julio 23 al 26. 2001. p 1, 25, 26
- MORA, Luis Alberto. Diplomado en gestión y control de mantenimiento (IRI). ACIEM, 2003.
- 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. 1997. p 5.
- OLWELL, David H. –Reliability Leadership – Philadelphia, PA, USA – Institute of Electrical & Electronics Engineers. – 2001. p 1.
- REY SACRISTÁN, Francisco. Hacia la excelencia en mantenimiento. Madrid, España. TGP Hoshin. 1996. p 1, 3, 61
- ROJAS, Jaime. Introducción a la Confiabilidad. Bogotá. Colombia. Universidad de los Andes. 1975. p 3.
- VALLEJO JARAMILLO, Juan Santiago. Desarrollo, validación, contraste y pronóstico del cálculo de CMD. Medellín, 2004, 153 p. Trabajo de grado (Ingeniero Mecánico). Universidad Eafit. Departamento de Ingeniería Mecánica. Área de mantenimiento.
- WIREMAN, Terry. Developing Performance Indicators for Managing Maintenance New York, USA. Industrial Press. 1998.
- AMENDOLA, Luis. Indicadores de confiabilidad propulsores de la gestión del mantenimiento [en línea], Febrero de 2004. [Citado el 8 de febrero de 2005]. Disponible en Internet: <<http://internal.dstm.com.ar/sites/mmnew/bib/notas/propulsores.asp>>

BARRINGER, Paul. An Overview of Reliability Engineering Principles. [en línea, archivo pdf]. Febrero de 1996. [Citado el 17 de febrero de 2005]. Disponible en Internet: <http://www.barringer1.com/pdf/Oview_REP.pdf>

Reliability Glossary. [en línea]. [Citado el 16 de enero de 2005]. Disponible en Internet:<http://www.weibull.com/knowledge/rel_glossary.htm>

MORA, Luis Alberto. Control y medición internacional estandarizadas de la gestión y operación de mantenimiento industrial bajo la metodología terotecnológica RAM.

[En línea]. 2003 [Citado el 5 de octubre de 2004]. Disponible en Internet: <www.aciem.org/bancoconocimiento/P/Premiodeingenieriacongreso/Premiodeingenieriacongreso.asp>

RELIASOFT. Analysis Examples. [en línea], Picosearch [Citado el 23 de mayo de 2005]. Disponible en Internet: <<http://www.picosearch.com/cgi-bin/ts.pl?index=174989&pssel=ReliaSoft&quer>>

IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN DE MANTENIMIENTO AM (ADMINISTRADOR DE MANTENIMIENTO) EN LA EMPRESA INDUSTRIAL COOPERATIVA DE MARINILLA “INCOOMAR CTA.”

JOSÉ CARLOS ZARANTE ARROYO. jzarante@eafit.edu.co
Ing. PABLO PINILLA CÉLIS
Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS

MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

ASESOR PRINCIPAL

Ing. PABLO PINILLA CÉLIS

EMPRESA

INCOOMAR CTA.

RESUMEN

Los Sistemas de Información de Mantenimiento (SIM) son softwares diseñados por expertos en mantenimiento y en sistemas, que conocen la actualidad y tendencias del sector y que compendian todos los procesos, procedimientos y recursos involucrados en mantener el departamento de mantenimiento en óptimo funcionamiento.

Particularmente AM es un Sistema de Información diseñado por la compañía Winsoftware Ltda para suplir las necesidades de mantenimiento de la empresa de hoy, facilitando la planeación, presupuestación, programación y seguimiento de todas las actividades propias del área.

En Incoomar CTA, una cooperativa de trabajadores asociados dedicada a los procesos de maquila de ropa

interior y exterior con una trayectoria de 22 años en el mercado y con el apoyo directo de Confecciones Leonisa, el proceso de implementación consistió en recoger, analizar y procesar toda la información necesaria para montar o cargar las distintas aplicaciones del AM, mientras simultáneamente se personalizaba el software a las necesidades propias de la cooperativa y se capacitaba al personal encargado de operarlo.

Luego de un mes de prueba del sistema, se analizó su funcionalidad y operatividad y se generó un Balance Mensual de Gestión de Mantenimiento en función de tomar decisiones que aportaran al mejoramiento continuo del Departamento. Finalmente, se muestran los resultados obtenidos, las conclusiones generales y las sugerencias que se consideraron de importancia para garantizar el normal funcionamiento del AM en Incoomar CTA en el futuro.

ARTÍCULO

El mantenimiento ha ido adquiriendo en la actualidad una importancia creciente; los adelantos tecnológicos han impuesto un mayor grado de mecanización y automatización de la producción, lo que exige un incremento constante de la calidad; por otro lado, la fuerte competencia comercial obliga a alcanzar un alto nivel

de confiabilidad del sistema de producción o servicio, a fin de que este pueda responder adecuadamente a los requerimientos del mercado, es así como mantenimiento pasa a ser una especie de sistema de producción o servicio alterno, de cuya gestión depende también el éxito de la empresa.

Las técnicas aplicadas al mantenimiento han evolucionado y se han logrado nuevas herramientas básicas, entre otras, los Sistemas de Información de Mantenimiento (SIM), capaces de facilitar la toma de decisiones a través del suministro de información sobre aspectos técnicos y económicos, programas de mantenimiento, control de trabajos, diagnóstico de condición de equipos y estadísticas de comportamiento y falla.

Los SIM son softwares diseñados por expertos en mantenimiento y en sistemas, que conocen la actualidad y tendencias del sector y que compendian todos los procesos, procedimientos y recursos involucrados en mantener el departamento de mantenimiento en óptimo funcionamiento.

Las funciones esperadas a cumplir por un sistema de información son:

- Administración de las órdenes de servicio.
- Historia completa de los equipos.
- Control del nivel de inventario de los materiales.
- Requisición y compra de los materiales.
- Administración del inventario.
- Solicitud de servicios.
- Programación del mantenimiento preventivo.
- Monitoreo de los equipos técnicos.
- Control del uso de las herramientas.
- Control de costos de los equipamientos.
- Análisis de fallas de los equipamientos.
- Indicadores gerenciales de desempeño.

En particular, el AM es un sistema diseñado por la compañía Winsoftware Ltda específicamente para suplir las necesidades de mantenimiento de la empresa de hoy,

facilitando la planeación, presupuestación, programación y seguimiento de todas las actividades propias del área.

Algunos beneficios que brinda son:

- Reducción de los costos totales de mantenimiento.
- Reducción de los tiempos improductivos generados por mantenimiento.
- Reducción de los eventos de paro en producción.
- Incremento de la capacidad productiva del equipamiento.
- Satisface los requerimientos básicos sobre Mantenimiento para Certificación bajo normas ISO 9000, QS 9000, TPM y otros.
- Rápido ROI (Retorno Sobre la Inversión).

Es objetivo claro de este proyecto vivir la experiencia de Implementar el SIM AM de Winsoftware Ltda, en la empresa Industria Cooperativa de marinilla "Incoomar CTA." en función de generar para un conjunto predefinido de equipos, un Balance de Gestión, junto con Índices de Seguimiento, que favorezcan la toma de decisiones.

PROCESO DE IMPLEMENTACIÓN

Para el proceso de implementación, se definió un grupo de trabajo conformado por el coordinador mecánico, el jefe de almacén, el responsable de mantenimiento preventivo y el estudiante, asignando tareas a cada uno, haciendo seguimiento de las mismas y capacitando en el manejo operativo del software e ingreso de datos al sistema simultáneamente.

Antes de iniciar labores, se reunió a todo el personal de mantenimiento y en una charla formal se dieron a conocer generalidades del AM y su importancia para la cooperativa.

Además se motivó a la gente para que participara del proceso de implementación mostrándoles las ventajas que se podrían llegar a obtener en el futuro.

El proceso de recolección de información y carga de la misma se realizó según el siguiente orden: primero la Infraestructura (Terceros, Ubicaciones Físicas, Almacenes, Unidades de Medida, Monedas, Contadores, Características, Centros de Costo, Centros Responsables, Oficios, Responsables, Otros Conceptos de Costo, Causas Pendientes, Tipos de Actividad, Causas de Cierre, Efectos de Falla, Causas de Falla, Acciones Técnicas, Referencias y Conceptos de Kárdex).

Luego se prosiguió con la información correspondiente a Equipos (EQ) y Repuestos (RP), para finalmente elaborar el programa de mantenimiento preventivo (PM).

Una vez terminada la fase de recolección e ingreso de información al sistema, el proceso de implementación se centró en la capacitación del personal responsable del manejo del AM aplicación por aplicación (Infraestructura, Equipos, Repuestos, Programa de mantenimiento, Órdenes de trabajo, Paros, Kárdex, Pedidos, Solicitudes de servicio, Historia de mantenimiento y generación de reportes).

Finalmente, se comenzó a administrar el sistema en su primer mes de prueba, alimentándolo con las órdenes de trabajo generadas, paros correctivos reportados y solicitudes de servicio vigentes.

IMPLEMENTACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA (IE)

Para la implementación de la Infraestructura se definieron uno a uno sus aplicativos, clasificando los terceros en cuatro grupos (Responsable interno / empleado (RI), Responsable externo / contratista (RX), Proveedor / fabricante (PF), Otro tipo de tercero (OT)), codificando las Ubicaciones Físicas correspondientes a los sitios o áreas geográficas donde se encuentran los equipos, los objetos de mantenimiento y los repuestos y definiendo un solo almacén, el Almacén de Repuestos porque es la única bodega o depósito que se maneja al interior de la cooperativa (monoalmacén).

Se establecieron dos Centros de costo que se refieren a la definición contable de los departamentos

o áreas responsables de un equipo o de un objeto de mantenimiento y por ende de los costos de su mantenimiento. En acuerdo con el área de contabilidad, se asignaron dos centros de costo (Centro de costo 1=Producción, Centro de costo 2=Administración) donde se cargaran los costos de mantenimiento asociados a los equipos que participan o interfieren directamente en el proceso productivo o no respectivamente).

Con el acompañamiento continuo del estudiante, con la colaboración y experiencia de los mecánicos de la empresa y sobre todo con el apoyo en todo momento de la gerencia, se implementaron en general las demás aplicaciones de la infraestructura, como las Causas de pendiente, los Tipos de Actividad, y las Causas de Cierre entre otras y se dejaron listas todas las bases de datos en las que se basan las demás aplicaciones del AM para funcionar.

En la implementación de la Infraestructura, exigió tiempo depurar entre las listas predefinidas que trae AM las causas de falla, las unidades de medida, las monedas, las acciones técnicas, etc. para solo dejar fijas las que se ajustaban a la actividad propia de Incoomar CTA.

IMPLEMENTACIÓN DE EQUIPOS (EQ)

El AM inicialmente se implementó a todos los equipos de producción, para en una segunda etapa montar los equipos administrativos (computadores, impresoras, ups, nevera, etc) y los objetos de mantenimiento locativo (ventanas, lámparas, puertas, etc).

En total se implementaron 285 equipos entre máquinas Botonadoras, Ojaladoras, Planas, Fileteadoras, Presilladoras, Recubridoras, Pretinadoras, Resortadoras, Sesgaroras y Zig Zag.

El montaje de los equipos en el AM fue una tarea dinámica porque la información ya existía, tocaba reunirla entre mantenimiento y contabilidad para luego si organizarla y cargarla.

De todos modos, la ubicación física de los equipos requirió su tiempo porque tocó verificarla directamente en

planta, encontrando huecos o vacíos que descuadraban la secuencia.

Implementación de Repuestos (RP)

La implementación del almacén de repuestos representó quizás la labor más ardua de todo el proceso de recolección de información, porque tocó hacer el inventario físico de los repuestos ya que hacía aproximadamente dos años que no se llevaba control del mismo.

Además, los repuestos se encontraban en completo desorden revueltos indistintamente del tipo de máquina al que pertenecían.

El trabajo consistió en desocupar por completo todos los estantes del almacén, para comenzar a identificar desde una planchuela hasta un tornillo, saber a que tipo de máquina correspondía, contar existencias, determinar lotes mínimos y máximos en almacén, determinar su costo, ubicarlo en los manuales de cada proveedor para reverenciarlo, darle un código interno y entonces si ingresarlo a la base de repuestos del AM.

Esta tarea se tardó una semana y media trabajando turno completo tres personas, se referenciaron 503 repuestos, a cada tipo de máquina se asignó una gaveta dentro del cajón o estante de repuestos la cual se rotuló con el nombre de cada máquina.

Implementación de Programas de Mantenimiento

Internamente, el departamento de mantenimiento manejaba un programa de mantenimiento preventivo para los equipos de planta, sin embargo se encontraba atrasado y desactualizado en el sentido en que habían llegado máquinas nuevas a la cooperativa y no aparecían aún dentro del plan.

Este programa se llevaba de manera manual en reportes escritos que se archivaban en carpetas y aunque sirvió para determinar la última fecha de mantenimiento de algunos equipos, mejor se optó por reorganizar un nuevo programa en el AM basado en el anterior.

Las frecuencias de mantenimiento de las diferentes tareas, se asumieron de un estudio de mantenimiento predictivo que la empresa contrató un año atrás y para cada tipo de máquina se identificaron dos tareas de mantenimiento programadas (Mantenimiento general y Revisión poleas, enredos, limpieza general)

Igualmente se definieron para cada tipo de máquina las frecuencias de mantenimiento basados en la experiencia del personal de mantenimiento y en las frecuencias que en algunos casos sugería el fabricante.

Implementación de Paros (PR) y Órdenes de Trabajo (OT)

Las actividades de mantenimiento rutinario en Incoomar CTA., corresponden en su gran mayoría a mantenimientos correctivos o acondicionamientos de los equipos cuando se hacen cambios de referencias.

Todos estos paros imprevistos son reportados por los mecánicos, discriminando el equipo, la hora del paro, la hora en la que se informa a mantenimiento del paro, la hora en que se inician los trabajos, la hora en la que se inician los ensayos, y la hora en que finaliza el trabajo.

También se discrimina la referencia que se estaba trabajando, la operaria, la causa de falla, el mecánico responsable de hacer el correctivo y la descripción breve de las acciones técnicas adelantadas.

Normalmente, pueden registrarse Órdenes de Trabajo o Paros correctivos, y para diferenciar unos de otro se definió utilizar los siguientes criterios:

Una OT correctiva es un paro imprevisto de importancia que puede ser urgente o no, que requiere un presupuesto considerado en mano de obra, repuestos y otros conceptos de costo, y que su ejecución requiere de tiempo significativo.

Por su parte, un paro es una mini OT, porque solo cuenta con un responsable, el consumo de repuestos es mínimo en cantidad y costo, y el tiempo para ser ejecutado casi siempre es de minutos. Sin embargo un paro siempre es una actividad urgente, no da espera.

CAPACITACIÓN DEL PERSONAL

La capacitación del personal que posteriormente manejaría el AM se adelantó a lo largo del proceso de implementación y en paralelo con la capacitación que Winsoftware Ltda ofrecía al personal de Incoomar CTA. La metodología consistía en reunir la información en grupo, e igualmente digitarla o cargarla al sistema.

Sobre el final de proceso se notaron en el personal algunas dudas en el manejo operativo del sistema, por lo que en acuerdo con el gerente de la cooperativa, se asignaron reemplazos temporales en sus funciones habituales a las personas que requerían la capacitación adicional y por período de una semana, de una forma personalizada, se aclararon dudas a través de ejemplos prácticos o situaciones reales.

En general, si se considera que en procesos de implementación en empresas del mismo sector y actividad de Incoomar CTA., la experiencia de expertos como Winsoftware Ltda sugiere entre dos y tres meses para tener el sistema de información operando y listo para comenzar a generar reportes, el mínimo tiempo de un mes empleado en esta cooperativa pareciera ser el máximo logro.

Las razones para haber logrado recoger, analizar, organizar y cargar en el AM la información necesaria, haber logrado personalizar el software a los requerimientos de la empresa y aparte de esto haber capacitado al personal en tan poco tiempo apuntan hacia el trabajo en equipo, el compromiso de tiempo completo de la gerencia y la asesoría y acompañamiento continuo del estudiante.

Al final de la implementación, se tiene un sistema personalizado y ajustado a las necesidades del departamento de mantenimiento de Incoomar CTA., se tiene un sistema operable dotado de todos los medios para comenzar a administrar la gestión del departamento, se cuenta con personal capacitado con habilidades para operarlo y sobre todo se cuenta con los primeros pasos hacia la concientización de los mecánicos responsables de las tareas de mantenimiento.

BALANCE MENSUAL DE GESTIÓN

Del total de reportes predefinidos que AM ofrece, orientados por la experiencia de otras cooperativas del medio y por Winsoftware Ltda, se seleccionaron algunos que pueden ofrecer información valiosa para evaluar la gestión del departamento de mantenimiento y de la cual se podrían tomar medidas para mejorar continuamente.

Los reportes que se imprimieron fueron:

- Gráfico: Pareto por Mayor Número de Actividades
- Gráfico: Pareto por Mayor Tiempo Improductivo
- Paros: Tiempo de Paro por Tipo de Falla
- Índice de Gestión: Tiempo Improductivo Promedio
- Índice de Gestión: Porcentaje del Peso del Correctivo
- Paros: Eventos y Tiempos por Referencia

En los anteriores reportes se pudo evidenciar que las Resortadoras son los equipos que mas tiempo inoperante reportan con un promedio de 15.6 minutos al mes cada máquina, con el agravante que son las únicas maquinarias dentro del proceso que pueden llegar a pararlo.

También se pudo ver que tener una resortadora parada 1 hora representa dejar de producir 26.07 Bóxers o 13.03 Brasieres o 81.94 Pantys o 40.97 Tangas o 10.62 Vestidos de Baño mensuales y dejar de recibir 57.067,23 pesos contando solo el tiempo de paro de una máquina.

Por otra parte, el peso del correctivo registra un 40.91% y el tiempo de espera promedio es de 17.14 minutos, datos que preocupan seriamente a la gerencia ya que en ocasiones se pone en riesgo el rendimiento de producción y los tiempos de entrega de los pedidos.

Lo que físicamente se ve en la planta, también se ve en los reportes. La actividad que más paros registra es Acondicionamiento y siempre se incrementa en los cambios de turno.

Para cada uno de estos datos, se analizaron las medidas necesarias para mejorar en conjunto con todo el personal de mantenimiento.

Por ejemplo, se planteó que los mecánicos que entran a turno lo hagan cinco minutos antes y los que salen, lo hagan cinco después, de modo que se haga un empalme y haya personal suficiente para acudir a todos los reportes de paro por acondicionamiento en el menor tiempo posible y reducir así los tiempos de espera y obviamente los tiempos improductivos.

CONCLUSIONES

Finalizado el proceso de implementación en la cooperativa Incoomar CTA., y luego de haber analizado los resultados obtenidos, para cualquier experiencia similar se concluye que el respaldo teórico y conocimiento previo que se tenga de los SIM y del software particular influye directamente en el proceso de implementación y se ve reflejado en bondades como reducción del tiempo de implementación, y mayor valor agregado percibido por el cliente.

Además, comunicar a todos los niveles de la organización involucrados, los objetivos, metas, metodologías, responsables, beneficios esperados o cualquier otra información referente al proceso de implementación genera confianza en el personal y los motiva a participar mas activamente del mismo. Hacerles sentir lo importante que son para el proceso, sin duda genera un mayor compromiso de todos.

También se concluye que el acompañamiento continuo de un tercero que tenga dominio del software, que refuerce la capacitación dada por la empresa que suministra el SIM y que coordine las tareas al interior de la empresa que lo adquiere, disminuye el tiempo de implementación y crea mayores habilidades operativas en el personal.

Es importante recordar que del tipo de información que se ingrese al sistema dependen los resultados que se obtengan. La información debe ser certera y precisa para poder obtener balances que realmente reflejen la gestión del departamento de mantenimiento.

En general la implementación de un SIM genera los siguientes aportes a la gestión del departamento de mantenimiento:

- Mejorar la programación de tareas.
- Mejorar la planeación del preventivo.
- Mejorar la gestión de repuestos.
- Ayuda al diagnóstico de fallos y la predicción.
- Facilita el análisis de las tendencias en tiempo real mediante la presentación inmediata de la situación de costos y tiempos de intervención y de paros.
- Posibilita la comparación del desempeño global y de costos de mantenimiento en diferentes marcos relacionales a través de los índices de gestión y de seguimiento.
- Reducir costos directos de mano de obra.
- Reducir costos indirectos por conceptos de pérdidas de producción, indisponibilidad, mala calidad, demora en entregas, costos de capital, pérdidas de energía, problemas de seguridad y medio ambiente y mayor inversión por menor vida útil.

SUGERENCIAS

Las siguientes sugerencias surgen del análisis del proceso de implementación en general y de los resultados que se obtuvieron del Balance Mensual de Gestión, y buscan garantizar el normal funcionamiento del AM en el futuro en Incoomar CTA. y el óptimo desempeño de su departamento de mantenimiento.

Particularmente se sugiere capacitar internamente mas personal en el manejo operativo del software para evitar depender tanto de quienes lo manejan actualmente, que cada mecánico sea responsable del ingreso (digitación) de información como paros y órdenes de trabajo correctivas al sistema día a día para evitar de esta manera cargar laboralmente a una sola persona y definir una persona de mantenimiento y no una digitadora como responsable y administrador del AM, quien entre sus funciones tenga como prioridad el seguimiento y control del sistema.

También se sugiere que Producción se comprometa con reportar al administrador del AM cualquier cambio en las ubicaciones físicas de los equipos o cualquier otra modificación que requiera actualizarse en el sistema. De igual forma debe proceder nómina, reportando a mantenimiento los códigos internos y la información asociada a las operarias nuevas o los cambios de código a empleados antiguos.

Una de las sugerencias más importantes es que finalizado cada mes, y luego de analizado el Balance Mensual de Gestión, se reúna al departamento de mantenimiento, para informar los resultados del período, exponiendo las medidas que se esperan tomar y dando espacio para que los mecánicos planteen alternativas.

Como la causa de falla más reportada es acondicionamiento y siempre se presenta entre los cambios de turno y por falta de mecánicos. Se recomienda hacer un proceso de empalme entre los mecánicos que entran y salen, para reducir los tiempos de espera que normalmente se presentan bajo esta situación. Podría ser que quienes salen de turno lo hagan cinco minutos más tarde y quienes entran lo hagan cinco minutos antes.

Además Mantenimiento debe informar a producción por lo menos una semana antes, los equipos que tiene programados dentro del programa de mantenimiento preventivo, para conjuntamente acordar la viabilidad de ejecutar las tareas preventivas y evitar que para la fecha la máquina no este disponible.

Para tratar de reducir los índices de correctivo, el cumplimiento del programa de mantenimiento preventivo debe ser prioritario ante cualquier actividad.

Igualmente para conservar el orden y el inventario del almacén de repuestos, se pueden programar periódicamente jornadas de limpieza (5S) a cargo de los mecánicos y por lo menos una vez al año hacer un ajuste de inventario para verificar físicamente las existencias.

Recordar que el respaldo, motivación, ejemplo y compromiso de la gerencia influye directamente en el comportamiento del resto del personal y finalmente tener claro que las ventajas que se alcancen con el manejo del AM o cualquier SIM también dependen del análisis que se haga de los Balances generados. Por si solos, los Reportes solo son papel impreso, toca interpretarlos acertadamente para tomar decisiones que conlleven a mejoras.

BIBLIOGRAFÍA

REFERENCIAS TOMADAS DE LIBROS

- ALVAREZ LAVERDE, Humberto. La fabrica inteligente como en mantenimiento productivo total permite competir en la era del conocimiento. Pág 23. Barcelona, España. 1998.
- NAVARRO ELOLA, Luis- Pastor Tejedor, Ana Clara- Mugaburu Lacabrera- Jaime Miguel. Gestión integral de Mantenimiento. Pág 10-30 Marcombo. Boixerau Editores. Barcelona. España. 1997. ISBN 84-267-1121-9.
- PINILLA CELIS, Pablo. Notas de Clase Especialización en mantenimiento industrial. Sistemas de información. Universidad EAFIT. Medellín. Colombia. 2004.
- SIMPOSIO INTERNACIONAL SOBRE INGENIERÍA DE FÁBRICAS. Pág 19. Centro de publicaciones Universidad EAFIT. Medellín. Colombia. 1994.
- SOURIS, Jean Paul. El Mantenimiento: Fuente de beneficios. Pág xiii. Edición en español por Editorial Díaz de Santos, S.A. – Madrid. España. 1992.
- WINSOFTWARE LTDA, Manual del Usuario AM, 2005.

REFERENCIAS TOMADAS DE INTERNET

Winsoftware@

Winsoftware Asociados Ltda. [En línea].

Disponible en Internet en:

<http://www.winsoftware.com.co/>

Soporteycia@

Soporte y compañía Ltda. [En línea].

Disponible en Internet en:

<http://www.soporteycia.com.co/>

Softexpert@

Software expertos [En línea].

Disponible en Internet en:

<http://www.softwexpert.com/>

Mttomundial@

Mantenimiento mundial [En línea].

Disponible en Internet en:

<http://internal.dstm.com.ar>

Kyber@

Mantenimiento mundial [En línea].

Disponible en Internet en:

<http://www.kyber.cl>

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE UN SISTEMA DE REUBICACIÓN DE ANCLAS EN DRAGAS DE SUCCIÓN PARA MINEROS S.A.

ESTEBAN GÓMEZ CUARTAS. egomezcu@eafit.edu.co
JUAN CARLOS YEPES OSPINA. jyepesos@eafit.edu.co
MS.c. JOSÉ ALFREDO VÁSQUEZ
Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS
PROYECTOS

ASESOR PRINCIPAL
MS.c. JOSÉ ALFREDO VÁSQUEZ

SECTOR BENEFICIADO
EMPRESA MINEROS S.A.

RESUMEN

El proyecto de grado es un estudio de factibilidad para implementar un sistema de reubicación de anclas marítimas en las dragas de succión de Mineros S.A.

El sistema reemplaza el método actual de trabajo; eliminando la utilización de los cables proas y puntos muertos de apoyo utilizados en el giro de trabajo de las dragas, por grúas ensambladas en la proa de ambos lados de la draga.

El estudio incluye un análisis técnico y económico; se determina la viabilidad técnica por medio de un estudio de las características hidrostáticas actuales de las dragas, para lo cual se tomaron medidas de francobordo reales de las dragas en operación. Se pronostica con los resultados de este análisis, el calado final de las dragas

al ser sometidas a las cargas máximas del nuevo sistema y se determina la necesidad de modificar los volúmenes de reserva de los cascos de las dragas.

Se hacen cálculos generales de la estructuras de las grúas, con esto se determinan pesos y pronostican tiempos de trabajo, ingresos operacionales y costos de las dragas de succión. Se realiza una comparación de los flujos de caja de ambos métodos de trabajo, el actual y con el sistema de grúas, para determinar la viabilidad económica del proyecto.

ABSTRACT

The graduation project is a feasibility study to implement an anchor boom system in Mineros S.A. suction dredgers.

The system replaces the actual working methodology; eliminating the use of the bow wires attached to fix positions in the ground used for the swing movement of the dredge, by anchor boom systems assembled in both sides of the bow on deck.

The study includes a technical and economical analysis for the project; the technical feasibility is established by means of a study of the actual hydrostatic characteristics

of the dredgers, in which real freeboard measurements were taken in the working conditions. The final draft of the dredgers is predicted with the hydrostatic analysis, when the maximum working forces are applied with the anchor boom system; the need of a modification in the reserve volume of the pontoon is determined.

General structure analysis are made for the anchor booms, with this the weights are established and the new working times, working revenues and costs of the dredgers are predicted. A comparison of the cash flows of both methods is made, and the economical feasibility is determined.

PALABRAS CLAVES

Giro de trabajo, cables proas, características hidrostáticas, draga, francobordo, calados, casco, factibilidad, trimar, sistema de reubicación de anclas.

KEY WORDS

Swing, bow wires, hydrostatic characteristics, dredger, freeboard, draft, pontoon, feasibility, trim, anchor booms.

1. INTRODUCCIÓN

El proyecto de grado estudia la factibilidad de implementar un sistema de grúas, para la reubicación de anclas marítimas en dragas de succión, en la empresa Mineros S.A., en El Bagre, Antioquia.

En la actualidad se utiliza un sistema de cables proas, con puntos muertos de apoyo en tierra, para realizar el giro de trabajo. Se estudia su reemplazo por un sistema de grúas a bordo de la draga y su viabilidad se establece por medio de un estudio técnico y económico.

El estudio incluye la medición de los estados actuales de flotación de las dragas de succión, en diferentes situaciones de trabajo. Se analiza la posibilidad de implementar un nuevo sistema a bordo de las dragas en el estado actual, modificar el casco o planchón;

estableciendo las nuevas condiciones de trimado y escorado para el equipo con las cargas máximas de trabajo del sistema y en las posiciones más críticas de flotación de la draga.

Se utilizará la información disponible en la empresa sobre costos de operación del equipo y maquinaria de apoyo; tiempos de trabajo históricos y tiempos de paro causados por el sistema actual de trabajo, e históricos de volúmenes y tenores explotados por la compañía. Se conoce el estimado del tenor y volumen promedio a explotar del 2006 al 2014, tiempo establecido para el horizonte del proyecto.

En el estudio se abordan temas que involucran los siguientes aspectos:

- Medición del estado actual de flotación para las dragas en distintas condiciones de trabajo, calado y trimado
- Cálculo de las características hidrostáticas en el estado actual, para los calados y trimados posibles de la draga, al ubicar el sistema en proa. Con esta información se conoce el comportamiento de la embarcación, al aplicar las fuerzas máximas de trabajo y la nueva posición de equilibrio.
- Diseño de la estructura general, mástil y grúa, para el sistema de reubicación de anclas. Se determinan los pesos y fuerzas máximas de trabajo del nuevo sistema y como afectan la flotación en general. Se estudia la necesidad de modificar los cascos de las dragas, para mejorar la flotabilidad final en situaciones de trabajo generales y críticas. El volumen máximo de los pontones se diseña bajo la limitante geométrica y de funcionalidad de las dragas.
- Pronóstico de la flotación con la nueva geometría del casco y el sistema en operación.

Una vez realizado el estudio de viabilidad técnica, se continúa con un análisis económico del proyecto. Se proyectan tiempos de trabajo, áreas explotadas, número de veces a reposicionar puntos de anclaje,

costos de maquinaria pesada de apoyo, costos extras de mantenimiento, volúmenes y tenores de oro de la explotación y finalmente los ingresos de las dragas de succión con ambos sistemas de trabajo.

Se realizan flujos de caja para ambos sistemas comparando algunos índices de rentabilidad del proyecto.

2. ANÁLISIS DE FLOTACIÓN

Como parte del estudio técnico en la evaluación del proyecto, se deben hacer los cálculos de flotación de las dragas de succión, incluyendo los pesos del sistema de grúas. Se establecen las características hidrostáticas principales de cada draga para el estado actual, utilizando las medidas de francobordo en diferentes situaciones de trabajo y con la geometría general del pontón. Una vez se determina la situación de flotación actual, se puede calcular el trimado y escorado de la draga al ser sometida a la carga máxima de trabajo. Establecido el calado de la draga con los pesos y fuerzas de trabajo del nuevo sistema, se decide modificar o no la reserva de flotación y se realizan nuevos análisis hidrostáticos.

3. EVALUACIÓN DE PROYECTOS Y LOS FLUJOS DE CAJA

El flujo de caja hace parte importante de la evaluación de un proyecto y de la elaboración de los presupuesto de capital a usar. Los resultados son función exclusiva del grado de acierto de los estimados que se hagan a futuro.

El criterio de selección será el retorno y ganancia mayor del dinero invertido por la organización a futuro.

Los flujos de caja se estiman después de impuestos y en términos incrementales para analizar los efectos del proyecto sobre los flujos caja habituales de la empresa.

Los diferentes flujos de caja que existen son: Flujo de caja de la inversión, flujo de caja de la operación y flujo de caja de la financiación. Los dos primeros conforman el flujo de caja del proyecto y el tercero es el flujo de caja para el inversionista.

4. PRONÓSTICO DE DATOS

El pronóstico de datos se suele utilizar para obtener información sobre el comportamiento de un fenómeno o la ocurrencia de un evento, por ejemplo las ventas en un proyecto, los costos de producción y los ingresos, entre otros. Generalmente se parte de un conjunto de datos históricos conocidos. Esta herramienta se utiliza cuando a partir de datos iniciales es imposible determinar una línea de tendencia, que permita proyectar los datos subsiguientes a ellos, con un grado de certidumbre que facilite la toma de decisiones.

5. CRITERIOS DE EVALUACIÓN DE PROYECTOS

Los criterios de evaluación utilizados en el proyecto son:

- Periodo de recuperación del efectivo: Consiste en el numero de periodos requerido para recuperar el desembolso realizado por la empresa en la inversión inicial de capital del proyecto. Si el periodo de recuperación es aceptable para la empresa, menor a lo exigido, el proyecto se aprueba.
- Valor presente neto, VPN: Basado en el descuento de los flujos de caja. Tiene en cuenta el tiempo en que se efectúan los flujos y su magnitud. El criterio de decisión será aceptar el proyecto si el valor es mayor o igual a cero y rechazarlo si es menor.
- Tasa interna de retorno, TIR: Es la tasa de descuento que iguala el VPN de los flujos de caja a cero. Se acepta el proyecto si la TIR es mayor o igual al costo de capital, se rechazo en caso contrario.
- Tasa verdadera de rentabilidad, TVR: Es la tasa que se alcanza si los fondos del flujo de caja positivos se invierten a al costo de capital, y las deudas adquiridas a la tasa de financiación. Se acepta el proyecto si la TVR es mayor o igual a el costo del capital.

6. CONCLUSIONES

- Dada la poca reserva de flotación de la draga #11, incluida la modificación del casco, se decide no ensamblar el nuevo sistema de reubicación de anclas en la proa de esta draga. Aunque soporta el sistema manteniendo un francobordo positivo, se escora y trima por debajo de la línea de agua, al aplicar las fuerzas máximas de trabajo en las posiciones mas críticas. No hay necesidad de realizar un estudio económico para justificar la inviabilidad del sistema.
- Aunque la draga #15 tiene poca reserva de flotación, con el sistema de grúas y pontones ensamblados en proa, su francobordo es aceptable para las condiciones críticas de trabajo; hay viabilidad técnica del sistema. Operativamente y conociendo el numero de veces a reposicionar anclas, y comparándolo con el numero de veces a reposicionar apoyos en tierra, la draga tiene mayor tiempo efectivo de extracción con el sistema actual. No hay viabilidad económica al tener ingresos y tiempos de trabajo menores con el sistema de grúas.
- El sistema es técnica y económicamente viable en las dragas #12 y #13. Se decide aumentar las reservas de volumen de flotación de estas dragas, para obtener mejores calados en las condiciones críticas de trabajo. Con el nuevo sistema, las dragas tendrán menores costos de operación y mayor tiempo efectivo de explotación, aumentando los ingresos y rentabilidad para la empresa. Es posible construir la estructura del sistema localmente, disminuyendo los costos de inversión. Se recomienda importar la maquinaria con el proveedor de las dragas, para tener mejores garantías de calidad y mejor soporte técnico post venta.
- El sistema de reubicación de anclas por medio de grúas, le da autonomía a las dragas, al no depender de la disponibilidad de maquinaria pesada y personal extras.
- Con la implementación de este sistema en las dragas de succión, se elimina las posibles interferencias entre los cables proas de estas dragas con las de cucharas.
- Con el nuevo sistema, el operador de la draga tiene la libertad de posicionar los cables proas de la draga, cuando sea necesario, eliminando así, el problema de cables muy adelantadas, o muy atrasados y sus efectos negativos colaterales de: daños en los malacates de proa por excesiva fuerza y velocidad al ser halados con lanchas; sobre esfuerzos en las anclas puntales, provocados por los ángulos fuera del rango de diseño para una correcta operación, y menores rendimientos en el dragado.
- Se elimina el riesgo del personal involucrado en las labores de construcción de apoyos en tierra y reubicación de cables. Con el nuevo sistema no es necesario tener personal en tierra.
- Dado que el factor más crítico para el proyecto es el tiempo de reubicación de un ancla, para lograr su óptimo funcionamiento, es necesario mejorar las condiciones actuales del terreno explotado; eliminando al máximo el material vegetal como árboles, arbustos, ramas, raíces, etc. del terreno.
- En el caso de ser necesario ubicar las anclas fuera del agua, existe la limitante funcional cuando la altura del terreno sobrepasa la mitad de la altura de la grúa.
- Aunque no se recomienda la implementación del sistema de grúas en las dragas #11 y #15, si se recomienda mejorar los calados y la flotación, mediante el ensamble de pontones en proa, para lo cual es necesario realizar un estudio más minucioso de las características hidrostáticas actuales. Se sugiere analizar su comportamiento con las condiciones de trabajo y al adicionar cargas en cubierta o bodegas. Los escorados actuales de las dragas #12 y #13 aunque no son críticos, se pueden mejorar al llenar los tanques de lastre en popa, a babor o estribor, dependiendo del calado final que se desee.

REFERENCIAS TOMADAS DE LIBROS

BACA, Guillermo. Ingeniería Económica. Séptima edición. Bogotá D.C. Colombia: Fondo educativo panamericano, 2002. 416 p. ISBN: 958:9489-21-4.

BANKS, Jerry. Manual de simulación, traducción de *Handbook of Simulation*. Primera edición. Estados Unidos de América: 2002. Pág. 91-92. ISBN: 0-471-13403-1.

CARDONA, Zulma Inés. Finanzas Corporativas. Notas de clase. Cargraphics S.A. – Red de impresión digital. 225 p. ISBN: 958-33-3759-5. Medellín – Colombia.

Crystal Ball 2000.2, Professional Edition. [Software]. Colorado, Estados Unidos de América. *Decisioneering Inc.*: Junio de 2001 [citado en Septiembre de 2005]. Disponible en Internet: <http://www.decisioneering.com/distributors.html>.

Fundamentos de Construcción Naval y Estabilidad del Buque, Traducción del *Fundamentals of Naval Construction and Ship Stability*. Sección de Instrucción, Republica de Cuba, Marina de Guerra, 1958

MICROSOFT CORPORATION, Microsoft Encarta 2002. [Enciclopedia]. 2002. [Estados Unidos de América]: Microsoft Corporation, [Citado en Julio de 2005]. Disponible en Internet: <http://www.encarta.com>

ROBERT, B. Zubaly. Applied Naval Architecture. Cornell Maritime Press. Maryland – Estados Unidos de América. Segunda Edición, 2000, 349 p. ISBN: 0-87033-475-1.

TRAINING INSTITUTE FOR DREDGING. Cutter suction dredging course for the Bangladesh water development borad. Primera Edición. Kinderdijk, Holanda: TID, 2000. Serie, 90.00.099.

REFERENCIAS TOMADAS DE INTERNET

FINANCIERA. Análisis de reemplazo de activos físicos [en línea]. 2004 [visitado en Octubre de 2005]. Disponible en Internet: <http://www.gestiopolis.com/canales/financiera/articulos/17/caue.htm>

Decisioneering Inc. Crystal Ball. [Software]. Edición profesional. [Colorado, Estados Unidos de América]: Decisioneering Inc., Junio de 2001 [Citado en Septiembre de 2005]. Versión: 2000.2. Disponible en Internet: <http://www.decisioneering.com/distributors.html>.

INCOTERMS. Internacional comerse terms [en línea]. 2005 [visitado en Octubre de 2005]. Disponible en Internet: <http://www.businesscol.com/comex/incoterms.htm>

METAL QUOTES. Precios de la onza troy de oro [en línea]. 2005 [citado en octubre 2]. Disponible en Internet <http://www.kitco.com/market/>.

NAUTICA: Curso de terminología náutica [en línea]. 1998 [citado en septiembre de 2005]. Disponible en Internet: <http://www.grecotour.com/veleros-grecia/terminologia-nautica>.

PROYECTO DE INVERSIÓN: Trabajos [en línea]. 2004 [citado en octubre de 2005]. Disponible en Internet: <http://www.monografias.com/trabajos16/proyecto-inversion/proyecto-inversion.shtml>

TASA DE CAMBIO: Cotizaciones [en línea]. 2005 [citado en septiembre de 2005]. Disponible en Internet: <http://www.corfinsura.com/espanol/cotizaciones/cotizaciones1.asp>

VRYHOF. *Anchor manual* [en línea]. 2005 [citado en octubre 6]. Disponible en Internet: <http://www.vryhof.com/ammanual.htm>.

ACTUADOR CNC DE CORTE TIPO CUCHILLA PARA CARTÓN Y CUERO

ALEJANDRO ALBERTO GALLO MUÑOZ. agallomu@eafit.edu.co

Ing. IVÁN DARÍO ARANGO

Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS

DESEÑO DE SISTEMAS TÉCNICOS

ASESOR PRINCIPAL

Ing. IVÁN DARÍO ARANGO

EMPRESA

UNIVERSIDAD EAFIT

RESUMEN

Las técnicas en el corte no existían hasta que los confeccionistas e ingenieros estudiaron que del 40% al 60% del precio de venta en la mayoría de sus productos consistía en los insumos y los costos de la mano de obra del salón de corte. Por esta misma razón, un significativo número de avances tecnológicos en métodos, equipos y ayudas de trabajo, eficiencia en la utilización de las telas y cueros en el salón de corte han sido responsable del mejoramiento en esta área. Los confeccionistas han estudiado más a fondo este problema. Contribuyendo al rendimiento de la productividad en el salón de corte, la precisión del corte para las máquinas que realizan, el cosido tanto de las prendas en tela como en cuero, cada día requieren sistemas más perfectos y precisos en las

prendas, para el ahorro de insumos como hilo y ahorro en la mano de obra.

Por todo lo anterior el desarrollo de una herramienta de corte para los moldes de cartón de la mediana y la pequeña empresa tanto de la confección, como para la utilización del corte de cuero en la industria marroquinera, hace necesario el desarrollo de herramientas adaptables a las maquinarias que poseen estas empresas y que puedan incrementar la productividad de las mismas sin necesidad de invertir grandes cantidades de capital para este propósito. Por ello se pretende diseñar y construir una herramienta de corte para adaptarla a los plotters X-Y CNC trazadores que poseen muchas de estas empresas. Por último se presentan las conclusiones y las recomendaciones más importantes encontradas en el transcurso de la investigación.

ABSTRACT

The techniques in the cut did not exist until the ready-made clothiers and engineers studied that from 40% to 60% of the sale price in most of his products she consisted of the components and the costs of the manual labor of the hall cut. For this same reason, a significant number of technological advances in methods, equipment and aids

of work, efficiency in the use of fabrics and leathers in the hall cut has been responsible for the improvement in this area. The ready-made clothiers have studied more thorough east problem. Contributing to the yield of the productivity in the hall cut, the precision of the cut for the machine that make, the sewing as much of fabric articles like in leather, every day they require perfect and precise systems but in articles, for the saving of components as thread and saving in the manual labor.

By all previous the development of a tool of cut for cardboard the molds of medium and the small company as much of the preparation, as for the use of the leather cut in the leather good industry, it makes the development necessary of adaptable tools to the machinery that have these companies and that can increase the productivity of the same ones with no need to invest great amounts of capital for this intention. For that reason it is tried to design and to construct a cut tool to adapt it to the plotters plotting X-Y CNC that have many of these companies. By I complete appear the found conclusions and most important recommendations in the course of the investigation.

PALABRAS CLAVE

Técnicas de corte, salón de corte, productividad, precisión del corte, moldes, cartón y cuero.

KEY WORDS

Techniques of cut, hall cut, productivity, precision of the cut, molds, cardboard and leather

1. INTRODUCCIÓN

En la industria nacional se ha identificado la necesidad de ofrecer al mercado de la confección, una máquina cortadora de patrones automática que satisfaga las necesidades del mercado, de tal forma que ofrezca versatilidad agilidad y se obtenga una mejora sustancial en los procesos de corte, para dar respuesta a la creciente demanda de productos textiles confeccionados, para abastecer tanto la demanda nacional como la

internacional, en un mundo que cada día se va volviendo de mercados mas abiertos y altamente competitivos, donde se debe lograr reducción de costos, alta velocidad de producción con excelente calidad y con el menor esfuerzo físico.

Se diseño y construyo un actuador cnc de corte tipo cuchilla para cartón y cuero. Siguiendo los procedimientos y pasos de un proceso de diseño moderno con normas y estándares de diseño internacionales, como las normas VDI 2222 y otras que rigen los procesos de diseño.

Debido a su fácil manejo y bajo costo, el cartón representa uno de los materiales más comunes empleados en la generación de patrones para la industria de la confección y la marroquinería. La mayoría de los patrones de la industria textilera y marroquinera son realizados en cartón. Hay razones validas de porque será entonces necesario producir al menos algunos marcadores de cartón ahora y en el futuro.

Hoy en día los manufactureros que trabajan con operaciones de contrato exterior u otras operaciones de corte y costura usando sistemas de corte manuales o semi-automáticos, estos continuaran necesitando marcadores de papel o cartón para cumplir con su labor. Dentro de un salón de corte automatizado, los géneros (telas o cuero) enrollados no se conforman exactamente en todos los casos en las mismas especificaciones para la repetición del patrón, el ancho cambia. En estos casos, se requiere que los marcadores de papel muestren a los operarios de la mesa de agujas o a los cortadores manuales qué es lo que deben de hacer con los géneros mientras que están trabajando con los mismos. Los marcadores de papel se podrían necesitar para referencia visual, para ensayos y comparaciones con los sistemas automáticos y los Standard del patrón.

La construcción de patrones de cartón construidos con sistemas de corte como el de destroz, cuchillas verticales, cortadoras de disco o de cinta, son patrones muy imprecisos. Esta inexactitud en los patrones se debe en gran parte a lo difícil que es mantener manualmente una velocidad constante y a lo difícil que resulta cortar manualmente cada una de las partes que conforman el

patrón con sus distintas figuras geométricas que posee. Además de esta desventaja se encuentran entre otras la diversidad de patrones que hay que realizar para cortar una determinada prenda o para la modificación de una ya existente.

Existen diversas formas de corte de patrones hechos en cartón, pero gran cantidad de ellas resultan laboriosas para el patronista⁶. En su mayoría son inexactas, cuando no se cuenta con maquinaria que posee alta precisión para realizar estas actividades, es cara y no es alcanzable para una gran parte del sector textil y marroquinería Colombiano.

En la industria se han desarrollado varias maquinas que realizan los patrones en cartón. Las maquinas manuales se hacen tediosas por el gran numero de patrones que se deben de construir para las diferentes figuras geométricas que poseerá un diseño, las automáticas son demasiado costosas para la industria de un país como Colombia.

Por todo lo anterior el desarrollo de una herramienta de corte para los moldes de cartón de la mediana y la pequeña empresa tanto de la confección, como para la utilización del corte de cuero en la industria marroquinera, hace necesario el desarrollo de herramientas adaptables a las maquinaria que poseen estas empresas y que puedan incrementar la productividad de las mismas sin necesidad de invertir grandes cantidades de capital para este propósito. Por ello se diseño y construyó una herramienta de corte para adaptarla a los plotters X-Y CNC trazadores que poseen muchas de estas empresas.

2. SISTEMAS DE CORTE

Dentro de una sala de corte son muchos los sistemas o técnicas que se emplean para realizar los cortes de los géneros o telas extendidas.

⁶ Persona que realiza las labores de patronaje (patrones) en la industria textil o de la marroquinería. Realiza los patrones basados en los diseños y especificaciones técnicas suministrados por el diseñador ajustándolo para el proceso de corte.

Se llama destroz al efecto de cortar en bloque El conjunto de telas del colchón sin gran precisión, es decir, sin seguir en todo el recorrido los perfiles dibujados de los patrones. En esta forma de corte el material (bloque de tela) permanece estático sobre la mesa y se mueve la maquina de cortar manualmente. Como elementos de trabajo empleados para esta forma de cortar se emplean maquinas manuales de dos tipos. Discos y de cuchilla.

Cortadoras de cuchillas vertical. Son cortadoras continuas (cada movimiento de la cuchilla corta la tela), consta de un motor eléctrico que transmite el movimiento a una cuchilla vertical mediante un mecanismo de biela manivela. La cuchilla puede ser de filo continuo o dentado y de distintos perfiles. Se emplean unos u otros perfiles de filo según el tipo de materia a cortar. Las cuchillas dentadas se usan principalmente para combatir problemas creados por baja temperatura de fusión de las fibras o alta fricción desarrollada por ciertos acabados de la tela. La calidad del corte de las maquinas de cuchilla vertical depende de la forma de la cuchilla (diseño geométrico), el tipo de filo de la cuchilla (grueso a fino), la composición de la cuchilla (tipo de acero), la velocidad vertical de corte y la velocidad horizontal de corte.

La cortadora de disco, es una cortadora continua que consta de un motor eléctrico que transmite el movimiento a un disco mediante ruedas dentadas o piñones. La diferencia básica entre la cortadora de disco y la cuchilla vertical es la forma de la cuchilla y el empuje axial al cortar. La cortadora de disco tiene un cuchillo circular cuyo borde o filo gira en sentido de las manecillas del reloj en los pliegues sobrepuestos así las maquina esta propulsada lateralmente en el tendido. Esta corta la tela con una dirección de empuje del borde de la cuchilla, mientras que los cortes de la cuchilla vertical son con dos movimientos, arriba y abajo. La capacidad de corte de las maquinas de disco esta determinada por el diámetro del cuchillo, la potencia del motor y la velocidad del motor. Las cuchillas circulares son hechas con cuatro tipos de perímetros: circular, ondulado, perímetro en ángulo obtuso y dentado.

Sistemas de corte a ala cinta, este sistema se denomina así porque se efectúa en una maquina con el nombre

de sierra – cinta. Esta máquina permanece estática y lo que se mueve es el material a cortar empujado por el operario. Para evitar el desplazamiento de las telas (deslizamiento) al ser movidas se sujetan mediante pinzas. El elemento cortante de la maquina es un fleje afilado de un ancho de un centímetro y espesor inferior a un milímetro empalmado en forma de cinta sin fin y que se mueve entre volantes. Las cuchillas de las cortadoras sierra cinta son mas estrechas que las de las maquinas de cuchillas vertical lo cual permite mayor precisión perpendicular en el corte de curvas y ángulos.

Técnicas de corte por presión, la técnica de corte por presión sustituye los elementos cortantes descritos en los sistemas anteriores por troqueles. Es un tipo de cortadora intermitente en el cual la maquina tiene dos acciones: la acción positiva es el movimiento de la maquina en el cual actúa la cuchilla para cortar, la acción negativa es la que libera la cuchilla para la siguiente acción de corte.

El corte por troquel es utilizado para cortar patrones intrincados con máxima precisión. Esta precisión se disminuye si: la superficie de corte y la del troquel no están paralelas, las paredes del troquel no son perpendiculares a la superficie, las paredes del troquel son muy gruesas, el tendido no esta nivelado en la mesa de corte, las superficies de la mesa de corte y del troquel no están niveladas o por que el filo de corte del troquel este mellado, sin filo o picado. En los troqueles el conjunto de la marcada puede ser la pieza suelta (pieza de la prenda patrón), de marcada entera, de la tela suelta: espesor de 1 o 2 telas y el tipo de troquel empleado puede ser forjado, de fleje, de alambre.

Sistemas computarizados. Son maquinas en las cuales el corte del tendido es controlado por un computador. Las maquinas de corte computarizadas usan como medida de corte ya sea una cuchilla vertical, un chorro de agua o un rayo láser. El rayo láser quema o evapora la tela en la línea de corte, como contraposición a la acción de corte de la cuchilla o al viaje acuático de moléculas en la línea de corte. La cortadora computarizada no puede cortar el tendido con precisión hasta que un sistema de vacío en la mesa apriete la película de plástico estrechamente contra

el tendido, de este modo comprimiendo y estabilizando el tendido firmemente en la parte superior de la mesa, se evita cualquier movimiento en el tendido mientras es cortado por la cuchilla controlada por la computadora. Las ventajas de una cortadora automática son: menor dependencia en cortadores manuales, eliminación de corte por troquel, mejora el rendimiento de la tela.

3. EL CARTÓN

El Cartón es el material más utilizado para la realización de patrones en la industria textilera y marroquinera. A lo largo de los años se han probado diferentes materiales para la fabricación de patrones, sin encontrar ningún otro que reúna las características de este en cuanto a facilidad en empleo, bajo peso y bajo costo. El cartón, es un papel con un determinado peso básico, generalmente por encima de 250g/cm² o con un calibre generalmente mayor de 23 centésimas de milímetro o ambos, y apreciablemente rígido. (ICONTEC 1167).

4. EL CUERO

El cuero es un producto fabricado con piel de animales, reptiles, peces y pájaros. Es una sustancia orgánica derivada de los animales vivos y por lo tanto la uniformidad varia considerablemente, las pieles de distintos animales difieren en tamaño, espesor y grano. El grano son las marcas que se forman al crecer la piel y varía no solo de un animal a otro sino también dentro de una misma piel.

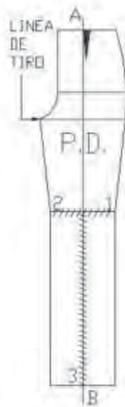
La piel es seca y los cueros son rígidos y acartonados, no son flexibles y están sujetos al deterioro natural. La piel se curte con un tratamiento a base de taninos para hacerla flexible y resistente al agua. El curtido con taninos vegetales, es un proceso costoso y se lleva a cabo con extractos de la corteza de varios árboles.

El curtido al cromo (bicromato de sodio, ácido sulfúrico y glucosa), se utiliza para fabricar cuero suave y flexible. El curtido en aceite se utiliza para obtener gamuza, y el curtido con alumbre para obtener cuero blanco. El cuero es un producto con olor agradable, absorbe los aceites y se engrasa con facilidad, requieren cuidados especiales para su limpieza ya que los disolventes lo ponen áspero.

5. EL PATRON

Es un molde de una prenda determinada, la cual se guarda y usa cada vez que se va a realizar una prenda de esa modalidad, ya que reúne unas medidas, proporciones o forma, según criterios especificados por gusto o configuración anatómica de la prenda

FIGURA 1. Patrón de Pantalón Pata de elefante



(CREAMODA@,2004)

6. EL TRAZO

El trazo es el proceso de dibujar los moldes que componen las prendas que se van a cortar, las cuales deben tener una distribución ventajosa, aprovechando al máximo la tela. De la mejor o peor forma de situar los moldes se obtiene un consumo menor o mayor de la primera materia prima que incidirá de una manera directa en el proceso de costo del artículo. La finalidad de este proceso es minimizar el gasto de material textil, ya que este representa el más alto costo total de una prenda, de ahí la importancia de reducir el consumo y el desperdicio.

El trazo se puede realizar sobre la última capa de tela extendida, sobre otro tejido, sobre papel carbón, papel sensibilizado, cartón u otro tipo de material el cual debe tener el mismo largo y ancho del tendido, teniendo cuidado que todas las partes de los moldes estén incluidas. Es importante que el coeficiente de fricción entre la tela y el cartón o tela de trazo sea alto.

Bajos coeficientes de fricción producen deslizamientos y movimientos durante el corte, esto ocasiona un corte imperfecto de la cuchilla.

7. EL CORTE

El objetivo del corte es el de cortar el tejido o tejidos, según el perfil del borde del patrón. El proceso se inicia desde el momento mismo en que llegan las materias primas a la fábrica, donde se hace una inspección y revisión de las piezas del tejido, comprobación de los pedidos, se miden los anchos, el metraje y los problemas que pueden tener las piezas de tela.

Todos los errores cometidos en el corte con el patrón, independientemente de los problemas que se ocasionan en las líneas de preparación o ensamble, estarán conspirando constantemente contra la calidad del producto. Por eso es indispensable contar en cada planta con una serie de facilidades que garanticen el buen funcionamiento del corte como son: moldes de primera calidad, buenas mesas de corte, máquinas y equipo, buena iluminación.

8. CONCEPCIÓN DEL ACTUADOR

El actuador está basado en la necesidad planteada por el laboratorio de Mecatrónica, por la industria textilera de poseer una herramienta para cortar los moldes de prendas aprovechando los plotters trazadores que poseen muchas de estas empresas que no poseen capital para comprar las nuevas generaciones de maquinaria que actualmente el mercado internacional ofrece para realizar esta función. Partiendo de esta idea se produce un producto capaz de cumplir las mismas funciones de los plotters trazadores y cortadores de moldes existentes en el mercado, adaptando la cuchilla a los plotters trazadores existentes.

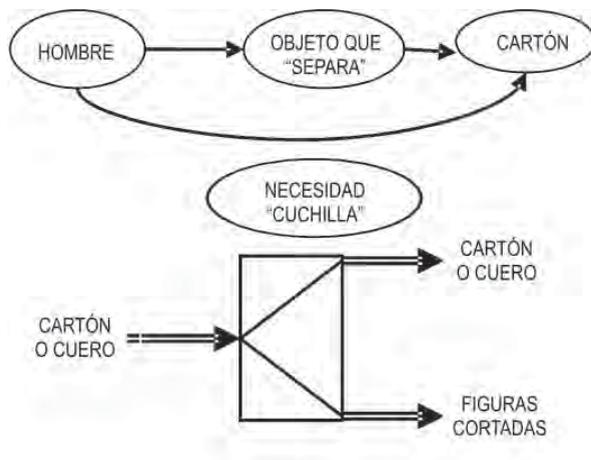
El problema más difícil que se va a enfrentar durante el proceso de diseño fue la escogencia apropiada para sujetar la cuchilla a los plotters existentes sin causar problemas al resto de la estructura de los plotters y que su funcionamiento no sufra ningún problema por la adaptabilidad de la cuchilla.

8.1 Análís Conceptual

El diseño de un objeto corresponde al llamado que hace una necesidad específica. Ante la incapacidad del hombre de satisfacer, por sus propios media la necesidad recurre a una herramienta, artificio, artefacto u objeto que le ayude a cumplir con su objetivo.

El corte de cartón, tela o cuero obedece a diferentes deseos necesidades del hombre de realizar prendas de vestir que permiten que el hombre satisfaga esa necesidad de vestirse. La incapacidad del hombre de cortar cartón, tela o cuero utilizando sus miembros hace un llamado a un objeto que le “ayude” a cumplir con dicha función.

FIGURA 2. Representación esquemática del objeto buscado entre el hombre y el cartón o cuero a cortar

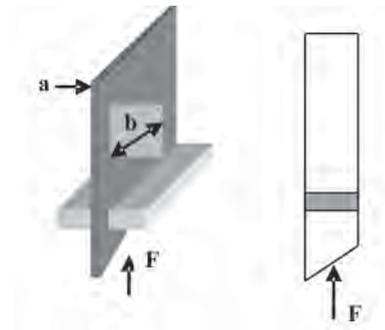


8.2 Cálculo de paneo de la cuchilla

Tratando la cuchilla como una columna con un punto fijo y el otro libre, se utilizara el modelo de Euler con la relación efectiva de esbeltez L_e/r según sea el caso a considerar en el pando en x-y o el pando x-z.

La cuchilla se considera como una columna con un punto fijo y el otro libre y una guía que impide su movimiento en el eje y.

FIGURA 3. Esquema de la cuchilla



Pandeo en X-Y

ECUACIÓN 1. Radio de giro en X-Y en función del área de la columna

$$L_e = 0.7L$$

$$I_z = \frac{1}{12}ba^3$$

$$A = a \cdot b$$

Como

$$I_z = Ar_z^2$$

$$r_z^2 = \frac{I_z}{A} = \frac{\frac{1}{12}ba^3}{a \cdot b} = \frac{a^2}{12}$$

$$r_z = \frac{a}{\sqrt{12}}$$

La relación efectiva de esbeltez de la columna con respecto al pando en el plano X-Y es:

ECUACIÓN 2. Relación de esbeltez respecto al plano X-Y

Pandeo en X-Z

$$\frac{L_e}{r_z} = \frac{0.7L}{\frac{a}{\sqrt{12}}}$$

ECUACIÓN 3. Radio de giro en X-Z en función del área de la columna

$$L_e = 2L$$

$$I_y = \frac{1}{12} a b^3$$

Como

$$I_y = A r_y^2$$

$$r_y^2 = \frac{I_y}{A} = \frac{\frac{1}{12} a b^3}{a b} = \frac{b^2}{12}$$

$$r_y = \frac{b}{\sqrt{12}}$$

La relación efectiva de esbeltez de la columna con respecto al pandeo en el plano X-Z es:

ECUACIÓN 4. Relación de esbeltez respecto al plano X-Z

$$\frac{L_e}{r_y} = \frac{2L}{\frac{b}{\sqrt{12}}}$$

El diseño más eficiente es aquel para el cual los esfuerzos críticos correspondientes a los dos posibles modos de pandeo son iguales. Este será el caso si los dos valores obtenidos para la relación efectiva de la esbeltez son iguales.

ECUACIÓN 5. Diseño más eficiente para pandeo

$$\frac{0.7L}{a} = \frac{2L}{b}$$

$$\frac{a}{\sqrt{12}} = \frac{0.7}{\sqrt{12}}$$

$$\frac{a}{b} = \frac{0.7}{2}$$

$$\frac{a}{b} = 0.35$$

$$a = 0.35b$$

La cuchilla se diseñara en Amutit (K-460) cuyas características son es un acero de mediana aleación (Cr-W) y temple al aceite, que toma dureza segura y uniforme. De mínima variación de medida, excelente resistencia al corte, alta resistencia al desgaste y buena tenacidad. Se mecaniza muy bien y es el acero mas universal para la fabricación de herramientas y moldes no expuestos a temperaturas que deben ser indeformables. Es utilizado en su mayoría para fabricar herramientas de virutamiento y de corte y estampado. El estado de entrega del material es recocido blando, con una dureza de 250 Brinell máxima y con una dureza obtenible de 63 a 65 Rockwell C. (ACEROS@,2004).

La fuerza que ejercerá la cuchilla para el corte del cuero o del cartón es de 100 N y el factor de seguridad que se plantea es de 2. Por lo tanto se tiene.

ECUACIÓN 6. Esfuerzo critico

$$P = 100 \text{ N}$$

$$F.S = 2$$

$$P_{crit} = 100 \text{ N} \cdot 2 = 200 \text{ N}$$

$$a = 0.35 b$$

$$A = 0.35 b^2$$

$$L = 0.135 \text{ m}$$

$$\mathcal{G}_{crit} = \frac{P_{crit}}{A} = \frac{200 \text{ N}}{0.35 b^2}$$

Ecuación 7. Esfuerzo critico expresado en diferentes constantes

Reemplazando en la ecuación 4

$$\frac{L_e}{r_y} = \frac{2 \cdot (0.15 \text{ m})}{\frac{b}{\sqrt{12}}} = \frac{1.039}{b}$$

Recordando que

$$\mathcal{G}_{crit} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{L_e}{r}\right)^2} = \frac{\pi^2 \cdot (210 \times 10^3)}{\left(\frac{1.039}{b}\right)^2}$$

Iguando los esfuerzos críticos obtenemos los valores de b y de a para los cuales es eficiente el diseño.

Espesor y ancho de la cuchilla encontrados

Reemplazando en la ecuación 7

$$\frac{200N}{0.35b^2} = \frac{\pi^2 \cdot (210 \times 10^3)}{\left(\frac{1.039}{b}\right)^2}$$

$$b_{\text{encontrado}} = 5.52 \times 10^{-3} m = 5.53 mm$$

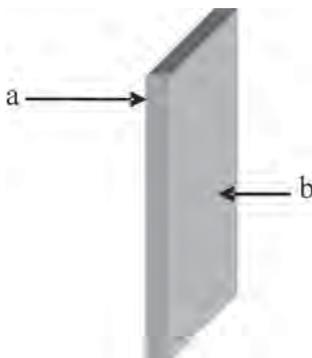
$$a_{\text{encontrado}} = 1.93 \times 10^{-3} m = 1.935 mm$$

$$b_{\text{encontrado}} = 5.53 mm < b_{\text{Diseño}} = 25 mm$$

$$a_{\text{encontrado}} = 1.93 mm < a_{\text{Diseño}} = 4 mm$$

Por lo cual la cuchilla que se diseño para el corte del cartón o del cuero cumple por tener un ancho y un espesor mayores que los encontrados.

FIGURA 4. Esquema de los parámetros de la Cuchilla



9. CONCLUSIONES

La relación entre la teoría y la práctica es de suma importancia en el proceso del aprendizaje, por esto el desarrollo de proyectos teórico prácticos permite la solución de problemas de un mundo real y no de un mundo teórico, es claro, que llevar los proyectos a la práctica involucra conocimientos habilidades, y un mayor trabajo.

El desempeño de la cortadora de cartón o cuero en la realización de una tarea de corte de patrones fue bastante aceptable debido a la aplicación de motores de corriente directa. Esto no lo logra el motor solo; solo se consigue con la combinación de los mecanismos adecuados que proporcionan precisión y potencia.

La facilidad de crear rutinas de cortes convierte este sistema en una herramienta de gran valor para los usuarios, ya que no hay que recordar complicados códigos ni secuencias, reduciendo al máximo el tiempo de manejo y aumentando la eficiencia del equipo.

Cabe destacar que debido a que los motores de corriente directa son dispositivos mecánicos y como tal deben de vencer ciertas inercias, el tiempo de duración y la frecuencia de los impulsos aplicados es un punto muy importante a tener en cuenta. En tal sentido el motor debe alcanzar su posición antes que la próxima secuencia de impulsos comience. Si la frecuencia de impulsos es muy elevada, el motor puede reaccionar en alguna de las siguientes formas. Puede que no realice ningún movimiento en absoluto. Puede comenzar a vibrar pero sin llegar a girar. Puede girar erráticamente.

10. FUTURAS VÍAS DE DESARROLLO

Los siguientes temas pueden complementar y quizá mejorar el trabajo realizado:

- Ensayar el actuador de cartón y cuero con la maquina completa incluyendo el sistema de control para verificar su compatibilidad con el resto de los componentes y encontrar posibles mejoras
- Ensayar con una cantidad determinada de materiales dispuestos sobre la mesa de corte y encontrar experimentalmente la máxima y la mínima cantidad que puede soportar sin disminuir la calidad.
- Someter el prototipo a pruebas de posibles usuarios potenciales donde puedan realizar todos los movimientos deseados y tengan la posibilidad de solucionar cualquier inquietud y de la misma manera retroalimentar el proyecto comunicándonos todas sus necesidades.
- Determinar la calidad y competitividad de la maquina frente a los equipos existentes capaces de realizar las mismas funciones

BIBLIOGRAFÍA

- Comité de Asesoría Técnica de la AAMA. El salón de corte del futuro. En: Revista Textiles Panamericanos. Vol. 53, No. 4 (oct -dic. 1993). Atlanta, Georgia: Billian Publishing, 1993. p. 58-65. Trimestral. ISSN 0049-3570
- Becerra S, Jorge. Técnicas en el corte. En: Revista Colombia Textil. Vol. IV, No. 60 (oct - dic 1980). Medellín: Asociación Colombiana de técnicos de acabados textiles, 1980. p. 8-12. Trimestral. ISSN 0120-4068
- Otálvaro S, Edgar. Introducción al tema. En: Seminario El Curtidor y el medio Ambiente. Bogotá: Acolcur, 1988. p. 1-11.
- Lafont, Bertrand. Historia del cuero y del acabado. En: Seminario de la moda y el acabado. Bogotá: Acolcur, 1990. p. 1-8.
- Camps, Jordi. Génesis del patrónaje de una prenda de vestir. Del diseño al patrón tipo. En: Costura 3 Revista de ingeniería para la industria del vestido. . No 160. (Mayo 1992). Barcelona: 1992. p. 49-64
- JONES, Chris. Un nuevo enfoque en la sala de corte. Nuevo análisis sobre planificación de utilización de las mesas en la sala de corte. Mayo 1993. En: La Bobina Notivest. Columbia: 1993. p. 12-16.
- Savidbas, Alejandro. Método de cálculo del trazo (marcado) de un corte. Origen de la calidad y de la moda. En: Fibras Enka, Medellín: Enka de Colombia. 1992. p. 1-10.
- ASCONTEX. Tallaje industrial I y II.
- RAMIREZ ESPINOZA, Anna Maria. El trazo. Introducción a la confección. Medellín: Universidad Pontificia Bolivariana. 1997. p. 160-177.
- PIZANO, Alberto. Planeación de la sala de corte. En: Prespuntos Confección y técnica. No 2 (diciembre 1992). Colombia: 1992. p. 20-23.
- GRAUDIER, ALISON. CAD: Entendiendo el laberinto del diseño asistido por computadora. En: La bobina la revista para la industria de la confección. Vol 27, No 5 (mayo 1995). Columbia: 1995. p. 48-52.
- FERRE MASIP, Rafael. Como programar un control numérico. Barcelona. McGraw-Hill/ Irwin series in operations and decision sciences.1988. 155 p. ISBN 8426707106.
- ALIQUE LOPEZ, José Ramón. Control numérico. Barcelona. The electric Power Engineering. 1981. 329 p. ISBN 842670414X.
- GROOVER, Mikell P. Fundamentos de manufactura moderna: Materiales procesos y sistemas. México: Prentice hall hispanoamericana.1997.1062 p. ISBN 9688808466.
- PARRA CORREDOR, Jaime. Las maquinas herramientas de control numérico computarizado. En: Automatización industrial metalmecánica. (Agosto, 1992). Bogotá: Sena, 1992. Mensual. p. 23-27. ISBN 01240218.
- Norma Técnica Colombiana. Términos más usados en la industria del papel: Tipos de papeles y cartones. Bogota Colombia: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y certificación (ICONTEC), año de publicación. 37-39 || (Norma ICONTEC 1167).
- RODRIGUEZ GARCIA, Alberto. Diseño Conceptual. Medellín. Colombia: Universidad EAFIT, 1996. 372 p.
- LLOVET, Jordi. Ideología y metodología del diseño. En: Biblioteca Banco Popular. (1981); 161 p. ISSN 842520934X.
- HUBKA, Vladimir. Practical studies in systematic design. London: Butter Worth &c Co. Publishers, 1988. 138 p. ISBN 0408014202.
- QUARANTE. Danielle. Diseño industrial: Elementos introductorios. En: Enciclopedia del diseño. Vol 2, 1992.p. 247-280. ISSN 8432956171.

Departamento Técnico de Comiti S.A. Perfil del sector textil en Colombia. En: Colombia Textil. Vol. 035. No 0133. Número del volumen, numero de entrega (Agosto, 2002); p. 27-33.

Hacia una manufactura inteligente: El reto de la confección. En: Revista Antioqueña de economía y desarrollo. Vol 000, No 0056 (septiembre,1998); p. 18-25.

TORO, Carlos. Nueva visión para la industria de la confección. En: Revista Colombia Textil. Vol. 035, No 0131. (Octubre, 2001); p. 29-41.

SMITH, William F. Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materials. Segunda edición. Madrid. España: MCGRAW-HILL, 1993 936 p. ISBN 8476159404.

ENGEL, Peter. Impact wear of materials. Amsterdam: Elsevier, 1978. 339 p.

NORTON, Robert L. Diseño de maquinaria: Una introducción a la síntesis y al análisis de mecanismos y maquinas. Primera edición. Mexico: McGraw-Hill, 1995. 794 p. ISBN 9701008200.

SERWAY, Raymond A. Física: Tomo 1. Cuarta edición. Santafe de Bogotá. Colombia: MCGraw-hill, 1997, 642 p. ISBN 0030156548.

SANDOR, Bela Dinámica. Segunda edición. Mexico: Prentice, 1989. 981 p. ISBN 9688801704.

GENIN, Joseph, GINSEBERG, Jerry H. Dinámica. Segunda edición. Mexico: Interamericana, 1980. 559 p. ISBN 9682502845

SIMESA. Guía para ingenieros calculistas, Constructores e inventores de estructuras de concreto. Medellín. Colombia: SIMESA.. 1999. p 67-81

REFERENCIAS DE INTERNET

SIERRA@,2004.

Sierra technology group. Plotter para marcada/tizada. [Online].Argentina 2004. [Citado el 14 de julio de 2004,]. Disponibilidad libre. Disponible en internet en <http://www.sierra.com.ar/shp.htm>.

SIERRA@a,2004

Sierra technology group. Bordado. Sistema de corte y gravado láser. [Online].Argentina 2004. [Citado el 14 de julio de 2004,]. Disponibilidad libre. Disponible en internet en <http://www.sierra.com.ar/shc.htm>

VETIGRAPH@,2004

Vetigraph. Optimize, time, quality and cost. [Online]. [Citado el 14 de Julio de 2004]. Disponibilidad libre. Disponible en internet en <http://www.vetigraph.com>

PATRONEO@,2004

Patroneo. Oferta mesa de corte. [Online]. España. 2000-2004. [Citado 14 de julio de 2004]. Disponibilidad libre. Disponible en Internet en http://www.patroneo.com/cibico_mesa.htm

CREAMODA@,2004

Creamoda. Modelo de pantalón pata de elefante. [Online]. España 2004 [Citado 14 de Julio de 2004]. Disponibilidad libre. Disponible en Internet en <http://www.creamoda.netfirms.com/cursos/page2.html>

CREAMODA@a,2004

Creamoda. Pagina inicial. [Online]. España 2004 [Citado 14 de Julio de 2004]. Disponibilidad libre. Disponibilidad en Internet en <http://www.creamoda.netfirms.com>

INVESTRONICA@,2004

INVESTRONICA SISTEMAS. La solución tecnológica ideal para el cote de tejido con motivos en tapicería y confección. [Online]. Madrid. [Citado 15 de Julio de 2004]. Disponibilidad libre. Disponible en internet en <http://www.investronica-sis.es/es/pp/cad/Match2.htm>.

EMPIRE SEWING@,2004

EMPIRE SEWING MACHINE CORPORATION. Cutting Machines and fabric Drills. [Online]. Los Angeles. [Citado 15 de Julio de 2004]. Disponibilidad libre. Disponible en internet en <http://www.empiresewing.com/equip.htm>.

MACOSER@,2004

MACOSER-SA. [Online]. [Citado 15 de Julio de 2004]. Disponibilidad libre. Disponible en internet en http://www.macoser-sa.com/maquinas_nuevas_imagenes.htm.

A.SAGARRUY@,2004

A.SAGARRUY S.A. Maquinaria especial de confección y accesorios. Autex las maquinas para extender y cortar. [Online]. [Citado 15 de Julio de 2004]. Disponibilidad libre. Disponible en internet en <http://www.sagarruy.com/Autex/a105.htm>.

ESTUDIO SOBRE EL SISTEMA DE CAMBIOS-RÁPIDOS DE REFERENCIA EN LA INDUSTRIA DE MECANIZADOS CNC, BAJO LA FILOSOFÍA SMED

JORGE AMILLER BASTIDAS MUÑOZ. jbastid1@eafit.edu.co

GABRIEL JAIME PÁRAMO

Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS

DISEÑO DE SISTEMAS TÉCNICOS

ASESOR PRINCIPAL

GABRIEL JAIME PÁRAMO

SECTOR BENEFICIADO

UNIVERSIDAD EAFIT

RESUMEN

El proyecto, Estudio sobre el sistema de cambios rápidos de referencia en la industria de mecanizados CNC, bajo la filosofía SMED, busca entregar un estudio donde se describa toda la base teórica para la selección de la mejor alternativa de diseño de dispositivos que permita mejorar los tiempos de cambio de referencia en máquinas CNC. Se pretende estudiar y analizar los costos, para verificar la factibilidad del montaje de la alternativa seleccionada.

La filosofía empleada, SMED (Single Minute Exchange of Die) es una teoría y un conjunto de técnicas que hacen posible realizar las operaciones de preparación y cambio de útiles en menos de 10 minutos. Sin embargo, aunque puede que no sea posible realizar todas las preparaciones en menos de 10 minutos, el SMED reduce siempre dramáticamente los tiempos de preparación.

Las preparaciones más rápidas también benefician al personal. Refuerzan la seguridad en el trabajo por la mejora en la competitividad de las empresas. También fluidifican y hacen más ordenado el trabajo diario por que las preparaciones más simples son más seguras, los centros de trabajo están menos revueltos, y hay menos búsquedas de herramientas y medios.

Este proyecto se centra en las operaciones de preparación relacionadas con la fase de proceso. La preparación de un equipo incluye las tareas de limpieza, retirada de útil, montaje de nuevo útil, ajustes y otras que se realizan antes y después de procesar cada lote. Hay dos clases de operaciones de preparación: internas, que pueden hacerse solamente cuando la máquina está parada, y externas, que pueden hacerse con la máquina funcionando.

ABSTRACT

The project, Study about the system of fast changes of reference in the industry of mechanized CNC, under philosophy SMED, looks to give a study where is described all the theoretical base for the selection of the best alternative of design of devices that allows to improve the times of change of reference in CNC machines. It is tried to study and to analyze the costs, to verify the feasibility of the assembly of the selected alternative.

The used philosophy, SMED (Single Minute Exchange of Die) is a theory and a set of techniques that does possible to conduct the operations of preparation and change of equipment in less than 10 minutes. Nevertheless, although it can which it is not possible to make all the preparations in less than 10 minutes, the SMED always dramatically reduces the times of preparation.

The fastest preparations also benefit the personnel. They reinforce the security in the work by the improvement in the competitiveness of the companies. Also they fluidizise and they do more ordered the daily work so that the simplest preparations are but safe, the work centers are less scrambled, and are less searches of tools and means.

This project is centered in the operations of preparation related to the phase of process. The preparation of equipment includes the tasks of cleaning, retired of useful, again useful assembly, adjustments and other that are made before and after processing each lot. There are two types of operations of preparation: internal, that can be only made when the machine this shutdown, and external, that can take control of the machine working

PALABRAS CLAVES

SMED, CNC, dispositivos cambia rápidos, centro de mecanizado, montaje, sujeción.

KEY WORDS

SMED, CNC, devices change expresses, center of mechanized, assembly, subjection

DESCRIPCIÓN

Existe una premisa que es estrictamente cierta: los tiempos de cambio de referencia siempre son susceptibles de reducirse. El proyecto consiste en determinar qué tanto y, más exactamente, hasta dónde es posible reducir los tiempos de alistamiento, aumentando la disponibilidad de la máquina CNC en épocas críticas de trabajo.

Para el proceso productivo existen tres grupos de piezas que se trabajan en el centro de mecanizado. El primer grupo, son la piezas que trabajan los estudiantes de la Universidad EAFIT para realizar prototipos en resina, y son bloques un poco mas estándares con una alta frecuencia de trabajo para la máquina CNC. El segundo grupo, son piezas que trabajan también los estudiantes de la universidad, pero que son fuera del común del primer grupo, es decir, bloques con diferentes formas y tamaños, y su frecuencia no es tan alta como la del primer grupo. El tercer grupo, pertenece a aquellas piezas que se trabajan para clientes externos a la universidad u otras instituciones, que no manejan un estándar de trabajo y cuya frecuencia de trabajo no es tan alta como en los grupos anteriores.

Para este análisis del proceso productivo, se tomara como referencia el primer grupo, por ser mas estándar y mas critico, en cuanto a la cantidad de trabajo que se requiere en la máquina, la alta frecuencia del mismo, los cuellos de botella que se pueden presentar, y la disponibilidad que se requiere de la máquina CNC.

FIGURA 1. Descripción del proceso productivo



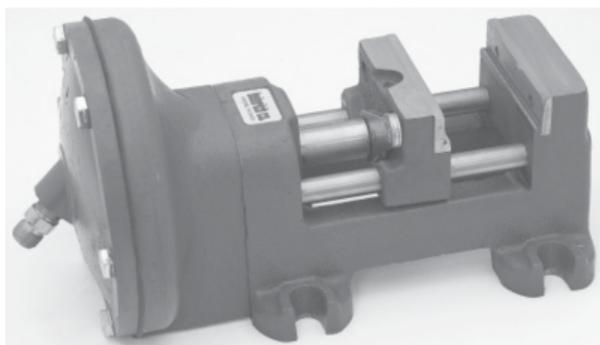
directamente el tiempo de ejecución y perturban los tiempos de disponibilidad de la maquina CNC:

- Incumplimiento de la hora pactada para iniciar el proceso por parte del cliente (estudiante) y restricciones del horario de trabajo del operario.

- El tamaño del material no es el adecuado, la pieza debe estar sobredimensionada para una mejor fijación de la misma.
- No se tienen en cuenta los límites del recorrido de la máquina en el momento de programar el código NC.
- No se conocen las herramientas que posee la máquina CNC y se incurre en errores en la programación.

El sistema de fijación adecuado para esta aplicación y que reduce todos los problemas de fijación en cuanto a estas piezas o bloques de resina se refiere, es el de fijación por prensa neumática, por ser el sistema común para este caso de bloques de resina y el más utilizado en máquinas CNC, así también como la utilización de todo tipo de bridas dependiendo de la sujeción necesitada.

FIGURA 2. Prensa neumática simple efecto



CONCLUSIONES

Es requisito establecer la elaboración de una carta de procesos para cada proyecto realizado en la máquina CNC, que incluya todas las variables relacionadas e involucradas en el proceso de elaboración del producto.

Es también muy importante la elaboración del historial de todos los proyectos realizados, tanto de los clientes internos (estudiantes) como externos, que incluyan las fichas técnicas de cada producto y su respectiva carta de procesos, para optimizar y mejorar el tiempo de

alistamiento en futuros proyectos similares o iguales, y, que no se pierda la información ya obtenida con los proyectos anteriores que pueden alimentar el conocimiento tanto del operario como de los estudiantes, para no incurrir en futuros errores dentro del proceso.

Trabajo del operario: Se recomienda que mientras la máquina CNC está trabajando, el operario realice otras actividades anticipadas a las condiciones operativas del próximo proyecto.

- Que las piezas, herramientas, plantillas y otras partes estén preparadas a mano antes de parar la máquina para el cambio de utillaje o próximo alistamiento.
- Así también es de igual importancia, realizar Mediciones y calibraciones anticipadas.
- Realizar los chequeos de funciones es muy importante también por medio de listas de chequeo. La lista de chequeo ayuda a comprobar que se tienen todas las herramientas que se necesitan para la operación particular, pero el chequeo de funciones indica si todos los elementos están en perfecto estado de trabajo.

El SMED es más que una serie de técnicas. Es un enfoque de mejora fundamental. Las mejoras en el almacenamiento y transporte de piezas y herramientas (incluyendo cuchillas, útiles, plantillas y calibres) pueden contribuir a la mejora de las operaciones aunque no serán, en ningún caso, suficientes.

La tercera y fase final del SMED es depurar todos los aspectos de una operación de preparación. En esta etapa, todas las tareas de preparación interna y externa remanentes se mejoran observando la función de cada elemento en general de la preparación, haciéndolas tan eficientes como sea posible.

Las técnicas prácticas de las mejoras de la tercera fase pueden dividirse en mejoras de las tareas de preparación externa. Las mejoras de la preparación externa incluyen depurar el almacenaje y transporte interno de útiles, herramientas y plantilla de modo que estos elementos

estén bien organizados y listos para la operación siguiente.

Un método para mejorar las operaciones de preparación es el empleo de sujeciones funcionales. Una sujeción funcional es un mecanismo de anclaje que mantiene a los objetos en su lugar con un mínimo esfuerzo, y que pueden apretarse y aflojarse rápidamente. Los sistemas de sujeción funcional incluyen los métodos de una sola vuelta, de un solo movimiento, y de inter-bloqueo.

Además, hay que recordar que las operaciones de ensayo y los ajustes asumen un gran porcentaje del tiempo de una preparación tradicional. Por tanto, eliminando los ajustes, el tiempo de preparación puede reducirse drásticamente.

Es a menudo conveniente empezar por algo pequeño que pueda terminar confortablemente en el plazo que se haya asignado. Si el proyecto es demasiado ambicioso o consumidor de tiempo puede fácilmente desanimarse y dar las cosas por terminadas.

Si los tiempos de preparación o montaje se reducen drásticamente, entonces las tasas de trabajo de las máquinas se incrementarán y la productividad crecerá no obstante el aumento del número de operaciones de preparación o montaje.

Los errores de preparación o montaje, y la eliminación de las operaciones de ensayo reducen la incidencia de defectos. También mejora la calidad, en cuanto a que las condiciones operacionales se regulan completamente con anticipación.

Las preparaciones más simples resultan también ser más seguras.

La estandarización reduce el número de herramientas que se requieren, y las que continúan necesitándose se organizan más funcionalmente.

No todos los sistemas se pueden aplicar, dadas las condiciones de la empresa, parámetros y herramientas de trabajo existen unos más viables que otros, en

algunos casos los sistemas no son aplicables puesto que requieren la compra de maquinaria nueva.

Desarrollar cualquiera de las etapas del SMED indistintamente, también trae reducciones sustanciales a los tiempos de cambio de referencia.

BIBLIOGRAFÍA

REFERENCIAS TOMADAS DE LIBROS

EQUIPO DE DESARROLLO DE PRODUCTIVITY PRESS. Preparaciones rápidas de máquinas: El sistema SMED. Madrid, España: Productivity Press, 2001. 85p. ISBN 84-87022-28-6

LONDOÑO FRANCO, Luís Miguel y TRUJILLO MUÑOZ, Carolina. Soluciones para la reducción de los tiempos de cambios de referencia aplicadas a moldes de inyección de termoplásticos. Medellín, 2002, 172p. Proyecto de grado (ingeniería de producción). Universidad EAFIT. Departamento de ingeniería de producción.

LOPERA QUIROZ, Omar Darío y SEGOVIA DIAZ, Dither Douglas. Disminución de tiempos de alistamiento usando la técnica SMED. Medellín, 1993, 118p. Proyecto de grado (ingeniería de producción). Universidad EAFIT. Departamento de ingeniería de producción.

SHINGO, Shigeo. Una revolución en la producción: El sistema SMED. 4 ed. Madrid, España: Productivity Press, 1997. 399p. ISBN 84-87022-02-2.

REFERENCIAS TOMADAS DE INTERNET**American@2005**

American aerostar corporation [en línea]. Quick mold change [Citado el 2 de Octubre de 2005]. Disponible en Internet:

<http://www.astar.com/rocker.htm>

Carr@2005

Carr Lane Roemheld Manufacturing Co. [en línea]. Innovative clamping solutions [Citado el 2 de Octubre de 2005]. Disponible en Internet:

<http://www.astar.com/rocker.htm>

DME@2005

DME: leader in mold Technologies [en línea]. D-M-E: moldmakers, mold designers, and molders [Citado el 27 de Agosto de 2005]. Disponible en Internet:

<http://www.dme.net/>

Heinrich@2005

ITCL [en línea]. Instituto Tecnológico de Castilla y León. [Citado el 23 de noviembre 2005]. Disponible en Internet:

<http://www.itcl.es/>

ITCL@2005

ITCL [en línea]. Instituto Tecnológico de Castilla y León. [Citado el 14 de Abril de 2005]. Disponible en Internet: <http://www.itcl.es/>

Milltronics@2005

Milltronics Manufacturing Company [en línea]. Milltronics VM16 Machining Center [Citado el 29 de septiembre de 2005]. Disponible en Internet:

http://www.milltronics.net/products/vm/vm16_main.htm

Ruiz@2005

Ing. Lino Ruiz [en línea]. El control numérico computarizado en el diseño industrial. [Citado el 14 de Abril de 2005]. Disponible en Internet:

<http://www.fim.utp.ac.pa/Revista/vol2/cncd.html>

APLICACIÓN DE LOGÍSTICA INVERSA Y MEDIO AMBIENTE EN UNA EMPRESA DE MANEJO INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS

SEBASTIÁN PARRA, sparrave@eafit.edu.co
SANTIAGO MARULANDA, smarula1@eafit.edu.co
Ing. LUIS ALBERTO GARCÍA
Departamento de ingeniería mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS
PLÁSTICOS

ASESOR PRINCIPAL
Ing. LUIS ALBERTO GARCÍA

SECTOR BENEFICIADO
RESIDUOS ECOEFICIENCIA S.A. (Empresa de Manejo Integral de Residuos)

RESUMEN

La preocupación por el medio ambiente está hoy día en nuestra vida diaria. La prensa, los políticos, las organizaciones sociales, están lanzando desde hace años, voces de alarma sobre la degradación acelerada a la que estamos sometiendo a nuestro planeta. Y aunque aparentemente en nuestro medio todavía no vemos la problemática ambiental como algo realmente preocupante, las empresas ya están reaccionando a las presiones de gobiernos y consumidores, y están buscando mejorar procesos y productos de forma que sus impactos, desde el diseño al final de la vida útil del artículo fabricado, sean lo menos dañinos posible.

Una fuente de mejora indudable es la relacionada con la logística, y los nuevos retos que plantea la recuperación del material a reusar o reciclar. Toda la problemática que

rodea estas decisiones, se denomina *Logística Inversa*, la cual canaliza un nuevo flujo desde el consumidor hasta el fabricante, gestionando actividades necesarias para recoger desde los consumidores los productos usados y bien reprocesarlos o enviarlos a un destino adecuado. Este proceso está llamando cada vez más la atención de los responsables en las empresas y de los investigadores, al suponer el planteamiento de nuevas oportunidades y obligaciones, a la par que la necesidad de proponer y generar nuevas soluciones para problemas que hace años no se suscitaban.

A nivel local, la valorización de los productos se ha desarrollado en un ámbito informal, contrastando con la situación en países del primer mundo, en donde el reciclaje se caracteriza por involucrar tecnología de punta en los diferentes procesos de recuperación. Esto representa una oportunidad para desarrollar la logística inversa, enfocada en tecnificar los diferentes procesos y garantizar una buena disposición de los productos retornados.

En el proyecto se desarrollaron los parámetros básicos de la Logística Inversa, enfocados en una empresa integral de residuos, en donde se analizaron todas las etapas del proceso inverso, desde la empresa proveedora hasta el producto final, para reintroducirlo finalmente en otro ciclo productivo.

Finalmente se desarrolla una investigación de procesos en el mercado local y un benchmarking con tecnología de otros países para evidenciar alternativas para finiquitar el ciclo inverso de la logística.

ABSTRACT

The concern for the environment is beginning to grow in all societies. Presses, politicians, social organizations, are calling voices about degradation of the environment and the planet. And apparently in Colombia we still haven't concern about the environmental problematic; the local industry is already reacting to the government and consumer's pressure, by improving productive procedures, designing with green focus, so the products will produce less harm.

An undoubtedly source for improvement is the related with reverse logistics and the new challenges that represents the waste processing. Every alternative or decision involved in this problematic is called Reverse Logistics, which studies the flow between the final consumer and the fabricant, managing the necessary activities to recollect from the final users, damaged or used products to recycle them or dispose them. This topic is capturing the attention of research groups, academics and industry; because it offers a lot of opportunities to create new solutions to conserve the planet natural sources and solves problems that didn't appear for a long time ago.

At a local level, the process has been developed in an informal ambit, contrasting with the high tech applications developed in countries of the first world, were recycling is characterized by involving top notch technology in the different processes of the Reverse Logistic. This represents an opportunity, to develop RL, focused in improving the technical processes and guarantying an adequate disposal of the industrial waste.

In the project the basic parameters of Reverse Logistic were developed, focused in an Integral Waste Management company, where all the different steps involved in the inverse channel were analyzed, beginning with the supplier company and ending with the final

product, which will be introduced in another productive cycle.

Finally a research is developed investigating the local processes for waste treatment and realizing a benchmarking with foreign technology to find alternatives to complete the inverse cycle of the logistics.

PALABRAS CLAVE

Logística Inversa (LI), gestión de residuos, separación en la fuente, PMIRS (Plan Integral de Manejo de Residuos).

KEY WORDS

Reverse logistic (RL), Waste Management, source classification.

HIPÓTESIS GENERAL

Implementar la logística inversa en una empresa de manejo de residuos.

DESARROLLO

La LI es una actividad con un enorme potencial de crecimiento que ha sido definida como la última frontera para la reducción de costes en las empresas, además de convertirse en una importante y novedosa fuente de oportunidades.

Existen por lo menos tres razones para implementar la logística inversa:

- Consideraciones de costo beneficio: productos mejores con costo de producción mas bajo, recuperación del valor de envases, empaques, embalajes y unidades de manejo reciclables.
- Requerimientos legales: derivados de la protección a la salud y del ambiente, de consideraciones por costos de procesamiento de residuos e impuestos por una disposición no adecuada.

- Responsabilidad social: generalmente impulsado por organizaciones no gubernamentales y asociaciones de consumidores que apoyados en su poder de compra buscan productos más seguros y ambientalmente amigables; obviamente las firmas nunca pierden dinero, detrás hay un posicionamiento mercadotécnico en un segmento "Premium" orgulloso de consumir de manera "correcta".

El propósito de la logística es el de optimizar un flujo de material a través de una red de enlaces de transporte y de centros de almacenaje o coordinar una serie de recursos, para realizar un determinado proyecto.

Los procesos en logística inversa se enfocan en cinco objetivos claves: compra selectiva o verde, reducción de insumos vírgenes; reciclaje; sustitución de materiales, y gestión de residuos.

Compra selectiva o verde.

Implica la procuración, desarrollo de proveedores y la adquisición de materias primas, componentes, materiales para envase, empaque, embalaje y unidades de manejo que sean "amigables con el ambiente".

Reducción de insumos vírgenes.

Implica: actividades de ingeniería de producto, y re-entrenamiento de los recursos humanos, con el propósito de valorar actividades de reutilización de materiales sobrantes, preferir materiales de origen reciclado, escoger contenedores, embalajes, unidades de manejo, empaques y envases reutilizables y reciclables, impulsar la cultura del "retorno".

Reciclaje.

Es necesario desarrollar políticas de reciclado respetando el desempeño o estándares del producto: utilizar materiales de origen reciclado, y reciclables; explorar innovaciones tecnológicas que permiten utilizar materiales reciclados; financiar estudios para reducir el uso de materias primas vírgenes.

Sustitución de materiales.

El incremento de la tasa de innovación en procesos de reciclado debe impulsar la sustitución de materiales,

en particular de los más pesados por otros mas ligeros con igual o superior desempeño (como es el caso en la industria automotriz donde los plásticos están sustituyendo masivamente partes de metal y vidrio en los automóviles, así como el aluminio o los materiales "compuestos" en los nuevos desarrollos del chasis de los camiones, disminuyen la tara facilitando un aumento de la unidad de carga para igual peso por eje).

Gestión de residuos.

Las políticas de procuración de materiales deben evaluar la tasa de residuos en la utilización de materiales; el manejo de residuos es un costo no despreciable; también puede ser necesario tener políticas de aceptación de muestras, si las exigencias de gestión de los residuos de éstas, o simplemente su disposición por rechazo, es costosa.

Inicialmente se definen los parámetros de cómo se debe almacenar, alistar, transportar y procesar los residuos. Para esto es necesario desarrollar un PMIRS en las plantas de los Proveedores (Cervunión S.A, Haceb S.A, Postobon S.A.) para garantizar una buena gestión de residuos y alcanzar una óptima separación en la fuente.

Posteriormente cuando los residuos llegan bien clasificados, la logística inversa debe considerar todas las alternativas finales para los productos, para asegurar una disposición que cumpla con la normatividad ambiental. Las alternativas finales analizadas en el proyecto son las siguientes:

- Reparación
- Renovación
- Reciclaje
- Reprocesamiento
- Canibalización
- Reutilización
- Vertedero

Después de estudiar las alternativas de disposición final, se realiza una investigación en el mercado local, de maquinaria y productos finales derivados de materiales reciclados.

Finalmente se realiza un benchmarking con tecnología de otros países, lo cual evidencia las falencias que se tienen en el aprovechamiento de residuos. Una de las principales diferencias entre los procesos es el transporte vertical y horizontal, en donde el mercado local utiliza operarios para realizar esta tarea, lo cual se traduce en ineficiencias operativas, sobre costos de producción, limitaciones de tiempo e incrementos del riesgo en las líneas de producción.

Los métodos utilizados en el transporte de materiales en Colombia son muy limitados en capacidad y volumen, porque dependen directamente de la fuerza y agilidad del operario, lo que genera tiempos muertos.

CONCLUSIONES

La cantidad de intermediarios existentes en el sector del plástico, la informalidad de sus procesos y la falta de regularidad en la consecución de materiales para transformar, evidencia la necesidad de tecnificar los diferentes procesos para formalizar la industria de recuperación de materiales.

La logística inversa representa una oportunidad estratégica para las empresas, pues no solo se concentra en el reciclaje de materiales, sino que involucra otros factores como la Compra de insumos verdes, la Gestión De Residuos, y Gestión de la Recolección, lo que se traduce en un beneficio económico y social para las compañías y permite establecer parámetros y estándares de calidad en los productos reciclados.

El sistema inverso de la logística es un tema que no ha sido abordado en Colombia, pero que dadas las nuevas exigencias estatales en el manejo de residuos, los grandes generados se deben solidarizar y responsabilizar por la disposición final de los materiales derivados de su operación.

La logística inversa tiene unos costos nueve veces superiores comparado con la logística directa.

El benchmarking con tecnología extranjera resalta la ineficiencia de los procesos de aprovechamiento

de residuos en el mercado local, evidenciando una oportunidad para implementar procesos integrales, sistemas de transporte neumáticos, bandas, etc.

Una empresa de manejo integral de residuos, dedicada a la comercialización, puede ser rentable y sostenible a largo plazo, siempre y cuando optimice los costos de transporte y almacenamiento.

La informalidad del reciclaje local evidencia un riesgo para una empresa formal comercializadora de residuos, porque los consumidores finales no estarían en la capacidad de procesar el material captado por la empresa a nivel nacional. Lo cual sugiere otra solución y es la de analizar la posibilidad de exportar los residuos sólidos.

BIBLIOGRAFÍA

LIBROS

DÍAZ ADENSO, ÁLVAREZ MARÍA JOSÉ, y GONZALEZ PILAR. Logística inversa y medio ambiente. Segunda edición. Editorial Mc Graw Hill. España. 2004. ISBN: 8448141806.

CERVUNIÓN, 2005. es una organización destinada a la elaboración de bebidas a base de Cebada, Cervezas y Maltas, Jugos Naturales y Agua ozonizada. Compañía proveedora de la empresa de Manejo de Residuos analizada.

C.I. ALMASEG, 2005. Empresa dedicada a la comercialización internacional de metales de segunda.

LAMBERT, D.M., y STOCK, J.R. Strategic Logistics Management. Tercera edición. Editorial Irwin, Boston, USA. 1993. ISBN: 007118122-9.

AMINI, M., y RETZLAFF-ROBERTS, D. Reverse logistics process reengineering: improving customer service quality. 1999 University of Memphis. Working Paper.

CERVERA FANTONI, A. L. 1998. Envase y embalaje, ESIC Editorial, Madrid.

DAUGHERTY, P.J.; MYERS, M.B. y RICHEY, R.G. Information support for reverse logistics: the influence of relationship commitment. Journal of business and logistics. 2002. Vol. 23, núm 1.

ECOEFICIENCIA, 2005. Empresa de Manejo Integral de Residuos analizada en el presente trabajo.

ECOPLASTICOS DE COLOMBIA. Empresa dedicada a el procesamiento de PET. 2005.

ESTRUPLAS, 2005. Empresa dedicada a la fabricación de productos en madera plástica.

HACEB, 2005. Empresa dedicada a la fabricación de electrodomésticos. Compañía proveedora de la empresa de Manejo de Residuos analizada.

POHLEN, T. L., FARRIS II, M. Reverse logistic in plastic recycling. International journal of Physical Distribution and Logistics Management. 1992. Vol. 22, núm 7.

PELDAR, 2005. Empresa dedicada a la fabricación de vidrio y sus derivados.

POSTOBÓN, 2005. Empresa dedicada a la fabricación de bebidas no alcohólicas. Compañía proveedora de la empresa de Manejo de Residuos analizada.

PROSUPLAST, 2005. Empresa dedicada al procesamiento de polipropileno en todas sus presentaciones.

ROGERS, D.S., y TIBBEN-LEMBKE, R.S. Going backwards: Reverse logistics trends and practices, Reverse Logistics Executive Council, Nevada (USA).

RECAPLAST, 2005. Empresa dedicada a la molienda de cajas plásticas.

INTERNET

Andi@

Asociación Nacional de Industriales, Andi, entidad dedicada a difundir y propiciar los principios económicos y sociales de un sano sistema de libre empresa. [En Línea]. (Medellín Colombia). [citado en 20 Marzo de 2005]. Disponible en Internet en: <http://www.andi.com.co>

Areametropolitana@

Autoridad ambiental del Valle de Aburrá, resolución 526. [En línea]. (Medellín, Colombia). [citado en 23 de septiembre de 2004]. Disponible en Internet en: <http://www.metropol.gov.co>

AsonalReciladores@

Asociación Nacional de Recicladores en Colombia. [En línea]. (Medellín, Colombia). [citado en 5 de febrero de 2001]. Disponible en Internet en: <http://www.eurosur.org/OLEIROS/coodes/maneras/iberoa/bp081.html>

Clafil@

Empresa argentina dedicada al diseño, fabricación y montaje de sistemas de transporte neumático. www.clafil.com.ar

Dowlatshahi@

An analysis and case study of reverse logistic. [En línea]. [Citado en 29 de Marzo de 2005]. Disponible en Internet en: <http://www.sbanet.uca.edu/docs/proceedingsII98dsi1295.htm>

Carrefour@

La implantación de la Logística Inversa en una Multinacional de la Distribución. [En línea]. [Citado en 30 de Marzo de 2005].

LuisoPlast@

Compañía española dedicada a la fabricación y comercialización de equipos enfocados al reciclaje tecnificado. [En Línea]. (Barcelona, España). Disponible en Internet en: <http://www.luiso.net>

Monogplast@

Descripción del proceso de reciclaje en Montevideo. [En Línea]. (Montevideo, Uruguay). Disponible en Internet en:

<http://www.pharmaportal.com.ar/areapac03.htm>.

Londonmetal@

Página web dedicada a la actualidad de los metales, sus mercados y precios internacionales de comercialización.

<http://www.lme.co.uk/>

Portalmambiente@

Portal medio ambiental, página dedicada a difundir información sobre la problemática ambiental en España e incentivar el cumplimiento de la normatividad [En línea]. (Madrid, España): [citado en 10 de Febrero de 2005]. Disponible en Internet en:

<http://www.portalmedioambiental.com>

Plastivida@

Página argentina especializada en información sobre reciclaje de plásticos. [En línea]. (Buenos Aires, Argentina): [citado en Octubre 10 de 2005]. Disponible en:

http://www.plastivida.com.ar/2_usos.htm

Reciclapapel@

Información técnica sobre el papel en España. [En Línea]. (Madrid, España). Disponible en Internet en: <http://www.reciclapapel.org/hm/info/tecnica/tpcartec.asp>

Reciasticos@

Página dedicada a la difusión de información sobre el reciclaje de todo tipo de plásticos. [En Línea]. (Buenos Aires, Argentina). Disponible en Internet en:

<http://www.inti.gov.ar/reciclado/plasticos.htm>

ReciVidrio@

Página dedicada a impartir información sobre el reciclaje de vidrio y sus beneficios. [En Línea]. (Buenos Aires, Argentina). Disponible en Internet en:

www.materiales.eia.edu.co/

Revlog@

Definición de la logística inversa según el grupo empresarial multinacional REVLOG. [En Línea]. (Ámsterdam, Holanda). Disponible en Internet en:

www.fbk.eur.nl/OZ/REVLOG/Introduction.htm

UPS@

La experiencia del Grupo UPS en Logística Inversa. [En Línea]. (Estados Unidos).

UPCT@

Información sobre el desarrollo de la logística inversa en España. [En Línea]. (Madrid, España). Disponible en Internet en:

www.upct.es/~gio/deflogisticainversa.htm

Valpak@

Empresa inglesa dedicada al diseño y fabricación de máquinas integrales para reciclar.

www.valpak.com

Venusp@

Información sobre diferentes tipos de empaques plásticos. [En Línea]. (Estados Unidos). Disponible en Internet en:

www.venuspackaging.com

Weima@

Website de una compañía dedicada a la fabricación y diseño de Molinas con bandas transportadoras.

PRE-DISEÑO DE UN ARTEFACTO DE PLASMA PARA EL RECUBRIMIENTO SUPERFICIAL DE HERRAMIENTAS

JUAN IGNACIO BETANCUR SALDARRIAGA. jbatancu@eafit.edu.co

SANDRA MARÍA SIERRA BEDOYA. ssierra2@eafit.edu.co

DR. JUAN MANUEL JARAMILLO O.
Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS

DISEÑO DE SISTEMAS TÉCNICOS

ASESOR PRINCIPAL

DR. JUAN MANUEL JARAMILLO O.

EMPRESA

UNIVERSIDAD EAFIT – ÁREA DISEÑO MECÁNICO

RESUMEN

En el campo de los recubrimientos de superficies, la ingeniería ha desarrollado técnicas que mejoran el desempeño, y las propiedades de los materiales, haciendo indispensable éste tipo de tratamientos para la industria.

“Los requisitos que la industria moderna impone sobre útiles, herramientas y componentes mecánicos obligan a realizar un constante esfuerzo en cuatro direcciones: empleo de nuevos materiales, rediseño de útiles, modificación de procesos y empleo de tratamientos de superficie avanzados. Esta última solución, cuando es posible, tiene la ventaja de ser la menos traumática para los procedimientos de las empresas”¹.

¹ CICORIA, Franco. Recubrimientos duros de materiales. Chile. Universidad de Chile. 2001.p.3

La industria colombiana emplea técnicas convencionales de recubrimiento tales como implantación electroquímica de cromo, níquel, galvanizado, termo-rociado, entre otros. Este proyecto pretende pre-diseñar un artefacto de plasma que permita realizar tratamientos superficiales con excelentes características, como:

- Capas delgadas y uniformes.
- Recubrimientos de diferentes materiales, partiendo desde los metales hasta los cerámicos.
- Optimización de propiedades mecánicas como dureza, adhesión, resistencia al desgaste, a la corrosión, entre otras.

Sin embargo, la finalidad del proyecto no es realizar los recubrimientos. Por esta razón se habla de pre-diseño, donde se siguen estrategias de diseño de la norma VDI 2222.

Se realiza un diseño funcional, por ende, no se tiene en cuenta el posible mercado del artefacto, ni la ergonomía y estética que éste pueda tener, como tampoco se especifican los procesos y costos para una producción en serie.

ABSTRACT

In the field of coating surfaces, engineering have developed techniques which improve materials performance and

properties, making this kind of treatments essential for industry.

“The requirements imposed by the modern industry over mechanical equipment, tools and components, force to make a constant effort in four directions: use of new materials, equipment’s redesign, modification of processes and use of advanced surface’s treatments. When it is possible, this last solution, has the advantage of being less traumatic for companies’ procedures “.

Colombian’s industry uses conventional coating techniques, such as chromium and nickel electrochemical implantation, galvanized, and thermal spray. This project proposes the pre-design of a plasma device that makes superficial treatments with excellent characteristics, like:

- Thin and uniform coats.
- Coating of different materials, from metals to ceramics.
- Improval of mechanic proprieties such as hardness, adhesión, wear resistance, corrosion resistance, etc.

However, coatings is not this project’s purpose. Therefore is a pre-design itself, where desing’s strategies from the VDI 2222 norm are followed.

PALABRAS CLAVE

Artefacto, Ion plating, Sputtering, Tribología, Arco pulsado, Ionización.

KEY WORD

Device, Ion plating, Sputtering, Tribology, pulsed arc, Ionization.

TÉCNICAS DE PLASMA

En torno al descubrimiento del plasma y el estudio de sus propiedades se han desarrollado una serie de trabajos a través de diferentes científicos que comenzaron hace aproximadamente tres siglos.

Actualmente el plasma ha reemplazado gran parte de las técnicas convencionales de recubrimientos y modificación superficial, la cual se viene diversificando con otras técnicas basadas en láser, haces iónicos y electrones.

Las técnicas de procesamiento de materiales por plasma en muchos casos son superiores respecto a los procesos convencionales [RODRIGO, Adolfo]. Las principales ventajas que se tienen son:

- Posibilidad de obtener recubrimientos con composición química y estructura controlada, como resultado del control de las condiciones de deposición durante el proceso.
- Posibilidad de obtener recubrimientos de adherencia superior, como resultado de procesos de limpieza por bombardeo iónico antes y durante la deposición.
- Se logra un alto grado de reproductibilidad y control de los parámetros del proceso y de las propiedades del recubrimiento.
- Posibilidad de utilizar temperaturas de deposición más bajas que en los métodos convencionales y en particular en relación con CVD térmico.
- Los tiempos de proceso son significativamente menores en el caso de endurecimiento superficial asistido por plasma.
- Posibilidad de depositar una amplia variedad de materiales inorgánicos como lo son metales, aleaciones y compuestos, así como materiales orgánicos.

TÉCNICAS DE GENERACIÓN DE PLASMA

Los plasmas se obtienen a través de descargas eléctricas. Existen diferentes métodos de generación de descarga que difieren entre sí en la frecuencia de la corriente circulante, en la geometría de los electrodos utilizados o en la forma de acoplamiento de la energía eléctrica a la descarga y en el uso o no, de campos magnéticos auxiliares.

Reactores para procesamientos con plasma [ROTH, J. Reece]

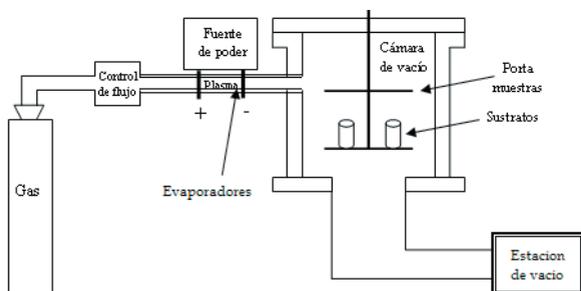
Los reactores de plasma son aparatos que permiten procesar la pieza en la forma deseada. Estos requieren grandes inversiones de capital, y sus costos de operación son altos, sin embargo, tienen grados elevados de fiabilidad y calidad del producto que generan valor agregado a éstos.

Inicialmente, todo reactor está compuesto por unos componentes básicos, tales como:

- Estación de vacío
- Alimentación de gases
- Evaporadores
- Porta muestras
- Fuente de potencia

En la ilustración 1 se muestran los componentes básicos de un reactor.

ILUSTRACIÓN 1. Esquema general de un reactor



PROCESO DE PREDISEÑO

Con este artefacto de Arco Pulsado e Implantación Iónica, se logran mejorar las características superficiales y las propiedades mecánicas de los materiales metálicos.

Factores de Pre-Diseño

El desarrollo de un producto está sujeto a una gran variedad de consideraciones de factores que lo afectan, como son el diseño, la producción, las ventas, el uso y el desecho del mismo.

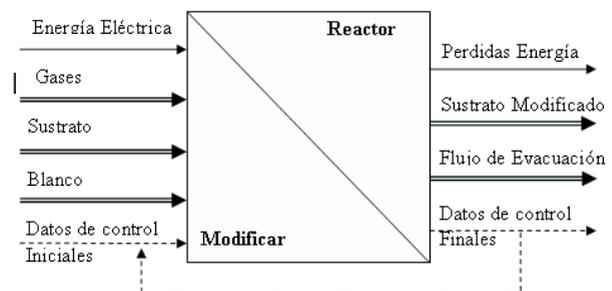
Dentro de la revisión de estos factores para la realización del presente proyecto de grado, se toman solamente los factores de diseño, que llevan a considerar el artefacto de plasma como un artefacto técnico, teniendo en cuenta la estructura, la forma, el material y la dimensión del producto [ANDREASEN, Myrup].

Diseño Conceptual

Se siguieron las herramientas de diseño conceptual para analizar el funcionamiento del artefacto y encontrar la mejor combinación posible de sus componentes.

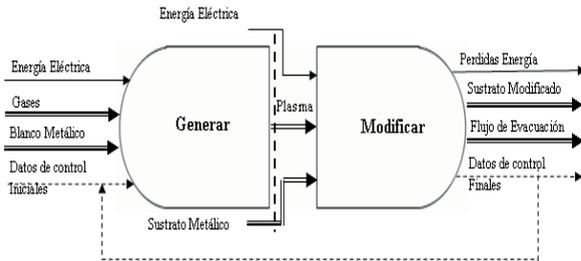
Se definieron las entradas y salidas del artefacto (reactor) de manera general, como se muestra en la Ilustración 2, y se dividió la función principal que es la aplicación de recubrimientos superficiales, en dos instantes de tiempo. En el primer instante, se tiene la función Generar, donde se da la conformación del plasma en la cámara, necesario para el segundo instante, donde ocurre el proceso de Modificación del material por medio de un arco pulsado, el cual erosiona un blanco que es depositado en el sustrato (muestra o pieza), sobre el cual se da posteriormente la implantación de iones.

ILUSTRACIÓN 2. Caja Negra entradas y salidas del reactor



detalladamente en la Ilustración 3, donde la caja negra es dividida en los dos instantes principales del proceso, que fueron descritos en párrafos anteriores.

ILUSTRACIÓN 3. División funciones principales del reactor



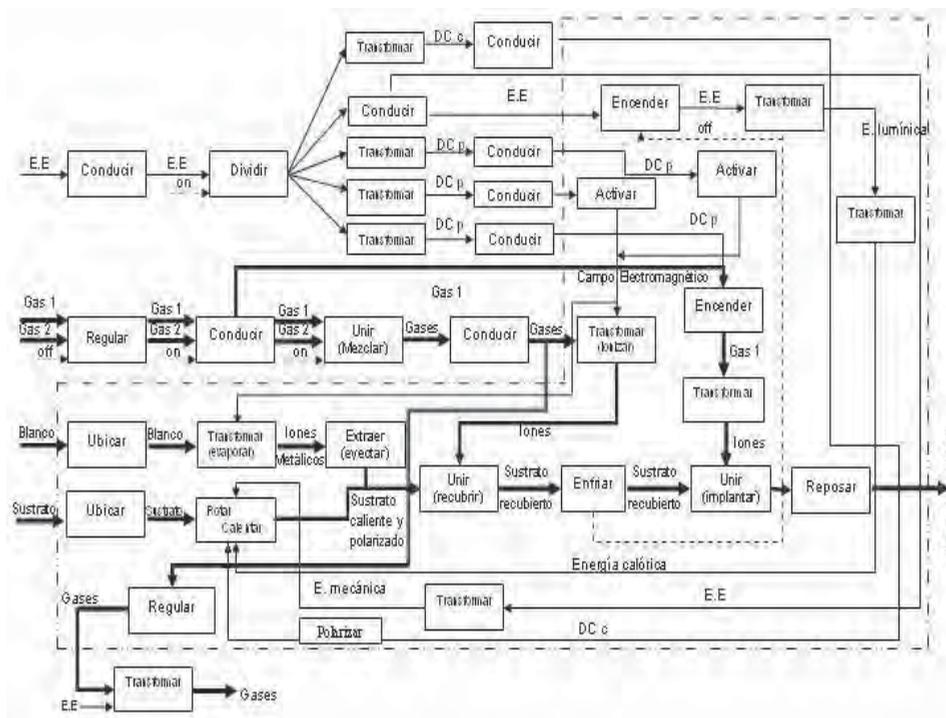
La función Generar tiene como entrada de materia, los gases, que como se dijo anteriormente, son ionizados. También está presente el blanco, que es necesario para la generación del plasma y es fundamental para realizar la descarga por arco, ya que éste está ubicado

en el cátodo dentro de la cámara de vacío. Cuando es generado el plasma, el blanco es erosionado, eyectando iones metálicos hacia el sustrato.

Luego de realizarse el arco y generar el plasma, entra la función Modificar, donde se realiza la deposición de los iones del blanco con los iones de los gases sobre el sustrato. A seguir, se hace necesaria una fuente de energía para activar el cañón de iones, como el nombre lo indica, genera iones por medio de gases para ser depositados sobre la superficie del sustrato, terminando así, el proceso de modificación de materiales.

Luego de determinar y explicar las funciones principales por medio de cajas negras, estas se llevan a un mayor nivel de detalle expandiéndolas mediante una transformación consecutiva denominada síntesis funcional.

ILUSTRACIÓN 4. Síntesis funcional del artefacto de plasma

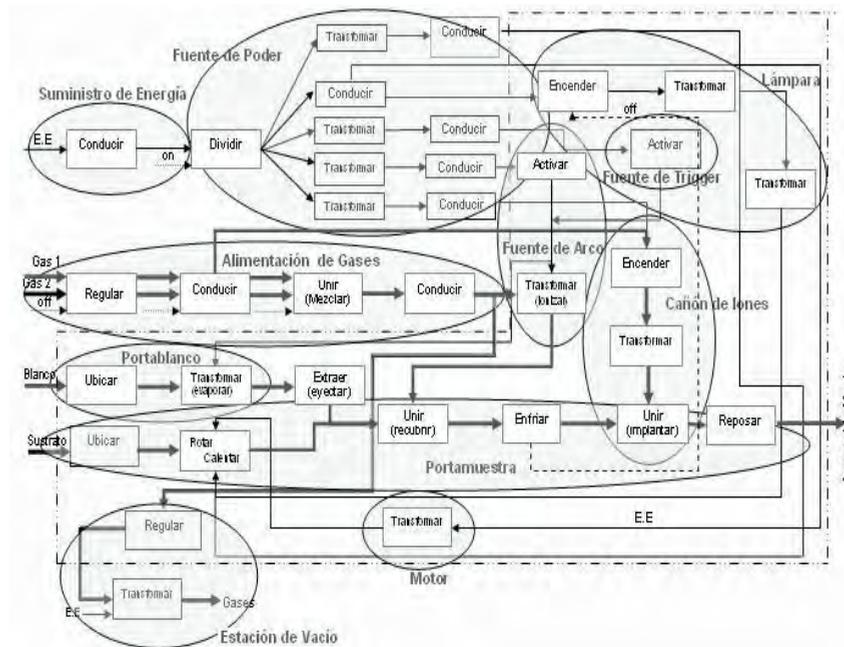


En la ilustración 4, puede apreciarse una línea discontinua que encierra gran parte del flujo y que representa la cámara de vacío; mostrando los procesos que se llevan a cabo.

Para tener una mejor concepción del proceso, el flujo es encerrado en círculos que representan los sistemas, subsistemas y componentes del artefacto, como se ve en la ilustración 5.

Definidos los sistemas y subsistemas se realizan los cálculos pertinentes para la selección y dimensionamiento de los componentes

ILUSTRACIÓN 5. Sistemas, subsistemas y componentes del artefacto de plasma



DIMENSIÓN DE COMPONENTES Y FLUJOS

Un artefacto está compuesto por funciones elementales que se asocian, y cumplen una serie de principios físicos, que al ser aplicados satisfacen la función principal [VDI].

La metodología de diseño tiene como objetivo encontrar y relacionar los diversos principios físicos en cada una de las funciones elementales deseadas, de forma que se plantee una solución y se de cumplimiento a éstas por medio de una relación matemática, donde luego es posible determinar varias alternativas de diseño.

Cálculos y Dimensiones

Para hallar el tamaño aproximado de la cámara se parte del análisis de ésta en una dimensión, como si se fuera a

tratar una sola pieza. Aun cuando las cámaras de vacío sean tridimensionales y puedan tratar múltiples piezas igualmente de tres dimensiones, el análisis en una sola dimensión arroja resultados que concuerdan bien con el diseño y escalamiento de las cámaras. [ANDERS, Andre].

Partiendo del tamaño de la pieza para la determinación de las dimensiones de la cámara, se tienen en cuenta herramientas de aproximadamente 30 cm, aunque también se pretende modificar piezas de menor tamaño. Se debe asegurar que el tamaño de la cámara sea mayor al de la pieza. $X_{\text{cámara}} > X_{\text{pieza}}$

Considerando cúbica la cámara, y superando el tamaño de la pieza en aproximadamente 10cm, se tiene que su volumen es:

$$Vol = 0.40m * 0.40m * 0.40m = 0.064m^3$$

La geometría más usada en procesos de deposición e implantación iónica es la cilíndrica, pues permite diversos tamaños sin afectar su integridad estructural. [ANDERS, Andre].

Para el volumen hallado, y de acuerdo a la geometría seleccionada, el radio y la altura de la cámara se hallan de acuerdo a elementos comerciales, como son las tapas de la cámara. Así, para un flange comercial ISO K de 400mm, con diámetro interno de 16.02" (406.908mm), fabricado por Kurt J. Lesker Co, el radio de la cámara es de 197.104mm, teniendo en cuenta que el espesor de algunas cámaras comerciales es $\frac{1}{4}$ " (6.35mm), los cálculos pertinentes son:

$$r_{\text{cámara}} = \frac{d_{\text{int, flange}}}{2} - e_{\text{cam, comerciales}} \quad (1)$$

$$h = \frac{V_{\text{cámara}}}{A_{\text{cámara}}} \quad (2)$$

Donde,

$r_{\text{cámara}}$ = Radio de la cámara, metros [m]

$d_{\text{int, flange}}$ = Diámetro interior del flange, metros [m]

$e_{\text{cam, comerciales}}$ = Espesor cámaras comerciales, metros [m]

$V_{\text{cámara}}$ = Volumen cámara, metros cúbicos [m³]

$A_{\text{cámara}}$ = Área cámara, metros cuadrados [m²]

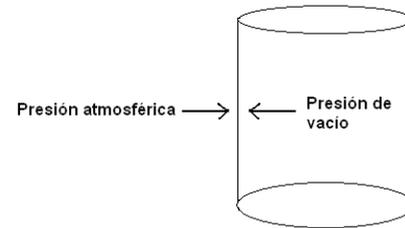
$$r_{\text{cámara}} = \frac{406.908}{2} - 6.35 = 197.104 \text{ mm}$$

$$h = \frac{64 \times 10^6 \text{ mm}}{\pi * (197.104 \text{ mm})^2} = 524.37 \text{ mm} \approx 524 \text{ mm}$$

El espesor de la cámara se calcula de acuerdo a las presiones a la que está sometida. En este caso es la presión atmosférica y la presión de vacío, como se muestra en la ilustración 6.

Teniendo en cuenta el principio físico de recipientes a presión esféricos y cilíndricos, reemplazamos en la fórmula para encontrar el espesor mínimo que debe tener la cámara. Para el cálculo se utilizan las propiedades mecánicas del acero inoxidable ASTM 304².

ILUSTRACIÓN 6. Diagrama Presiones sobre la Cámara



$$\sigma_1 = \frac{101.3 \text{ kPa} * 0.203454 \text{ m}}{t_1}$$

$$\sigma_w = \frac{290 \text{ MPa}}{2}$$

Igualándolas se obtiene:

$$\frac{101.3 \text{ kPa} * 0.203454 \text{ m}}{t_1} = \frac{290 \text{ MPa}}{2}$$

$$t_1 = 1.42 \times 10^{-4} \text{ m} = 0.14 \text{ mm.}$$

Ahora, se calcula el espesor por medio del peso de la tapa y los accesorios.

El peso se calcula con la densidad del material (ASTM 304) que es $\rho = 8.03 \times 10^{-6} \text{ kg/mm}^3$, y el volumen de la tapa que es: $V = 8.51 \times 10^6 \text{ mm}^3$, tomando como referencia el flange comercial que se utilizó para hallar el radio de la cámara, y sabiendo que densidad es igual a masa por unidad de volumen.

$$W = \rho * V$$

$$W = 8.03 \times 10^6 \text{ kg/mm}^3 * 38.51 \times 10^6 \text{ mm}^3 = 68.34 \text{ kg}$$

Reemplazando en la ecuación, y tomando en cuenta que la tapa tiene accesorios, se multiplica el peso por un factor de 1.5, obteniendo:

$$\sigma = \frac{68.34 \text{ kg} * 1.5 * 9.81 \text{ m / seg}^2}{\pi * t_2^2} = 290 \text{ MPa}$$

$$t_2 = 1.05 \times 10^{-3} \text{ m} = 1.05 \text{ mm}$$

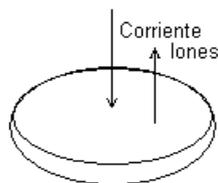
² Tomada de www.matweb.com

De igual forma, para calcular el chasis donde va apoyada la cámara se tienen en cuenta el peso de ésta y se procede a calcular como si fueran cuatro columnas dispuestas a igual distancia, y con una altura y perfil supuestos.

Otros componentes como el blanco, el trigger y las lámparas de calefacción se calculan a partir de supuestos, debido que éstos varían según el proceso de recubrimiento utilizado y los materiales a recubrir.

A modo de ejemplo; el blanco es erosionado debido a la descarga de arco, la rata de erosión depende en gran parte del material a erosionar, en la Ilustración 7, se muestran los flujos principales en el blanco y se supone un blanco de aluminio.

ILUSTRACIÓN 7. Diagrama flujos en el blanco



Se calcula la erosión de un blanco de Aluminio, cuyo $Z=13$ y $e=1.6 \times 10^{-19}$ Culomb, con una masa de 14.0067g y sabiendo que $I_i = 0.1I$, de acuerdo a la ecuación se tiene:

$$E_{it} = \frac{26.9815 \times 0.1}{13 \times 1.6 \times 10^{-19}} = 1.297 \times 10^{18}$$

Para los diferentes materiales que componen los blancos, la rata de erosión, junto con otros parámetros de proceso, se encuentra en tablas o se calcula como se hizo anteriormente.

ESPECIFICACIÓN, SELECCIÓN Y COSTEO DE PARTES Y COMPONENTES

En esta etapa se establecen los valores que deben tener los requerimientos mensurables para cada uno de los componentes del artefacto, definidos anteriormente, para que éstos se conviertan en las metas que se deben alcanzar a través del proceso de pre-diseño.

Se realizan matrices morfológicas para cada uno de los sistemas y subsistemas, se evalúan todas las alternativas propuestas y se seleccionan aquellos componentes que hayan arrojado una mejor calificación.

Definidos los componentes se realiza un costeo de estos para totalizar el precio del artefacto.

CONCLUSIONES

La metodología adoptada permitió definir el principio de funcionamiento e identificar las variables asociadas al artefacto.

Se propone un pre-diseño para ser evaluado experimentalmente en una futura construcción, dónde se buscó la optimización de la cantidad de evaporadores necesarios para obtener un plasma y una deposición uniforme.

Se encontró que el costo del artefacto es del orden de \$166.768.390 pesos colombianos.

Se dejó planteado un proyecto como propuesta para Colciencias en la modalidad de

RECOMENDACIONES

Para reducir el costo del equipo, se recomienda crear un grupo multidisciplinario, a partir de algunas áreas complementarias a Ingeniería Mecánica para el diseño de algunas elementos del artefacto tales como el cañón de iones y las fuentes de poder, de tal forma que se adapten a las necesidades de éste y así evitar incurrir en costos de compra.

Se recomienda realizar un análisis económico del artefacto de plasma, para determinar el periodo de recuperación y rentabilidad de la inversión, y así llevarlo a la industria.

Para la obtención de los recursos necesarios para la construcción del artefacto, se pueden buscar fuentes externas de financiación, con la presentación del

proyecto de investigación y desarrollo tecnológico a entidades como Colciencias y el Sena y con un apoyo complementario de la industria y la Universidad.

Luego de construir el artefacto y verificar su funcionamiento, se recomiendan realizar ensayos y pruebas de modificación de superficies, para luego caracterizar los recubrimientos obtenidos.

BIBLIOGRAFÍA

- ANDERS, André. Handbook of Plasma Immersion Ion Implantation and Deposition. Nueva York. USA: John Wiley & Sons, Inc. 343-376 p. ISBN 0-471-24698-0
- ANDREASEN, M. Myrup. Design for Assembly. London: British Library Cataloging. 1983. 99 p. ISBN <3-5401-2544-2
- BOTERO, Juan Fernando. Diseño Conceptual de un Dispositivo de Microesclerometría. Medellín. Colombia. 2004. Proyecto de grado (Ingeniero Mecánico). Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. Facultad de Minas.
- BOXMAN, Raymond. MARTIN, Philip. SANDERS, David. Handbook of vacuum arc science and technology. New Jersey. USA: Noyes Publications. 1995. 123 p. ISBN 0-8155-1375-5
- _____. _____ New Jersey. USA: Noyes Publications. 1995. 427 p. ISBN 0-8155-1375-5
- _____. _____ New Jersey. USA: Noyes Publications. 1995. 500 p. ISBN 0-8155-1375-5
- ESTRADA. Gloria A. Diseño de un Equipo Para la Aplicación Industrial de los Recubrimientos Superficiales de Nitruro de Titanio (TiN) y Nitruro de Zirconio (ZrN), Obtenidos Mediante Procesos Asistidos Por Plasma en el Laboratorio de Física del Plasma. Manizales. Colombia. 2002. Proyecto de
- Grado (Ingeniera Industrial). Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. Facultad de Ingeniería Industrial.
- FARENCO, Ricardo. Procesamiento de Materiales por Plasma. En: SÉPTIMOCURSOLATINOAMERICANO. Buenos Aires. Argentina. 2004. 21-25 p.
- GERE, James. TIMOSHENKO, Stephen. Mecánica de Materiales. 4ª ed. Mexico: Internacional Thomson Editores. 1998. 549-557 p. ISBN 968-7529-39-3
- _____. _____ Mexico. International Thomson Editores. 1998. 731-783 p. ISBN 968-7529-39-3
- INCROPERA, Frank. DEWITT, David. Fundamentos de Transferencia de Calor. 4ª ed. México: Prentice Hall. 1999. 2-28 p. ISBN 970-17-0170-4
- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Tesis y otros trabajos de grado. Quinta actualización. Bogotá. Colombia: ICONTEC. 2002.
- LESKER, Kurt J. Vacuum Products Catalog. Kurt J. Lesker Company. Pensilvania. USA: 2001.
- PIERSON, H.O. Handbook of chemical vapor deposition. New Jersey. USA: Noyes Publication. 1992. ISBN: 0-8155-1432-8
- RODRIGO, Adolfo. Procesamiento de Materiales por Plasma. En: SÉPTIMOCURSOLATINOAMERICANO. Buenos Aires. Argentina. 2004. 1-17 p.
- RODRÍGUEZ, Alberto. Artefactos: Diseño Conceptual. Medellín. Colombia: Fondo Editorial Universidad EAFIT. 2003. ISBN <9-5881-7331-0
- ROTH, J. Reece. Industrial Plasma Engineering. London. Inglaterra: Institute of Physics Publishing. 2001. 113 p. ISBN 0-7503-0545-2
- SALDARRIAGA, David V. Proceso de Diseño de una Tijera Manual. Medellín. Colombia. 2002. Proyecto

de Grado (Ingeniero Mecánico). Universidad EAFIT.
Facultad de Ingeniería Mecánica. Diseño.

SEARS, Francis. Física Universitaria. 9 ed. México:
Adison Wesley Longman. 1998. ISBN 9-6844-4277-
7.

ULMAN, David G. The mechanical design process. 3
ed. Nueva York. USA: McGraw Hill. 2003. ISBN 0-
07-237338-5

VDI. VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE. Metodología
del diseño. Concepción de productos técnicos. Berlín.
Alemania. VDI 2222.



DISEÑO DE UN VEHÍCULO DE TRANSPORTE PERSONA TIPO TRICICLO INCLINABLE

CARLOS HORACIO GÓMEZ LÓPEZ DE MESA, calacho@gmail.com
JORGE LUIS RESTREPO OCHOA, jrestrep@eafit.edu.co
Departamento de ingeniería mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS

DISEÑO DE SISTEMAS TÉCNICOS

ASESOR PRINCIPAL

JORGE LUIS RESTREPO OCHOA

SECTOR BENEFICIADO

SECTOR AUTOMOTRIZ

RESUMEN

En este artículo se presentan las etapas que se llevaron a cabo para el diseño y construcción de un vehículo de transporte personal tipo triciclo inclinable, el cual, tal y como lo dice su nombre, tendrá la capacidad de inclinarse en las curvas para aumentar su estabilidad, emulando el principio de balanceo de las motocicletas.

Este vehículo deberá combinar las ventajas de comodidad y seguridad de los vehículos de la actualidad, con la economía y el manejo dinámico de las motocicletas.

ABSTRACT

In this article the stages appear that were carried out for the design and construction of a tilting three wheeler (TTW), which will have the capacity to incline in the curves to increase to their stability, emulating the principle of balance of the motorcycles. This vehicle will have to combine the advantages of comfort and security

of the vehicles of the present time, with the economy and the dynamic handling of the motorcycles.

PALABRAS CLAVES

Trasporte personal, triciclo inclinable, automóvil convencional, motocicleta, seguridad, comodidad, ahorro de combustible, sensación de libertad.

KEY WORDS

Personal transport, tilting tricycle, conventional automobile, motorcycle, security, comfort, saving of fuel, sensation of freedom.

OBJETIVO GENERAL

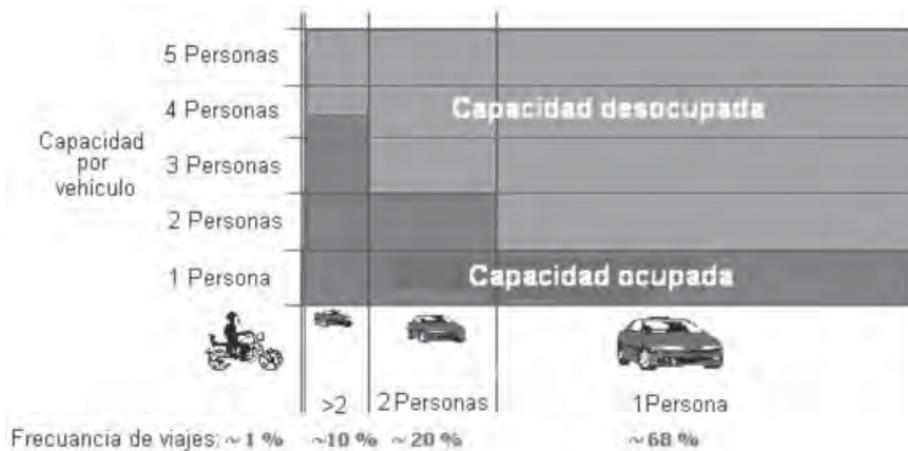
Diseñar y construir un vehículo de tres ruedas (triciclo) para uso personal, propulsado mediante un motor de combustión interna, el cual tenga la capacidad de inclinarse en las curvas para aumentar su estabilidad y para brindarle a su ocupante una sensación de manejo similar a la de las motocicletas.

INTRODUCCIÓN

Según lo plantea Anthony Van den Brink, en su artículo "Slender comfort vehicles", más del 68% de los viajes hechos en carro son hechos por una sola persona, y el 90% por una o dos (ver Ilustración 1). Para tal estadística, se podría pensar que las motocicletas serían

la alternativa de transporte más eficiente, pero de todas maneras, la gente prefiere utilizar los carros de gran tamaño. Esto se debe a que las motocicletas son más peligrosas y menos cómodas que un carro, además de que la gente prefiere comprar un vehículo que satisfaga al máximo sus necesidades, aunque estas necesidades extremas sean requeridas muy ocasionalmente o estén basadas en fantasías de lo que pueda pasar en cualquier momento. Aunque exista esta creencia, mucha gente ha tenido la visión de que la unión entre la motocicleta y el carro podría ser el vehículo perfecto para transportar una o dos personas (Brink, 2002, 1).

ILUSTRACIÓN 1. Capacidad desaprovechada dentro de los vehículos



Efecto: Millones de sillas vacías son arrastradas todos los días

Brink, 2002, 1

Uno de los principales problemas de este tipo de vehículos (unión de motocicleta y carro) es su inestabilidad en las curvas, puesto que si simplemente se construyeran automóviles más angostos, se aumentaría considerablemente la posibilidad de volcamiento del vehículo debido a la fuerza centrífuga.

Lo que se intenta lograr con este proyecto es buscar una nueva alternativa de transporte, la cual combine las ventajas de seguridad, estabilidad y confort de los carros de la actualidad, con el manejo dinámico, el bajo consumo de combustible y el tamaño compacto de las motocicletas.

PROCESO DE DISEÑO

El proceso de diseño se inició con una etapa de planeación, la cual consistió en una búsqueda de información acerca de este tipo de vehículos (estudio de tendencias), sus ventajas, sus desventajas y aquellos aspectos relevantes que deben ser tenidos en cuenta

para su diseño. Posteriormente, se procedió a hacer unos modelos a escala para poder determinar la forma final que se quería que tuviera el vehículo. Luego de tener esta forma en los prototipos hechos a escala, se procedió a hacer una simulación en computador de sus diferentes componentes, análisis de esfuerzos y deformaciones por elementos finitos (FEA), y análisis cinemáticos de los diferentes mecanismos que se implementarían dentro del diseño. Posteriormente, se pasó a la etapa de la construcción del modelo funcional a escala 1:1 el cual fue utilizado para hacer pruebas. A continuación, se explicará más a fondo cada una de las etapas anteriormente mencionadas:

ESTUDIO DE TENDENCIAS

Se podría decir que el desarrollo de estos vehículos de transporte personal se ha basado en tres principios fundamentales: el vehículo bajo y lento, la motocicleta cabinada, y el vehículo inclinable de 3 o 4 ruedas (Brink, 1997, 3).

a) El vehículo bajo y lento: Reduciendo la altura del vehículo en concordancia con la reducción del ancho y limitando la velocidad tope y la velocidad de giro, un vehículo de 3 o de 4 ruedas se puede convertir en una solución que presenta algunas limitaciones para el tráfico moderno (Brink, 1997, 4). Tal es el caso del Messerschmidt (ver Ilustración 2).

ILUSTRACIÓN 2. Messerschmidt



Messerschmidt@, 2005

b) La motocicleta cabinada: Bajo condiciones normales, una motocicleta es fácil de controlar, pero, en condiciones extremas (piso resbaloso) los requerimientos exceden la pericia del piloto, lo cual produce una pérdida inevitable del control. Además, una motocicleta completamente encapsulada necesitaría unas ruedas de soporte para las bajas velocidades y para el frenado. Un claro ejemplo de esto es el Eco-Mobile (ver Ilustración 3).

ILUSTRACIÓN 3. Eco-Mobile



Eco-mobile@, 2005

c) El vehículo inclinable de 3 ó 4 ruedas: Para aumentar la estabilidad lateral, este tipo de vehículos están dotados de un sistema de inclinación que les permite “acostarse” en las curvas como una motocicleta. Si la inclinación es controlada por el conductor, éste debe calcular el ángulo correcto de inclinación cuando esté tomando la curva, lo cual puede exigir un cierto dominio por parte de éste en situaciones de manejo difíciles.

Dentro de este tipo de vehículos vale la pena resaltar el “Lean Machine” de General Motors (ver Ilustración 4), el cual fue un prototipo de mediados de la década de los 70, época en la cual Estados Unidos pasaba por una de sus más grandes crisis petroleras. Este prototipo tenía una configuración de ruedas 1F2R¹, y un sistema de inclinación natural asistido por pedales.

ILUSTRACIÓN 4. General Motors “Lean Machine”



Riley@ 2005

Otro modelo que a simple vista es muy similar al “Lean machine” de General Motors, el es vehículo Carver, el cual a diferencia de este primero cuenta con un sistema de inclinación activo, el cual le da al vehículo la inclinación ideal mediante la utilización de actuadores hidráulicos y sensores de aceleración lateral.

Otro modelo que vale la pena resaltar es el Mercedes Benz, LifeJet F300 el cual marcó un hito en la historia de este tipo de vehículos, debido al renombre y al tipo de carros lujosos que está acostumbrada a construir

¹ 1F2R: Triciclos con una rueda delantera y dos ruedas traseras.

dicha casa automotriz. Con este diseño, Mercedes Benz quiso dejar a un lado su estilo de automóviles sobrios para incursionar en un campo que hace énfasis en las sensaciones del piloto, ofreciendo un tipo de manejo muy deportivo y dinámico. El diseño de Mercedes Benz, al igual que el Carver, tiene un sistema de inclinación activo, pero como se puede ver en la Ilustración 5 éste cuenta con una configuración de ruedas 2F1R².

ILUSTRACIÓN 5. Mercedes Benz Life Jet F300



Gizmag@, 2005

Con base en éstos y muchos otros modelos, se procedió a determinar la forma del triciclo que se iba a construir. Para esto se procedió a hacer un modelo a escala 1:8 en madera, el cual se puede apreciar en la Ilustración 6.

ILUSTRACIÓN 6. Vista lateral del triciclo con el piloto



² 2F1R: Triciclos con dos ruedas adelante y una rueda atrás.

Posteriormente, se procedió a hacer el modelado del chasis en un programa CAD (ProE), el cual nos permitió hacer el análisis de dicha estructura mediante el método de elementos finitos³. En la Ilustración 7 se puede ver el modelo virtual.

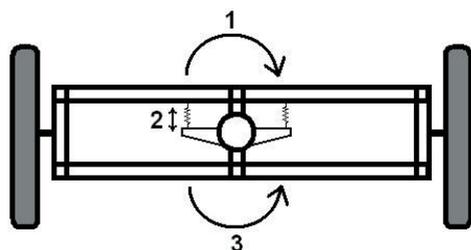
ILUSTRACIÓN 7. Modelo virtual del triciclo



Luego de la fabricación y de las pruebas realizadas al modelo funcional, se pudo observar que el principal problema de este vehículo consistía en la dificultad de hacer que éste retomara su posición vertical al salir de una curva, por lo cual se optó por un sistema de resortes, el cual hiciera fuerza para mantener el vehículo en posición vertical. En la Ilustración 8 se puede ver el principio de funcionamiento de este sistema, en el cual, al aplicar un torque para inclinar el triciclo (1), se genera una fuerza de tracción (2) en el resorte del lado contrario de la inclinación. Dicha fuerza del resorte genera otro torque (3), el cual intenta mantener el triciclo en su posición vertical.

³ Se decidió hacer la modelación virtual del triciclo en ProEngineer debido a que este programa CAD cuenta con algunos módulos que pueden realizar los cálculos mecánicos de la estructura, además de que se puede simular el comportamiento de los diversos mecanismos que se van a implementar en el diseño.

ILUSTRACIÓN 8. Mecanismo de inclinación mediante el uso de resortes



Con este dispositivo se pudo obtener una mejor estabilidad, puesto que la fuerza necesaria para hacer retornar el vehículo a su posición vertical es menor, y ya puede ser contrarrestada más fácilmente con el peso del cuerpo del conductor. En la Ilustración 9 se puede ver el buen funcionamiento del sistema de inclinación del triciclo.

ILUSTRACIÓN 9. Pruebas realizadas al modelo funcional



CONCLUSIONES

Luego de haber diseñado y construido este triciclo inclinable, se pudo apreciar cómo este tipo de vehículos conjugan el ser una buena solución para el problema de transporte económico y la posibilidad de experimentar las sensaciones propias de una motocicleta. Pero como es de esperarse, al ser éste el primer prototipo, se encontraron algunos problemas, que, como ya se explicó, pueden ser solucionados en versiones posteriores.

Con respecto a la comodidad del vehículo, vale la pena resaltar que la posición del piloto es mucho más descansada que en una motocicleta convencional, en especial si se van a realizar largos recorridos. Uno de los aspectos que se podrían adicionar en el futuro para aumentar la comodidad sería la construcción de un habitáculo que envuelva completamente al piloto para que de esta manera las personas se puedan desplazar bajo cualquier condición climatológica.

Por otra parte, con respecto a la seguridad se puede decir que este vehículo se encuentra en un punto medio entre un vehículo convencional y una motocicleta. Esto se debe a que en el triciclo inclinable, al igual que una motocicleta, el cuerpo del piloto se encuentra muy desprotegido, de tal manera que en el caso de una colisión, éste absorbería casi toda la energía. Pero por otra parte, el triciclo es más seguro que una motocicleta, puesto que en una situación difícil de afrontar en una motocicleta, como es el caso de la pérdida de adherencia en uno de las llantas, en el triciclo se podría resolver este problema sin mayores dificultades.

Con respecto a la estabilidad del vehículo en las curvas, se pudo evidenciar, durante las pruebas, cómo el sistema de inclinación ayuda a contrarrestar la fuerza centrífuga presente al tomar una curva. Dicha compensación se ve reflejada tanto en la comodidad del pasajero como en la estabilidad del vehículo.

En conclusión, podemos decir que con este proyecto se demostró, mediante la construcción de un modelo, que sí es posible reunir en un solo vehículo los cuatro factores o necesidades que se pretendían desde un comienzo: la comodidad, la seguridad, la economía y la sensación de libertad.

BIBLIOGRAFÍA

- BRINK, Chris van den y otro. Dynamic vehicle control for enclosed narrow vehicles. European Automobile Engineers Cooperation (EAEC), 6th European Congress: "Lightweight and small cars the answer to future needs". Cernobio. 1997.
- BRINK, Chris van den. Realization of high performance man wide vehicles (MWV's) with an automatic active tilting mechanism. Brink Dynamics, Holanda, 1999.
- BRINK, Anthonie Van den. Slender comfort vehicles; the forgotten challenge. 2002.
- BRINK, Chris van den. DVC – The banking technology driving the CARVER vehicle class. AVEC, 2004.
- FOALE, Tony. Some technical aspects of tilting trikes. Alicante, España. 1999
- GARRISON, William L. y otro. Lean machine: Preliminary investigation. Universidad de California. 1990
- LISTA, Paolo, y otros. Analysis of the dynamic behavior of actual and new design solutions for motorcycles using the multibody codes of MSC visual Nastran. Universidad de Padua, Italia. 2001
- NAULAPÄÄ, Heikki. "Energy which animates the soul"; the unique relationship between the motorbike and the rider. Royal College of Art, Vehicle design. 2003
- RODRÍGUEZ, Alberto. Conversación llevada a cabo con el Ingeniero Alberto Rodríguez sobre el proceso de diseño que se siguió, Universidad EAFIT, 2005.
- VAN DE WALLE, Frederik. The velomobile as a vehicle for more sustainable transportation. Stockholm, Sweden. 2004
- VDI Guideline 2221, Systematic Approach to the Design of Technical Systems and Products. VDI Verlag. 1987
- VDI Guideline 2222, Design Engineering. Methodics Conceptioning of industrial Products. Düsseldorf: VDI-Verlag (Traducido al español Universidad EAFIT 1985), 1973.

INTERNET

- 3Wheelers@
Artículo de una prueba realizada al vehículo Carver, durante una visita que se hizo a las instalaciones de la fábrica [internet]. Disponible en: <http://www.3wheelers.com>. 2003 [Julio 22 de 2005]
- Ariel@
Página oficial de los vehículos Ariel Atom. [Internet]. Disponible en: <http://www.arielmotor.co.uk/04/frames.htm> [Agosto 5 de 2005]
- Beckman@
3-Wheel Cars: Some answers to questions we forgot to ask. [Internet]. <http://www.designmassif.com/trihawk/articles/index.htm>. [Julio 29 de 2005]. Randolph Beckman y Bill Dobson.
- Cree@
Página oficial de los Vehículos "SAM" de la firma Cree [Internet]. Disponible en: <http://www.cree.ch> [Julio 30 de 2005]
- Eco-mobile@
Página oficial de los vehículos Eco-mobile [Internet]. Disponible en: <http://www.peraves.ch/ndexe.htm> [Agosto 3 de 2005]
- Eland@
Página donde de encuentra las hojas en Excel para hacer el cálculo de las dimensiones de sistema de dirección tipo Ackerman [Internet]. Disponible en: <http://www.eland.org.uk/steering.html> [Agosto 12 de 2005]
- Foale@
Balancing act. [Internet]. Disponible en: <http://www.tonyfoale.com/Articles/Balance/BALANCE.htm> 1997 [Julio 12 de 2005]. Tony Foale
- Gizmag@
Mercedes-Benz F300 Life-Jet: the three-wheeled driving machine [Internet]. Disponible en: <http://www.gizmag.co.uk/go/3628> [Julio 12 de 2005]

Halls@

Average height and weight charts [Internet]. Disponible en: <http://www.halls.md/chart/height-weight.htm> [Agosto 10 de 2005]

Messerschmitt@

Vehículo alemán Messerschmitt [Internet]. Disponible en: <http://www.messerschmitt.co.uk/> [Agosto 2 de 2005]

Naulapää@

RCA Degree Project "Aprilia Magnet" [Internet]. Disponible en: <http://www.naulapaa.com/degree04.html> [Julio 12 de 2005]

O-keating@

Tilting trains. Página en la que se explica el sistema inclinable de los trenes de altas velocidades [Internet]. Disponible en: <http://www.o-keating.com/hsr/tilt.htm> [Julio 30 de 2005]

Riley@

Three Wheel Cars: Primary Factors that determine handling & rollover characteristics. [Internet]. Disponible en <http://www.rqriley.com/3-wheel.htm> [Julio 12 de 2005]. Robert Q. Riley

SooHoo@

Triciclo inclinable diseñado por Wayne Soohoo [Internet]. Disponible en: <http://www.maxmatic.com/soohoo.htm> [Julio 24 de 2005]

Tracer@

Tracer: A concept vehicle combining car confort with motorcycle cornering [Internet]. Disponible en: <http://members.iinet.net.au/~jsulman/tracer/>. [Julio 12 de 2005] James Sulman y Mike Richardson

Tripendo@

Página oficial de los triciclos Tripendo, los cuales tienen la capacidad de inclinarse en las curvas [Internet]. Disponible en: <http://tripendo.com/EDEFAULT.htm> [Julio 12 de 2005]

T-Rex@

Página oficial de los vehículos T-REX [Internet]. Disponible en: <http://www.go-t-rex.com> [Julio 20 de 2005]

Yahoo@

Grupo de debate acerca de los vehículos que se inclinan en las curvas [Internet]. Disponible en: <http://autos.groups.yahoo.com/group/tilting/> [Agosto 2 de 2005]

Zedis@

Información acerca del proyecto ZEDIS (Zero Emission Downsized Improved Safety Urban Vehicle) de la universidad de Bath [Internet]. Disponible en: <http://www.bath.ac.uk/mech-eng/zedis/index.htm> [Agosto 2 de 2005]

PATENTES

BRINK, Christopher Van den. Patente No. US6'328,125, Tilting vehicle, 2001

BRINK, Christopher Van den y otro. Patente No. WO 2004/011324, Tilting vehicle, 2004

CALLEJAS, Carlos. Patente No. US5'611,555, Articulated balancer with an oscillating axle and having locking possibilities, 1997.

COCCO, Gaetano y otros. Patente No. US6'763,905, Vehicle having two front rolling and steering wheels and at least a rear driving wheel, 2004

SCHLIEWERT, Frank. Patente No. DE19'838,328. 1999

SOOHOO, Wayne. Patente No. US5'762,351, Multi-track vehicle with lock and drive lean control system, 1998.

TRAUTWEIN, Wolfgang. Patente No. US 4'088,199, Stabilized three-wheeled vehicle. 1978

TRUJILLO, Felipe. Patente No. GB2'374,327, Laterally tilting vehicle, 2002.

WINCHELL, Frank. Patente No. US4'065,144, Cambering vehicle, 1977

WINCHELL, Frank y otros. Patente No. US4'423,795, Wheeled vehicle with cambering front module, 1984.

PROACTIVO: ¿TÁCTICA O ACCIÓN DE MANTENIMIENTO?

DANIEL GIL ARBELÁEZ, dgilarbe@eafit.edu.co
CARLOS ANDRÉS RAMÍREZ YÁÑEZ, cramir10@eafit.edu.co
Departamento de ingeniería mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS

MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

ASESOR PRINCIPAL

Ing. LUIS ALBERTO MORA GUTIÉRREZ

SECTOR BENEFICIADO

Especialización en Mantenimiento Industrial de la Universidad EAFIT y el grupo de investigación GEMI de la Universidad EAFIT.

RESUMEN

El mantenimiento proactivo (PaM) ha sido catalogado como un mantenimiento de nivel operativo en el que solo se realizan acciones aisladas para determinar y corregir las causas raíz que producen fallas en los equipos. Pero la realidad muestra que el PaM puede ser mucho más que eso.

Algunas empresas del medio industrial han adoptado el mantenimiento proactivo y le han dado un enfoque totalmente distinto convirtiéndolo en un mantenimiento de mucha más categoría.

Este proyecto plantea la hipótesis de que el mantenimiento proactivo reúne las características necesarias para configurarse como una táctica de mantenimiento a la luz de la estratificación de los niveles de mantenimiento que

propone la Especialización en Mantenimiento Industrial de la Universidad EAFIT. Para demostrar esta hipótesis se estudian las tácticas de mantenimiento más reconocidas en el medio, se determinan las principales características que las conforman y mediante casos reales en los que el PaM cumple con cada una de estas características, se demuestra que el mantenimiento proactivo sí puede configurarse como una táctica de mantenimiento.

Una vez demostrada la hipótesis planteada, se condiciona la Táctica Proactiva (TP) estableciendo catorce normas que no sólo tratan aspectos técnicos sino también administrativos e involucran todas las áreas y niveles de la empresa y siete pasos que conforman el proceso de implementación.

Finalmente se realiza una aproximación a la industria en una empresa de alimentos.

ABSTRACT

Proactive maintenance (PaM) has been catalogued as a maintenance of operative level in which single detached activities are made to determine and correct the root causes of failures in the equipment. But the reality shows that the PaM can be much more than that.

Some industrial companies have adopted proactive maintenance and have given it an approach totally different turning it into higher category maintenance.

This project raises the hypothesis that proactive maintenance has the necessary characteristics to become tactics of maintenance according to the stratification of the maintenance levels that propose the Industrial Maintenance Specialization of Universidad EAFIT. In order to demonstrate this hypothesis the most recognized tactics of maintenance are studied, the main characteristics that conform them are determined and using real cases in which PaM fulfills each one of these characteristics, it is demonstrated that proactive maintenance can be classified as tactics of maintenance.

Once demonstrated the raised hypothesis, Proactive Tactics (TP) is conditioned establishing fourteen norms that not only treat technical but also administrative aspects and involve all the areas and levels of a company, and seven steps that conform the implementation process.

Finally an approach to the industry in a food company is made.

PALABRAS CLAVE

Mantenimiento, táctica de mantenimiento, mantenimiento proactivo, análisis de causa raíz, fallas.

KEY WORDS

Maintenance, tactics of maintenance, proactive maintenance, root cause analysis, failures.

HIPÓTESIS GENERAL

Demostrar que el Proactivo en mantenimiento alcanza el nivel de táctica.

DESARROLLO

El mantenimiento proactivo está dirigido fundamentalmente a la detección y corrección de las causas raíz que generan fallas en los equipos, logrando así reducir los costos de mantenimiento de forma considerable al igual que los tiempos de parada de los equipos, además de prolongar la vida útil y mejorar el desempeño de éstos, obteniendo

como resultado un incremento en la productividad y la eficiencia de la planta.

Según la Especialización en mantenimiento industrial de la Universidad EAFIT, el mantenimiento se estratifica en cuatro niveles: nivel instrumental, nivel operacional, nivel táctico y nivel estratégico.

El nivel táctico contempla el conjunto de acciones de mantenimiento que se aplican a un caso específico (un equipo o conjunto de ellos); es el grupo de tareas con el objetivo de alcanzar un fin, siguiendo las normas y/o reglas para ello establecido.

De esto se obtiene que una táctica de mantenimiento se define como el conjunto de acciones de mantenimiento que se aplican a un equipo con el fin de alcanzar un objetivo, teniendo como base las normas para ello establecidas.

Se estudian las tácticas de mantenimiento más reconocidas a nivel industrial y se determinan las características más importantes que conforman una táctica de mantenimiento, estas son:

- Historia
- Reglas
- Normas
- Fundamentación científica
- Lógica
- Coherencia
- Aplicabilidad

Para realizar la demostración se estudian casos reales en empresas de la industria como SKF y Nestlé en donde se evidencia el cumplimiento de estas características en la aplicación del mantenimiento proactivo.

Esto permite demostrar que el mantenimiento proactivo reúne las condiciones necesarias para configurarse como una táctica de mantenimiento.

Luego de demostrar la hipótesis general, se condiciona la TP mediante catorce normas que garantizan el

cumplimiento de los objetivos trazados. Estas normas no sólo tratan aspectos técnicos sino también administrativos e involucran todas las áreas y niveles de la empresa. A continuación se describen las normas de la TP.

- Direccionamiento del plan de mantenimiento por parte de la gerencia
- Involucrar las diferentes áreas y los diferentes niveles de la organización
- Divulgar el plan en la organización
- Capacitar y entrenar personal
- Crear grupos de trabajo
- Designar un facilitador
- Descripción de tareas
- Involucrar operarios
- Tener registro histórico actualizado de los equipos
- Establecer equipos críticos
- Reportar defectos
- Establecer FMECA y RCFA
- Formular y ejecutar acciones correctivas
- Realizar auditorías

Y se definen siete pasos básicos que conforman el proceso de implementación de la TP. Estos pasos permiten a la organización obtener los beneficios del proactivo siempre y cuando se realicen a conciencia, teniendo presente que es lo que la empresa espera obtener. A continuación se describen los siete pasos para la implementación de la TP.

- Alcance
- Factores y objetivos
- Establecer estándares, KPI y herramientas de medida
- Evaluar el estado actual de los equipos
- Analizar información
- Formular y ejecutar soluciones
- Controlar

Cada uno de estos pasos debe ser ejecutado cuidadosamente para garantizar una óptima implementación y así obtener todos los beneficios que la táctica proactiva ofrece.

Finalmente se realiza una aproximación a la industria en una empresa de alimentos. Esta aproximación muestra cómo se ajusta un modelo de táctica proactiva a las condiciones de la empresa y los cambios que se deben ejecutar para adaptar su estructura actual de trabajo al nuevo modelo; en ella se establecen cuáles son las labores de cada uno de los integrantes del proyecto, las herramientas y la metodología de trabajo para llevar a cabo la TP.

CONCLUSIONES

Una táctica de mantenimiento se define como el conjunto de acciones de mantenimiento que se aplican a un equipo con el fin de alcanzar un objetivo, teniendo como base las normas para ello establecidas.

Las características más importantes que conforman una táctica de mantenimiento son: historia, reglas, normas, fundamentación científica, lógica, coherencia y aplicabilidad. El mantenimiento proactivo reúne cada una de las características mencionadas, por lo que se demuestra que el PaM cumple con los requisitos necesarios para configurarse como una táctica de mantenimiento.

Se definen catorce normas básicas que fundamentan la TP y que garantizan el cumplimiento de los objetivos trazados durante el proceso de implementación de la táctica proactiva. Estas normas involucran toda la organización, sus diferentes áreas y niveles jerárquicos, definen tareas especiales y sus respectivos responsables, establecen procedimientos específicos que permiten controlar el estado de los equipos y garantizan el buen funcionamiento de éstos.

El proceso de implementación de la TP consta de siete pasos: alcance, factores y objetivos, establecer estándares, KPI y herramientas de medida, evaluar el estado actual de los equipos, analizar información, formular y ejecutar soluciones, y controlar. Cada uno de estos pasos debe ejecutarse cuidadosamente para garantizar una óptima implementación y así obtener todos los beneficios que la táctica proactiva ofrece.

BIBLIOGRAFÍA**LIBROS**

- ÁLVAREZ, Humberto. La esencia del TPM. En: Mantenimiento: Ingeniería industrial y de edificios. Número 164. Mayo de 2003; Pág. 33-46. ISBN 0214-4344.
- ARIAS, Gloria y HENAO, Carlos. Aproximación al estudio de mantenimiento: Guía conceptual. Proyecto de grado (Ingeniería Mecánica) Universidad EAFIT. Medellín, Colombia, 2001. Pág. 116, 120
- ÁVILA, Jesús. Conceptos básicos del mantenimiento: generalidades del mantenimiento. Décima edición. México D.F., México: Editorial Sommac, 1993. Pág. 11.
- BERNAL, Efraín y RUÍZ, Jorge. Metodología mantenimiento proactivo. Proyecto de grado (Ingeniería Mecánica) Universidad EAFIT. Medellín, Colombia, 1999. Pág. 1, 18, 40.
- Enciclopedia Microsoft® Encarta® 2002 ©. [Software]. 1993-2001 Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos.
- GERAGHTY, Tony. R.C.M. and T.P.M. complementary rather than conflicting techniques. Article. Journal. ISSN 0141-8602. Volumen 63. U.S.A. 1996. Pág. 231 (Citado por: Mora, 1999)
- IDHAMMAR, Christer. Maintenance management: moving from reactive to results oriented maintenance (ROM). Journal Review Prima's Papermaker. U.S.A. 1997. Pág. 52-55. ISSN 02018-00038.
- Kelly, A. y Harris, M.J. Gestión del mantenimiento industrial. Publicaciones Fundación Repsol. ISBN 84-923506-0-1.
- KLUSMAN, Robert. Establishing Proactive Maintenance Management. Review Journal Water / Engineering & Management. U.S.A, 1995. Pág. 16-18. (Citado por Mora, 1999)
- LAROUSSE, Diccionario ilustrado. Ediciones Larousse, Madrid, España. 1993. Pág. 81, 243, 487, 545, 635, 724, 883, 937. ISBN 84-8016-058-6
- MARKS, John. Combining TPM and reliability-focused maintenance (RCM), reliability centered maintenance, electric maintenance & repair. Article. Journal. Volumen 211. U.S.A. June 1997. Pág. 49-52. ISSN 0013-4457
- MARTÍNEZ, Francisco. La tribología: ciencia y técnica para el mantenimiento. Limusa. México. 1997. ISBN 9681853172.
- MORA, Luis Alberto. Selección y jerarquización de las variables importantes para la gestión de mantenimiento en empresas usuarias o generadoras de tecnologías Avanzadas. Aplicación a las empresas del área de Medellín, Colombia. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España. 1999. Pág. 1-6, 1-12, 1-13, 1-14, 1-15.
- Congreso Internacional de Mantenimiento del Perú. Lima, Perú. Mayo 2001.
- MORRISEY, George L. Planeación Táctica. Produciendo resultados en corto plazo. Editorial Prentice Hall Hispanoamericana. Mexico. 1996. Pág. 12-13, 49-51. ISBN 968-880-736-2.
- MOUBRAY, John. Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM). Editorial Aladon Ltd. Lutterworth, Reino Unido. 2004. Pág. 1, 7. ISBN 09539603-2-3
- NAKAJIMA, Seiichi; SHIROSE, Kunio; GOTO, Fumio; MIYOSHI, Ainosuke y ASO, Masamitsu. TPM programa para el desarrollo. Tecnologías de gerencia y producción S.A. Madrid, España. 1992. (Citado por: Arias y otro, 2001, 116)
- NAVAIR. 00-25-403. Management Manual: guidelines for the naval aviation reliability centered maintenance process. U.S.A. 1996. (Citado por: Mora, 1999)
- NORMA TÉCNICA COLOMBIANA. NTC – ISO 9004. Sistemas de la gestión de la calidad. Directrices

- para la mejora del desempeño. Bogotá, Colombia: ICONTEC, 2000. Pág. 1 – 83. I.C.S.: 03.120.10
- NOWLAN, Stanley y HEAP, Howard. Reliability Centered Maintenance. National Technical Information Service. U.S. Department of Commerce. Springfield, California, U.S.A. 1978.
- PARRA, Carlos. Curso: Optimización de la producción a partir de la aplicación del MCC. Universidad EAFIT, Medellín, Colombia pp. completo. 1999 (Citado por: Arias y Henao, 2001)
- . Evaluación del impacto del factor confiabilidad en el coste total del ciclo de vida de un sistema de producción. X Congreso Nacional de Estudiantes de Ingeniería Mecánica CONEIM. Universidad EAFIT, Medellín, Colombia. 2005.
- PAZ, Jorge Ignacio. La estrategia y la táctica en la dirección de empresas. En: Revista SAI. Volumen 001, Número 0006 de 1984; Pág. 55-58.
- REY, Francisco. Hacia la excelencia en mantenimiento. Editorial TGP Hoshin, S.L., Madrid, España. 1996. ISBN 84-87022-21-9. (Citado por: Mora, 1999)
- RIES, Al y TROUT, Jack. La revolución de marketing. La táctica dicta la estrategia. Editorial Mc Graw Hill. U.S.A. 1989. ISBN 958-600-024-9
- RODRÍGUEZ, Alberto; HENAO, Jhon Harvy; GONZÁLEZ, Juan Camilo; VALLEJO, Juan Santiago; GONZÁLEZ, Juan Sebastián; CASTAÑEDA, Leonel Francisco y MORA, Luis Alberto. Diseño para la medición de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad (CMD) de equipos en mantenimiento industrial. Informe final de investigación. Ingeniería mecánica, área de mantenimiento. Universidad EAFIT. Medellín, Colombia. 2004.
- SUN-TZU. El arte de la Guerra. Fontana. Edicomunicación S.A. España. 1999. ISBN 84-7672-877-8.
- TAMAYO, Carlos Mario. Notas de clase: Acciones preventivas de mantenimiento. Universidad EAFIT. Departamento de ingeniería mecánica. Medellín. 2005.
- TESDAHL, Steven y TOMLINGSON, Paul. Maintenance strategy for the 21st. Century. Review Mining Engineering. U.S.A. Abril 1998. (Citado por: Mora, 1999)
- VILLEGAS, Gustavo Adolfo. Evolución de una jefatura o dirección de mantenimiento a una gerencia de mantenimiento. Proyecto de grado (Ingeniería Mecánica) Universidad EAFIT. Medellín, Colombia, 1991. Pág. 8.
- . Notas de clase: Mantenimiento 1. Universidad EAFIT. Departamento de ingeniería mecánica. Medellín. 2003.
- . Notas de clase: Mantenimiento Productivo Total (TPM). Universidad EAFIT. Departamento de ingeniería mecánica. Medellín. 2004.

INTERNET

BPM@

Balancing Proactive Maintenance. Bill Huber. [Internet]. Disponible en: http://rockproducts.com/mag/rock_balancing_proactive_maintenance/

Ceroaverias@

Procesos fundamentales TPM. [Internet]. Disponible en: <http://www.ceroaverias.com/centroTPM/procesosfundamentales.htm>

Cujae@

El modelo de mantenimiento proactivo – reactivo, ¿jugar con fuego? [Internet]. Disponible en: <http://www.cujae.edu.cu/centros/ceim/index.htm>

EAFIT@

Especialización en mantenimiento industrial. Plan de estudios. [Internet]. Disponible en: <http://www.eafit.edu.co/EafitCn/Ingenieria/Posgrados/MantenimientoIndustrial/planEstudios>

Lewis@

From Reactive to Proactive Maintenance - New Tools Can Help. [Internet]. Disponible en:

<http://www.maintenanceresources.com/ReferenceLibrary/ezone/proactive.htm>

Maintenanceresources@

What is Proactive Maintenance? [Internet]. Disponible en: <http://www.maintenanceresources.com/ReferenceLibrary/OilAnalysis/oa-what.htm>

Mendiburu@

Operaciones de mantenimiento. [Internet]. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos13/opema/opema.shtml>

Moore@

Combining TPM and RCM. [Internet]. Disponible en: http://www.smrp.org/vl/case_study/rcm1.html

Murillo@

Plan de implantación general del RCM. Gerardo Murillo Rocha. [Internet]. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos10/implan/implan.shtml>

Naval@

Implementación de un sistema de mantenimiento por diagnóstico a bordo de unidades navales y marítimas. Daniel Osorio Olave. [Internet]. Disponible en: <http://www.revistamarina.cl/revistas/2000/2/osorio.pdf>

Nestlé@

Gráfica filosofía de mantenimiento en Nestlé. [Internet]. Disponible en: www.sistepant.com/Noticias/nestle.pdf

Piotrowski@

PIOTROWSKI, John. Why Shaft Misalignment Continues to Befuddle and Undermine Even the Best CBM and Pro-Active Maintenance Programs. [Internet]. Disponible en: <http://www.turvac.com>

Productia@

El mantenimiento moderno (Proactivo). [Internet]. Disponible en: <http://www.productia.com.mx>

RAE@

Diccionario de la Real Academia de la Lengua Española. [Internet]. Disponible en: <http://www.rae.es/>

RCM@

Mantenimiento, Reliability y Confiabilidad – RCM. [Internet]. Disponible en: http://www.solomantenimiento.com/m_confiabilidad_crm.htm

SKF@

Mantenimiento Proactivo de Fiabilidad. PRM. [Internet]. Disponible en: http://www.skf.com/portal/skf_es/home/solutions?contentId=152216

Solomantenimiento@

Definiciones de mantenimiento. [Internet]. Disponible en: <http://www.solomantenimiento.com/diccionario.htm>

Tribología@

Tribología y Mantenimiento Proactivo. [Internet]. Disponible en: <http://members.asme.org/catalog/ItemView.cfm?ItemNumber=Z61053>

Troyer@

Reliability-Centered Maintenance and its Meaning to the Oil Analysis Professional. [Internet]. Disponible en: <http://www.maintenanceresources.com/ReferenceLibrary/ezone/rcm.htm#up1>

Trujillo@

El Mantenimiento Proactivo como una herramienta para extender la vida de sus equipos. Gerardo Trujillo C. [Internet]. Disponible en: <http://internal.dstm.com.ar/sites/mmnew/bib/notas/lubproact.asp>

Waterloo@

Wellington, Arthur Colley Wellesley, duque de. [Internet]. Disponible en: <http://www.escolar.com/biografias/wellington.htm>

Widman@

La reducción en el presupuesto de mantenimiento bajo la mirada del mantenimiento proactivo. [Internet]. Disponible en: <http://www.widman.biz>

ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE CARBONATO DE CALCIO MICRONIZADO

LUIS MIGUEL ACOSTA GARCIA. lacostag@eafit.edu.co
JUAN PABLO MONTOYA RESTREPO. jmonto27@eafit.edu.co

MSc JOSÉ ALFREDO VÁSQUEZ P.
Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ENFASIS PROYECTOS

ASESOR PRINCIPAL
MSc JOSÉ ALFREDO VÁSQUEZ P.

SECTOR BENEFICIADO
OPORTUNIDAD DE NEGOCIO PARA LOS AUTORES

RESUMEN

El proyecto, Estudio de Prefactibilidad del proceso de producción de carbonato de calcio micronizado, en el Área Metropolitana de Medellín, busca determinar la viabilidad para continuar hacia un estudio más detallado antes de la ejecución del mismo, tal como el estudio de factibilidad.

Para el desarrollo del presente estudio se procede de la siguiente manera: en primer lugar, se toman los resultados de un estudio de mercado de piedra caliza recientemente realizado y se determinan los productos que debe producir la planta, así como el porcentaje de participación en el mercado con lo que se define su capacidad productiva.

Luego, con base en las capacidades productivas se diseña la línea de producción identificando las principales etapas del proceso. Con base en estas etapas se hace una división en funciones parciales que busca simplificar la selección de los equipos comerciales y el diseño básico de los equipos no comerciales.

Después de realizar todo lo referente a la parte técnica del proyecto, se hace un breve análisis de las actividades humanas operativas en la planta, con las cuales se identifica el personal operativo y administrativo requerido.

Por último, extrayendo la información de costos recopilados a lo largo del desarrollo del proyecto y con base en algunos parámetros de carácter financiero, se realiza un análisis que ayude a determinar la viabilidad del proyecto. Para esto se construye el flujo de caja considerando un periodo de evaluación de 12 años, donde el primer año es de implementación, los diez años siguientes son de producción y el último año es de liquidación del proyecto.

Los resultados son utilizados para calcular el Valor Presente Neto (VPN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR), los cuales demuestran de una manera muy contundente la gran viabilidad que tiene este proyecto en caso de ser desarrollado.

También se hace un análisis de sensibilidad modificando algunos de los parámetros financieros fundamentales como cambios en el porcentaje de la producción y el precio de venta de los productos. Este análisis de sensibilidad refuerza los resultados obtenidos en el cálculo del VPN y además muestra si el proyecto puede soportar posibles fluctuaciones con la demanda del mercado, y la posibilidad de competir con precios bajos manteniendo un buen nivel de calidad sin que el proyecto deje de ser rentable.

ABSTRACT

The project, Prefeasibility Study of the process of micronized calcium carbonate production, in the Metropolitan Area of Medellín, looks to determine the viability to continue more towards a detailed study before the execution of the same one, as the feasibility study.

For the development of the present study it is come from the following way: in the first place, the results are taken from a study of limestone market recently made and the products that must produce the plant, as well as the percentage of participation in the market are determined with which its productive capacity is defined.

Then, based on the productive capacities the line of production is designed identifying the main stages of the process. Based on these stages, a division of the process into partial functions was carried out, looking to simplify the selection of commercial equipment and the basic design of the non-commercial equipment.

Having designed everything related with the technical aspect of the project, a brief analysis of the human operative activities inside the plant was carried out, which served to identify the required operative and administrative personnel.

Finally, extracting the information of the costs compiled along the development of the project, and based on some financial parameters, an analysis is made that helps to determine the viability of the project. With this purpose, the funds flow diagram was done, considering an evaluation period of 12 years, where the first year involved the plant's implementation, the following 10 years are of production and the last year is liquidation of the project.

The results are used to calculate the Present Net Value (PNV) and the Internal Return Rate (IRR), which demonstrated in a very clear way the great viability this project could have in case of it being developed.

A sensibility analysis was also done by modifying some of the fundamental financial parameters such as the percentage of the production and the products' sale

price. This sensibility analysis strengthened the results that were obtained in the calculation of the PNV and in addition it shows if the project can support possible fluctuations in the market's demand and the possibility of competing with low prices keeping a good quality level without losing profitability.

PALABRAS CLAVES

Carbonato de calcio micronizado, piedra caliza, viabilidad del proyecto, mercado del carbonato de calcio, capacidad productiva de producción, personal operativo y administrativo, Valor Presente Neto (VPN), Tasa Interna de Retorno (TIR).

KEY WORDS

Micronized calcium carbonate, limestone, project feasibility, calcium carbonate market, productive capacities of production, operative and administrative personnel, Present Net Value (PNV), Internal Return Rate (IRR).

DESCRIPCIÓN

Colombia se ha considerado uno de los países más ricos en yacimientos de roca caliza distribuidos principalmente en los departamentos de Antioquia, Boyacá, Santander y Cundinamarca con reservas de 1000 y 4000 millones de toneladas, de las cuales Antioquia posee una cantidad importante.

La caliza es una roca sedimentaria porosa formada por carbonatos, principalmente carbonato de calcio. Cuando tiene alta proporción de carbonatos de magnesio se le conoce como dolomita.

La roca caliza tiene una gran resistencia a la meteorización y eso ha permitido que muchas esculturas y edificios de la antigüedad tallados en dichas rocas hayan llegado hasta nosotros. La roca caliza es un componente importante del cemento usado en las construcciones modernas.

En el procesamiento de la caliza, se encuentra una línea especial que es la producción de carbonato de calcio (CaCO_3), su principal componente. Existen en el país

varias empresas dedicadas a la obtención de carbonato de calcio a partir de la explotación misma de la roca, seguida de otros procesos como la trituración, molienda y refinación, entre otros.

El proceso de producción para la trituración de la caliza se considera, en términos generales, similar entre todas las empresas del sector, involucrando etapas sucesivas de disminución de partículas.

El carbonato de calcio tiene diferentes usos como: polvo para blanquear, vidrio, jabón, papel, pinturas, farmacéutica, cosméticos, artículos de aseo, cerámica, alimentos, hule, plástico, etc.

En el área metropolitana del Valle de Aburrá existen diferentes empresas que se dedican a la producción y comercialización de carbonato de calcio en diferentes tamaños de malla. Son aproximadamente 8 empresas, las cuales producen aproximadamente 11.500 toneladas mensuales. La materia prima principal es la piedra caliza, que se obtiene mediante la explotación de yacimientos.

Dado el interés que posee la explotación de dicho material para la economía local, se pretende realizar un estudio de prefactibilidad para el montaje de una planta de trituración y molienda de piedra caliza para la obtención de carbonato de calcio micronizado, en diferentes tamaños de mallas (1/4, 100, 200, 325 y 600), éste inicialmente se distribuirá a nivel regional, abarcando aproximadamente un 6.59% del mercado en el área metropolitana.

CONCLUSIONES

El mercado de carbonato de calcio en el área metropolitana es amplio, existen diferentes empresas que demandan el producto, las empresas oferentes no alcanzan a suplir las necesidades de éstas haciendo que el montaje de una planta sea una oportunidad de negocio.

Los precios de venta afectan de manera drástica las finanzas de la empresa, lo que deja como conclusión

obvia que se debe realizar un estudio de mercado a profundidad para evaluar con certeza la viabilidad económica, además de realizar un estudio mas profundo con el fin de ajustar con exactitud algunos costos de la operación de la planta.

Tal como se desarrolló en el transcurso del proyecto, la selección de los equipos de la línea de producción, se hizo buscando la minimización de las emisiones de polvo, reduciendo la contaminación ambiental y los riesgos de salud.

El estudio de prefactibilidad del montaje de una planta para procesar carbonato de calcio micronizado en el Área Metropolitana de Medellín, expuso la viabilidad, tanto técnica como financiera. Este resultado da paso para realizar un estudio de factibilidad donde se analicen en profundidad las variables que afectan al proyecto.

Es recomendable, que para el estudio de factibilidad, se tenga en cuenta la construcción y dotación de un laboratorio de granulometría y control de calidad en la planta de producción, para garantizar al cliente que reciba un producto con las características de tamaño y pureza exigidos y además para hacerle un seguimiento constante a los productos en proceso.

El estudio técnico definió una planta con capacidad para producir carbonato de calcio en varios tipos de malla, la malla 600 tiene un gran porcentaje de producción, ésta en el mercado tiene poca oferta siendo la de mayor demanda. Esta es una ventaja importante para la planta ya que entra en un mercado poco competitivo y de gran rentabilidad.

Para el cálculo del VPN, aunque se tomó una tasa de descuento considerablemente alta comparada con las tasas de captación que hay en el mercado colombiano, se obtiene que el proyecto es viable.

El análisis de sensibilidad utilizado para comparar los cambios del VPN frente a los cambios en la producción demostró que la planta puede soportar hasta un decremento del 21.745% en la producción sin afectar la realización del proyecto.

El análisis de sensibilidad utilizado para comparar los cambios del VPN frente a la variación de los precios de los productos demostró que el proyecto es muy sensible ante los cambios en el precio, y que es de alto riesgo para el proyecto hacer cambios radicales en los precios, para que la TIR no esté por debajo de la tasa de descuento.

BIBLIOGRAFÍA

REFERENCIAS TOMADAS DE LIBROS

ARBOLEDA V., Germán. *Proyectos, Formulación, Evaluación y Control*. AC Editores, Cali. Colombia. 1998. 593 p. ISBN 9589648509.

BACA CURREA. Guillermo. *Ingeniería económica. Fondo educativo panamericano, 7a. Edición*, Bogotá, 2002. p 297. ISBN 958:9489-21-4.

BANKS, Jerry. *HandBook of simulation: principles methodology advances application and practice*. Ed. John Wiley and Sons, New York, 1998. p 89 – 90. ISBN: 0471134031.

CENTRO GENERAL DE INVESTIGACIONES UNIVERSIDAD DE MEDELLÍN. *Estado actual de la exploración, explotación, beneficios y utilización del manganeso, calizas y cobre por las industrias Antioqueñas*. Medellín: Facultad de Ingeniería Universidad de Medellín, 1995. 103 p.

INGEOMINAS. *Recursos Minerales de Colombia. Tomo II. Segunda Edición. Publicaciones Geológicas Especiales de Ingeominas: Bogotá, 1978. p. 738 – 767. ISSN 0120-078X.*

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS. *Alimentos para animales, carbonato de calcio. Segunda actualización. Bogotá. Colombia: ICONTEC, 2000. NTC 485.*

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS. *Normas colombianas para la presentación de trabajos de investigación. Quinta actualización. Bogotá, Colombia: ICONTEC, 2002. 34 p. NTC 1486.*

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS. *Pinturas, Carbonato de calcio. Bogotá. Colombia: ICONTEC, 1972. NTC 639.*

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS. *Plásticos, Carbonato de calcio recubierto para tubos y accesorios de poli cloruro de vinilo (PVC). Bogotá. Colombia: ICONTEC, 1995. NTC 2395.*

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS. *Productos químicos, carbonato de calcio para la industria del caucho. Tercera actualización. Bogotá. Colombia: ICONTEC, 1987. NTC 575.*

MACEA, Francisco. *Estado actual de la exploración, explotación, beneficios y utilización del manganeso, calizas y cobre por las industrias antioqueñas. Centro general de investigaciones. Medellín. Colombia. Universidad de Medellín. 1995. p 42.*

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO INDUSTRIAL. *Manual para la preparación de estudios de viabilidad industrial. Nueva York: ONUDI. 1978. p 5 - 192.*

QUIROZ, Iván. *Ingeniería metalúrgica. Operaciones unitarias en procesamiento de minerales. Lima. Perú. 1986. 280 p.*

SOMIDAN LTDA. 2005. *Sociedad de mineros de La Danta Ltda.*

WAGANOFF, Nicolás P. *Trituración, Molienda y Separación de Minerales. Buenos Aires: Librería y editorial Alsina. 1956. 315 p.*

REFERENCIAS TOMADAS DE INTERNET

CCC@.

Empresa CCC, como crear su empresa. [En línea]. Cámara de Comercio de Cali. [Citado el 31 de Agosto del 2005]. Disponible en:

<http://www.ccc.org.co/empresa003a.html>

CAMARAMED@

Constitución de empresas, requisitos previos de formalización. [En línea]. Cámara de Comercio de Medellín. [Citado el 31 de Agosto del 2005]. Disponible en:

<http://www.camaramed.org.co/CAE/html/constitucion1.html>

CAMARAMED@

Constitución de empresas, trámites de funcionamiento. [En línea]. Cámara de comercio de Medellín. [Citado el 1 de Septiembre del 2005]. Disponible en:

<http://www.camaramed.org.co/CAE/html/constitucion2.html>

CORFINSURA@

Información económica, indicadores económicos y cotizaciones en tiempo real. [En línea]. Indicadores macroeconómicos proyectados. [Citado el 19 de Agosto del 2005]. Disponible en:

www.corfinsura.com

ECONOMIA@

Secretaría de economía, perfil de carbonato de calcio. [En línea]. [Citado el 5 de Abril de 2005]. Disponible en:

<http://www.economia.gob.mx/>

EPM@

Tarifas básicas de servicios públicos. [En línea]. Proveedor de servicios públicos en el Valle de Aburrá, ofrece las tarifas de acueducto, saneamiento, energía, telefonía e Internet. [Citado el 9 de Septiembre del 2005]. Disponible en:

<http://www.epm.net.co/epm.net/>

GESTIOPOLIS@

El punto de equilibrio. [En línea]. Definición y aplicación del punto de equilibrio. [Citado el 28 de Septiembre del 2005]. Disponible en:

<http://www.gestiopolis.com/canales/financiera/articulos/30/epe.htm>

IGME@

Recursos mineros, riesgos geológicos y medio ambiente. Desarrollo técnico perspectivas. [En línea] Panorama minero. Carbonato de calcio. [Citado el 13 de Abril del 2005]. Disponible en:

<http://www.igme.es/internet/RecursosMinerales/panoramaminero/minerales/carbonatoc03.htm>

LABOLSA@

Estrategias de inversión. Cómo calcular la tasa de descuento. [En línea]. [Citado el 10 de Octubre del 2005]. Disponible en:

<http://www.labolsa.com/canales/430>

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA PRODUCCIÓN INDUSTRIAL DE QUESO MOZARELLA Y AREQUIPE DERIVADOS DE LA LECHE DE BÚFALA

JUAN CARLOS ESTRADA. jestra12@eafit.edu.co
Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS
PROYECTOS

ASESOR PRINCIPAL
Ing. MAURICIO TOBAR G

SECTOR BENEFICIADO
SECTOR LÁCTEOS

RESUMEN

Este artículo muestra los resultados obtenidos del estudio de factibilidad tendiente a determinar la rentabilidad o no del montaje de una planta industrial productora de queso mozzarella y arequipe derivados de la leche de búfala en el municipio de Ayapel, Córdoba. Para lograrlo, se recopiló la información necesaria a través de los estudios de mercado, técnico, administrativo, legal, económico y financiero.

A través del artículo se ilustran los aspectos fundamentales de cada estudio, necesarios para un adecuado análisis, y al final se presentan los resultados del análisis de sensibilidad donde se determina cuales son las variables que tienen un mayor impacto sobre la rentabilidad del proyecto.

ABSTRACT

This article shows the results obtained in a feasibility study tending to determine the profitability or not of the assembly of an industrial producing plant of mozzarella cheese and "arequipe" derived from the búfala milk in the municipality of Ayapel, Córdoba.

In order to obtain it, the necessary information was compiled through the market, technical, administrative, legal, economic and financial studies.

Across the article the fundamental aspects of each study, necessary for a suitable analysis, are illustrated. Finally, the results of the sensitivity analysis are presented, where it is determined which variables have a major impact on the profitability of the project.

PALABRAS CLAVES

Lácteos, Leche de búfala, Flujo, Rentabilidad, Análisis de sensibilidad

Milk Products, Búfala Milk, Cash Flow, Profitability, Sensitivity Analysis

INTRODUCCIÓN

La leche de búfala se produce en niveles muy inferiores en comparación a la leche de vaca. En Colombia la producción es mucho menor, ya que el ganado de búfala es utilizado en su mayoría para el comercio de carne.

El procesamiento de la leche de búfala ofrece un rendimiento tres veces mayor a la de la leche de vaca, es decir, para la producción de una libra de queso es necesario tres veces más leche de vaca que de búfala, además de presentar un fuerte contenido nutricional, lo que desde el punto de vista alimenticio le da mayor valor agregado.

En Colombia solo se producen derivados de la leche de búfala de manera artesanal; el queso mozzarella, el cual es original de leche de búfala, solo se produce en pocas cantidades.

Es aquí donde aparece una gran oportunidad de negocio, ya que se tiene la oportunidad de explorar con un producto con mayor diferenciación que no ha sido explotado en nuestro medio. Por esta razón, se decide realizar el presente estudio, con el fin de determinar la viabilidad o no del proyecto.

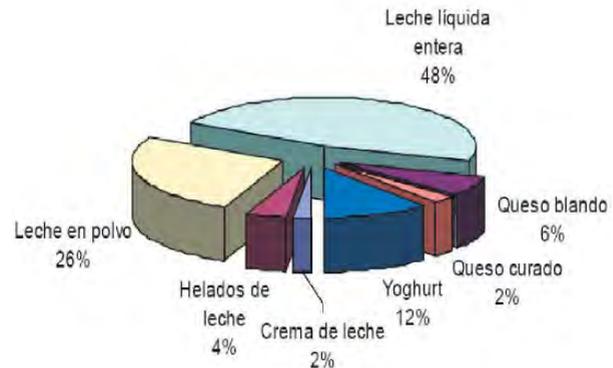
GENERALIDADES DE LA CADENA

La cadena láctea se estructura a partir de la relación entre ganaderos, acopiadores, cooperativas y empresas industriales procesadoras. En Colombia está compuesto por dos eslabones principales. En el primero de ellos, el primario, se encuentra la leche cruda, que se produce bien sea bajo un sistema de tipo especializado o bajo uno de doble propósito; en el segundo eslabón, el industrial, se encuentra toda la gama de productos lácteos o derivados de la leche.

En el año 2001 la producción de lácteos en Colombia estaba distribuida de la siguiente manera.

Entre el queso blando y curado se alcanza una participación del 8% del total de la producción. El queso mozzarella se clasifica como un queso semicurado debido a su tiempo de maduración.

FIGURA 1
Producción de lácteos Colombia 2001



DEMANDA ESTIMADA

Para estimar la demanda se determinó segmentar el mercado objetivo en dos partes: la primera corresponde al sector restaurantes de comida italiana y la segunda correspondiente al sector residencial; para este caso se estableció que el nicho objetivo serán los estratos 4, 5 y 6 del valle de aburra.

Luego de realizar las encuestas y analizar la información, se estimó una demanda de 135 toneladas mensuales de queso y 24 toneladas de arequipe.

REQUERIMIENTOS TÉCNICOS

Los equipos necesarios para la planta de producción son los siguientes: descremadora, tina para sal muera, mesa de acero inoxidable para moldear con pestaña hacia arriba, mesas de trabajo en acero inoxidable, tanques de enfriamiento de 4000 y 750 litros respectivamente, marmita, planta eléctrica, unidad de enfriamiento rápido, tina de coagulación de 400 lt con doble camisa para frío y calor, tina de hilado con doble camisa para frío y para calor, caldera con 10 BHP de capacidad, banco de hielo, cava de conservación, planta tratamiento de agua, empacadora al vacío, termómetros, salinómetros, medidor de ph, retortas, pipetas.

ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL

El proyecto presenta una estructura organizacional simple como lo muestra la siguiente figura.

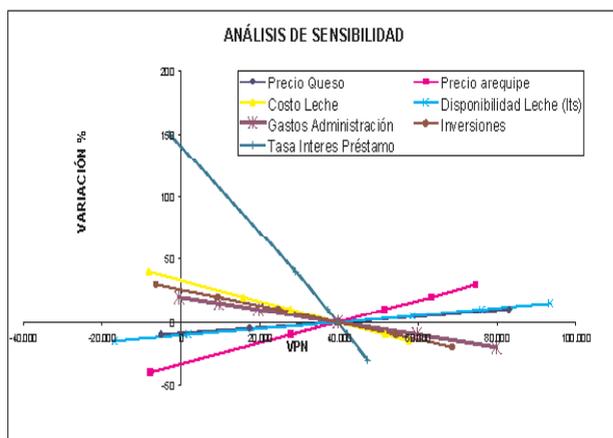
FIGURA 2. Organigrama de la empresa

RESULTADOS ESTUDIO ECONÓMICO Y FINANCIERO

Del estudio económico se determina que la tasa interna de retorno (TIR) es del 31% para el flujo de caja del proyecto sin financiación, 6 puntos por encima de la tasa mínima de rentabilidad esperada. Esta tasa interna aumenta hasta el 44.6% para el flujo de caja del inversionista con financiación.

ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

El estudio de sensibilidad permite analizar las principales variables que pueden llegar a afectar la rentabilidad del proyecto. El resultado arrojado para el presente proyecto es el siguiente.

FIGURA 3. Análisis de sensibilidad

CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos, el proyecto es económica y financieramente viable; sin embargo, existen algunas variables que tienen una alta incidencia en la rentabilidad del proyecto de acuerdo al análisis de sensibilidad.

Las variables más críticas son la disponibilidad de leche y el precio del queso; para el primer caso, se recomienda desarrollar planes de contingencia con el fin de garantizar en todo momento la disponibilidad de la leche, incluso se recomienda adquirirla externamente, ya que según los análisis, el costo de la misma presenta una incidencia menor en el proyecto. En cuanto al precio, se debe garantizar mantenerlo por encima de los \$13 por gramo.

Para garantizar el éxito del proyecto, es imprescindible que se desarrolle una adecuada estrategia de comercialización con el fin de poder penetrar el nicho de mercado definido.

BIBLIOGRAFÍA

- ARBOLEDA V, Germán. Proyectos, formulación, evaluación y control. Cali, Colombia : AC Editores, 1998. ISBN: 9589648509
- INFANTE V, Arturo. Evaluación financiera de proyectos de inversión. Santa fe de Bogotá, Colombia: Grupo editorial Norma, 1997. ISBN: 9580404526
- Memorias, 5º Congreso Panamericano de Leche. Medellín, Colombia: editorial Marín Vieco Ltda, 1994.
- MIRANDA M, Juan José. Gestión de proyectos. Santa fe de Bogotá, Colombia: MB editores, cuarta edición, 1997. ISBN: 9589622704
- SAPAG CHAIN, Nassir y Reinaldo Sapag Chain. Preparación y evaluación de proyectos. Santiago de Chile, Chile: McGraw-Hill, 2000. ISBN: 9562780880
- VARELA V, Rodrigo. Evaluación económica de proyectos de inversión. Santa fe de Bogotá, Colombia: Grupo editorial Iberoamérica, 1997. ISBN: 9589567711

@AGROCADENAS, 2001. La cadena láctea en Colombia. Observatorio AgrocadenasColombia, Bogotá. Noviembre 2001. Disponible en Internet: <http://www.agrocadenas.gov.co/lacteos>

@AGROCADENAS, 2003. Lácteos. Observatorio Agrocadenas Colombia, Bogotá. 2003. Disponible en Internet: <http://agrocadenas.gov.co/lacteos>

@ALIMENTOS ARGENTINOS,2004. Análisis de la cadena alimentaria de quesos. Argentina, 2004. Disponible en Internet: <http://alimentosargentinos.gov.ar>

@BUFALISTAS. Asociación Colombiana de Bufalistas. Disponible en Internet: <http://bufaloscolumbia.com>

@DANE. Proyecciones de Población. Estudios Censales. Colombia, 2004. Disponible en Internet: <http://www.dane.gov.co>.

@ EL CHAO, 2000. Grupo El Chao. Venezuela. 2000. Disponible en Internet: <http://elchao.com/bufalos>



APLICACIÓN DE UNA HERRAMIENTA DE INGENIERÍA ASISTIDA POR COMPUTADOR PARA EL ANÁLISIS UNIDIMENSIONAL DE TORNILLOS DE EXTRUSIÓN DE TERMOPLÁSTICOS

LUIS FELIPE BERNAL SIERRA. lbernals@eafit.edu.co

Ing. CARLOS A. RODRÍGUEZ A.
Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS
PLÁSTICOS

ASESOR PRINCIPAL
Ing. CARLOS A. RODRÍGUEZ A.

RESUMEN

La importancia de la extrusión como proceso de conformado así como los adelantos tecnológicos que se están dando actualmente en nuestra región, hacen necesario que la industria colombiana se vea en la tarea de mejorar sus sistemas de producción para permanecer y crecer su participación en los mercados.

Una de las alternativas que se presenta en la búsqueda de ese mejoramiento se refiere al uso de herramientas computacionales de última generación en el diseño y manufactura de la maquinaria, que permiten al usuario conocer de antemano como será el desempeño de su planta y tomar decisiones con base en sus necesidades de producción.

Este proyecto tiene como objeto el desarrollo de un software para ser empleado como herramienta de consulta en la industria de los plásticos e incentivar el cambio cultural que implica el uso de nuevas tecnologías, a través del análisis y modelado de tornillos extrusores, buscando expandir su aplicación a las Pymes que involucran la extrusión dentro de sus procesos productivos; puesto que generalmente la

fabricación de estos se realiza de forma empírica, lo que conlleva a cometer errores o a que el proceso de extrusión no resulte de la manera más adecuada.

ABSTRACT

The importance of polymer extrusion as a manufacturing process as well as the technological advances happening now in our region, make Colombian industries in need to look forward to improve its production systems to stay and grow its participation in the market.

One of the alternatives that appear as a result of the improvement refers to the use of computer tools of last generation to design and manufacture the machinery, which allows the user to know beforehand what the performance of the plant would be and make decisions based on production necessities.

This project has the purpose of a software development to be used as a tool search in the plastic industry and make more technical the design of polymer extrusion screws since our country now the empirical knowledge weights more than the engineering solutions to manufacture the screws in mention.

PALABRAS CLAVES

Extrusión de polímeros, Diseño de tornillos de extrusión, Sistemas CAD/CAE/CAM.

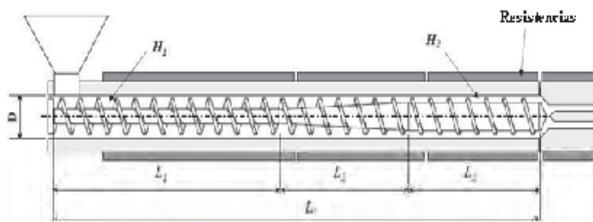
KEY WORDS

Polymer extrusion, Extrusion screw design, CAD/CAE/CAM Systems.

MODELADO DE TORNILLOS DE EXTRUSIÓN

Una extrusora convencional de termoplásticos está constituida principalmente por un tornillo de Arquímedes que se ajusta con precisión dentro de una camisa cilíndrica precalentada apenas con espacio suficiente para rotar. El tornillo tiene por lo menos tres secciones geométricas distintas (Figura 1): la zona de alimentación; en donde la profundidad del canal es constante (H_1), la zona de compresión; donde la profundidad del canal varía a lo largo del eje y la zona de dosificación donde la profundidad del canal es de nuevo constante pero mucho mas pequeña (H_2)

FIGURA 1. Extrusora monohusillo



El objeto de este proyecto es el de simular las condiciones de operación del tornillo, para lo cual el usuario deberá ingresar algunos datos como lo son las características del polímero utilizado, la geometría del tornillo y las condiciones del proceso, para obtener predicciones en relación a la cantidad de flujo generado, presiones medias, consumo de energía entre otros. Lo anterior con el objeto de medir el desempeño del tornillo y evaluar posibles soluciones de optimización modificando los parámetros de entrada.

Para la generación de los resultados se solucionan modelos matemáticos en cada una de las zonas del tornillo. La aproximación numérica a la solución de los modelos se realiza a través lo que bien pueden ser diferencias finitas, mediante las cuales el tornillo es dividido en pequeñas zonas. Cada subdivisión o zona de cálculo, es representada mediante el uso de valores promedio en esa porción del tornillo.

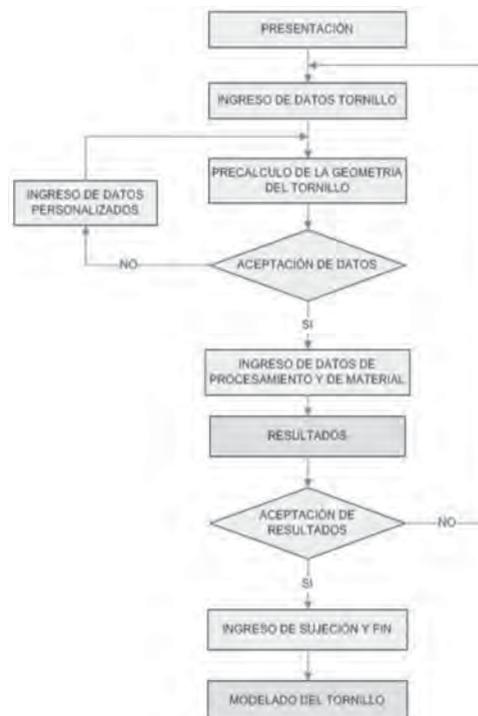
Se asume que las propiedades del material son independientes de la presión y la temperatura, con excepción de la viscosidad. La densidad del lecho sólido, que en el caso de una extrusora real varía a lo largo de tornillo cuando el material es compactado y fundido, se asume como la densidad promedio del gránulo en fase sólida.

DESARROLLO DE LA APLICACIÓN

Como se muestra en la figura 2, la aplicación está compuesta por dos paquetes: modulo de análisis y modulo de modelado. Ambos módulos dependen del modulo de geometría, pero el de análisis es también dependiente del módulo de procesamiento. Al final se presenta una ventana con los resultados obtenidos y se modela el tornillo evaluado.

El algoritmo de cálculo para el perfil de presión, de plastificación y de consumo de potencia en general es igual para todas las zonas. En la zona de alimentación ingresan los datos del usuario, se realizan una serie de cálculos hasta que finaliza esta zona, luego estos últimos son los datos de entrada para la zona de compresión y luego se repite el ciclo con la zona de dosificación.

FIGURA 2. Algoritmo global



API DE SOLIDWORKS

Solidworks es un software especializado en CAD 3D que incluye diseño, análisis, colaboración y software de validación en un sólo paquete.

Al igual que otros software incluido el Microsoft Office, Solidworks ofrece la posibilidad de ser programado por medio de "Visual Basic for Applications" a través de lo que se ha llamado la API (Application Programming Interfase).

La interfase de Visual Basic no es más que un conjunto muy grande de funciones o procedimientos que se encargan de efectuar todas las tareas rutinarias del programa. Las funciones de la API no son muy diferentes de las funciones estándar que acompañan a VBA y no existe casi ningún comando de SolidWorks que no se pueda controlar desde este; además, se pueden programar junto con los bucles lógicos o ciertos eventos que sean determinados por un objeto o por la misma aplicación.

CONCLUSIONES

La aplicación ExtruAnálisis está basada en los software utilizados para simular el comportamiento de los tornillos de extrusión, que requieren del ingreso de una serie de variables interrelacionadas referentes a: propiedades del material a extruir, geometría del tornillo y condiciones de operación, a partir de las cuales son capaces de predecir la cantidad de energía consumida, la productividad en términos de flujo másico por unidad de tiempo, el incremento de la presión a lo largo del tornillo y el espesor de lecho fundido entre otras, para que finalmente el usuario determine la configuración de máquina que le brinde una mayor eficiencia dentro de su proceso.

Los modelos utilizados para el desarrollo del proyecto están basados en las ecuaciones planteadas por reconocidos autores en la materia como lo son Zehev Tadmor, Chris Rauwendaal y Chan Chung, así como también las recopiladas por Antonio Lopes Da Cunha en su tesis doctoral de modelado y optimización de tornillos de extrusión.

La aplicación desarrollada requirió de una herramienta de fácil manejo y programación en la cual se pudiera efectuar una

gran cantidad de cálculos siguiendo los modelos matemáticos encontrados en la bibliografía y dentro de la cual fuera posible hacer un vínculo con otros proyectos de modelación bajo SolidWorks realizados anteriormente en la Universidad EAFIT. Es gracias a esto que se optó por Visual Basic como plataforma de programación del proyecto.

El proyecto condujo a una aplicación capaz de predecir la capacidad de producción del tornillo, la presión máxima alcanzada durante la operación, la energía que consumida durante el proceso y el torque generado durante el mismo, así como también la posibilidad de visualizar gráficamente el comportamiento de la presión y el ancho del lecho sólido a lo largo del tornillo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

LIBROS

- CHUNG, Chan I. *Extrusion of polymers: theory and practice*. Cincinnati, E.E.U.U. : Hanser, 2000. 340 p. ISBN 1-56990-288-7
- HERNÁNDEZ, Jaime; VARGAS, Gilberto y HERNÁNDEZ, Juan Diego. *Fundamentos de la programación*. Pereira : CEKIT, 1999. 320 p. ISBN 958-65-7176-9
- LOPES DA CUNHA, Antonio Gaspar. *Modelling and optimisation of single screw extrusion*. Minho, Portugal. 1999, 189p. Tesis doctoral. Universidad do Minho. Ingeniería de Polímeros.
- MORTON – JONES, D. H. *Procesamiento de plásticos*. Ciudad de México, México : Limusa, 1993. 302 p. ISBN 968-18-4434-3
- NARANJO C. Alberto et al. *Extrusion processing data*. Cincinnati, E.E.U.U. : Hanser, 2001. 128 p. (Plastics Pocket
- NORIEGA, Maria del Pilar et al. *Curso de introducción a la extrusión de termoplásticos*. Medellín, Colombia : ICIPC, 1996. 120 p.
- RAUWENDAAL, Chris. *Polymer extrusion*. 3 ed. Cincinnati, E.E.U.U. : Hanser, 1994. 568 p. ISBN 1-56990-140-6

TADMOR, Zehev y KLEIN, Imrich. Engineering principles of plasticating extrusion. New York, E.E.U.U. : Van Nostrand Reinhold, 1970. 500p.

TADMOR, Zehev y COSTAS, Gogos. Principles of polymer processing. New York, E.E.U.U. : John Wiley, 1979. 752p. ISBN 0-471-84320-2

APLICACIÓN DE ESTRATEGIAS DE MEJORAMIENTO CONTINUO EN UN CENTRO DE COLISIÓN AUTOMOTRIZ

GIOVANNY CARDONA GIRALDO. giovacar@geo.net.co

MAURICIO MARTELO GÓNIMA. mmartelo@eafit.edu.co

Ing. JUAN PABLO AGUDELO

Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS

MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

ASESOR PRINCIPAL

Ing. JUAN PABLO AGUDELO

SECTOR BENEFICIADO

AUTOPALACIO S.A.

RESUMEN

Debido a la alta competencia y evolución del mercado actual, la empresa AUTOPALACIO S.A. decidió, luego de varios análisis realizados por los directivos de la empresa implementar estrategias de mejoramiento continuo basados en la filosofía de TPM y apoyados en cuatro pilares importantes los cuales son, mantenimiento autónomo, 5'S, mantenimiento preventivo e indicadores de control. Con todo esto la empresa espera obtener cambios importantes a nivel tecnológico, operativo y cultural, enfocados a un mejoramiento continuo que resalte la alta competitividad en el mercado automotor y de esta forma se logre dar un mejor servicio con alta calidad y respaldo a todos los clientes actuales y futuros.

Durante el desarrollo de todas las estrategias de mejoramiento, basándose en diagnósticos encontrados en la etapa de investigación del proyecto se decide

realizar una alta inversión en maquinaria de tecnología de punta y en cambios culturales por medio de capacitaciones del personal, motivación y seguimiento de las filosofías, generando así una evolución muy alta en cuanto a procesos y resultados.

ABSTRACT

Due to the high competition and evolution of the current market, the company AUTOPALACIO S.A decided, after several analysis carried out by the directive of the company to implement strategies of continuous improvement based on the philosophy of TPM and supported in four important pillars which are, autonomous maintenance, 5'S, preventive maintenance and control indicators. With all this the company hopes to obtain important changes at technological, operative and cultural level, focused to a continuous improvement that stands out the high competitiveness in the self-driven market and this way it is possible to give a better service with high quality and back up to all the current clients and futures.

During the development of all the strategies of improvement, being based on diagnoses found in the stage of investigation of the project decides to carry out a high investment in machinery of tip technology and in cultural changes by means of the personnel's trainings, motivation and pursuit of the philosophies, generating this way a very high evolution as for processes and results.

1. INTRODUCCIÓN

El siguiente proyecto de grado va dirigido a analizar e implementar una metodología de cambio, con base en la estrategia 5'S en soporte al mantenimiento productivo total en AUTOPALACIO S.A., una planta de colisión automotriz en Medellín, la cual por su trayectoria y reconocimiento en el mercado, justifica la aplicación de un mejoramiento continuo dentro de los procedimientos internos de reparación, buscando resultados importantes en la calidad del producto, entorno, ambiente laboral y satisfacción final.

Este es uno de las principales proyectos que se han generados en la historia de la empresa, que involucre tan alta inversión de dinero, tiempo, capacitación y métodos de mejoramiento.

2. DIAGNÓSTICO GENERAL

Falta un sistema de aspiración de polvo en los puestos de preparación de superficies.
No se cuentan con dispositivos aislantes o cortinas que eviten que el polvo de ligado se disperse por el taller
Los equipos y herramientas de la zona son de baja calidad, lo que retrasa la eficiencia del proceso y el cumplimiento de objetivos de calidad.
Los vehículos se encuentran sin protección alguna en su exterior e interior, por lo cual se ensucian todos los elementos de tapicería, lamina y guarnecidos del vehículo.
Congestión vehicular dentro del área pese a la distribución actual de la planta, genera tiempos ociosos importantes, por el movimiento y traslado de vehículos constantemente
No existen las áreas delimitadas como es debido para diferenciar los procesos internos dentro de la planta de producción.
No existe un plan de mantenimiento definido para ninguno de los equipos del área, al igual que hojas de vida o historial del mismo.
Se refleja un claro desinterés por parte de los operarios, en autodisciplina en el aseo, orden y limpieza
Desorden y falta de clasificación de repuestos-chatarra etc.
Altos costos generados por daños y pérdidas en accesorios y repuestos
Falta de potencia para generar aire a toda la red.
Desorden y falta de un área protegida y delimitada para los equipos
Largos tiempos de espera para que las pinturas evaporen los solventes necesarios.

3. DESARROLLO

Se definen una serie de variables que reflejen con claridad el tipo de mejoramiento que se implementa, a raíz del estudio realizado en la situación actual de la planta.

1. Capacitación. Es necesario generar un cronograma de capacitaciones para los involucrados en el proceso operativo, para el seguimiento y mantenimiento del sistema propuesto.

2. Recursos y cambios físicos. Los recursos necesarios para la implementación del proyecto, se basan en las necesidades estudiadas en el diagnóstico y en el presupuesto.

Para realizar los cambios físicos integrales para la organización y clasificación se necesita y plantea:

- Reforma del mezanine de bodegaje de repuestos
- Reforma del área del primer piso para ubicación de las áreas de: Preparación de piezas sueltas, mecánica y chatarra.

- Reubicación de los compresores
- Cajas plásticas para el almacenamiento de repuestos
- Cajas plásticas para el almacenamiento de los insumos
- Soportes para la ubicación de mangueras
- Demarcación del piso para la ubicación de los vehículos.
- Cambio de la distribución actual de la planta (Lay-Out)
- Divisiones por celdas con cortinas para la individualización del trabajo

Para realizar los cambios tecnológicos necesarios para el mejoramiento de la calidad y el proceso se necesita:

- Cabina de pintura nueva
- Sistema de aspiración de polvos centralizado
- Cambio de las herramientas y equipos de lijado
- Protección plástica para la cojinería y tapicería del vehículo.
- Cambio de los compresores de aire.
- Cambio de la red de aire.

3. Mantenimiento. En los 4 pilares fundamentales que rigen el mantenimiento productivo total, se generaron los siguientes estudios y cambios.

Siguiendo la filosofía 5`S y los pilares fundamentales del mantenimiento productivo total, se implementaron en conjunto las variables definidas por cada una de ellas.

Para las 5`S se generaron las capacitaciones a los operarios, así como los cambios físicos, estructuras y culturales necesarios para globalizar en términos generales cada una de las S de la filosofía.

Posteriormente, se identificaron las fallas y obstáculos presentados a lo largo de la transición del proceso y se tabularon los resultados parciales desde el momento de la implementación.

Indicadores: Para visualizar los cambios positivos y negativos generados a través del tiempo, se siguieron los indicadores de rentabilidad, consumos, reproceso, retornos, satisfacción, costos por pérdidas, mantenimiento.

Mantenimiento Programado: Después de la puesta en funcionamiento de los equipos nuevos, se les generó un plan de mantenimiento preventivo a todos los equipos del área, con su respectiva hoja de vida y seguimiento, para su puesta en funcionamiento.

El plan de mantenimiento tomó cerca de 2 meses realizarla y se pone en funcionamiento a principios del mes de Octubre.

Las carteleras informativas y las planillas de seguimiento empezarán su implementación a partir de dicho mes.

Mantenimiento autónomo: En el área de preparación de superficies y aplicación de acabado, se nombra el grupo de trabajo de mantenimiento autónomo para los equipos y herramientas que pertenece al área.

Junto con las planillas, seguimiento semanal y capacitaciones a los operarios del área, se dispone el grupo de trabajo nombrado junto con el líder del proyecto a dar cabalidad a lo planteado y diseñado a partir del mes de Octubre del año 2005.

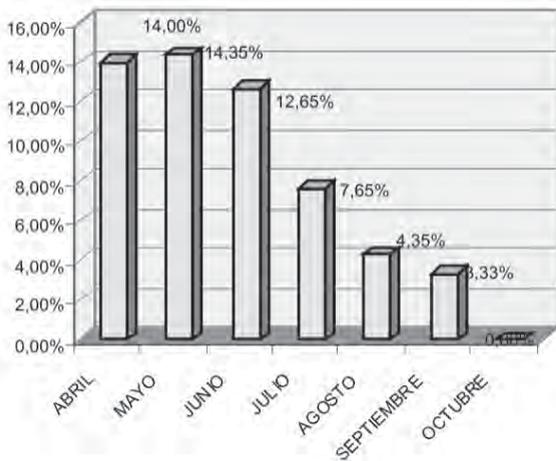
4. RESULTADOS



ANTES

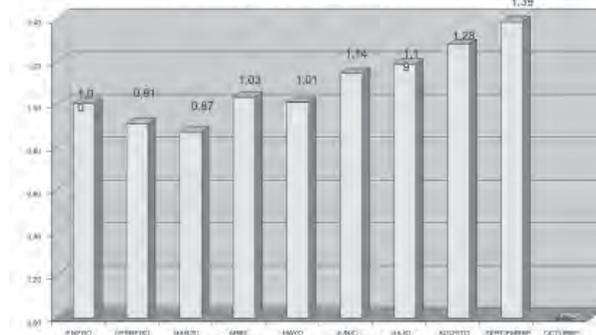
DESPUÉS

Evolución de retornos año 2005

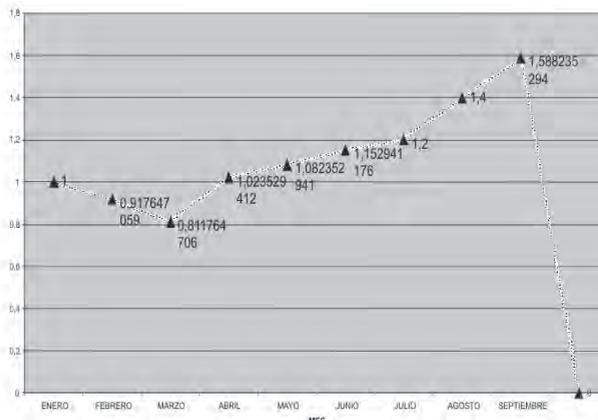


Aumento en satisfacción

Evolución en ventas año 2005

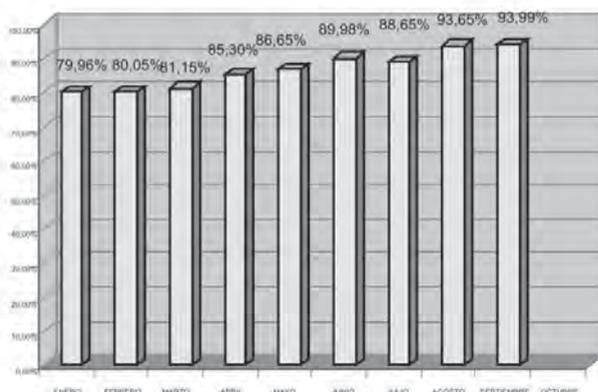


Evolución volumen de vehículos procesados mes



Aumento de volumen de vehículos

Satisfacción clientes año 2005



5. CONCLUSIONES

- Un cambio radical en los procesos, procedimientos, cultura y tecnología, por medio de una aplicación de un sistema de mejoramiento continuo, ayudó a un crecimiento sustancial en la participación y confiabilidad en el mercado.
- Se generaron resultados importantes en los indicadores analizados a lo largo del proyecto, los cuales se proyectaron ante la alta gerencia y a los operarios mismos, para reflejar la confianza y el esfuerzo realizado a lo largo del proyecto, justificando los cambios realizados y así mismo su inversión.
- La implementación de las estrategias de mejoramiento, basadas en las filosofías del TPM generaron un ambiente de orden, compromiso y responsabilidad por parte de los operarios con los equipos y herramientas adquiridas a lo largo del proyecto.
- La percepción del cliente ante la empresa, ha sido de gran aceptación tanto visual como material. La confianza incrementa al percibir una empresa mas organizada, de mejor calidad y donde su vehículo será procesado con la mejor tecnología y con los mayores cuidados mientras la reparación transcurre. Dicha confianza, se transmite a una fidelidad post-venta que se transmite en un futuro regreso del vehículo en caso de otro siniestro.
- Todas las mejoras implementadas en Auto Palacio S.A. están sujetos a cambios futuros siempre y cuando los

hechos demuestren su necesidad de cambio. Toda la implementación fue creada por los autores del proyecto, en ayuda a las proyecciones empresariales del gerente general y su unidad administrativa.

- Se debe hacer un gran énfasis en el mantenimiento de los equipos ya existentes y los que se van a implementar, pues de ahí radica su funcionamiento y permanencia en el tiempo y su justificación de inversión
- La implementación ha sido benéfica para la empresa y los operarios del área de pintura. Por esto, se entabla la posibilidad de aplicar la estrategia a todas las áreas de la empresa, proyectándolo a mediano plazo, para lograr los óptimos resultados que los estados productivos de la misma puedan generar.

6. BIBLIOGRAFÍA

6.1 Bibliografía Clásica

BOTERO JARAMILLO, Maria Margarita, Mejoramiento organizacional mediante la implantación de la filosofía 5's: caso MICROPLAST S.A, Medellín: UNIVERSIDAD EAFIT, 2004.145 p.

CEC, Centro de Educación Continua. Optimización de la producción a Partir de la Aplicación del Mantenimiento Productivo Total, Febrero 2003, Medellín-Colombia: Universidad EAFIT, 1999. pp. completo.

CESVI COLOMBIA S.A.,Baremo de pintura: Tiempos y Materiales, Abril 2000, Medellín-Colombia, HecraVal Ltda..

Hoyos Turriago, Álvaro. Gerencia de la innovación tecnológica, Mayo 2002, Bogotá-Colombia: Universidad de la Sabana: Editorial Alfaomega Colombiana S.A, p.126-136

Japan Institute of plant maintenance, TPM en industrias de proceso, Junio 1992, Madrid-España, Hoshin S.L marques de cubas, p.365-380

Material Didáctico del Centro de Transferencia Tecnológica CEFOF: Introducción al Mantenimiento

Productivo Total TPM, Octubre 1997, Alajuela-Costa Rica. pp. Completo.

Posada Martínez, Joaquín, Sistemas de pintura Glassurit, BASF QUÍMICA, Mayo 2001, Medellín-Colombia, HecraVal Ltda..

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

6.2 Bibliografía de Internet

Aem, Formación TPM para directivos de planta , [en línea], Septiembre 2004, disponible en: www.aem.es/ACTIVIDADES_2004/SEMINARIO15_04.HTML

BCCR,1999, Seminario Taller. Mejoramiento de la productividad en la empresa., [en línea], Junio 1999, disponible en: http://www.bccr.fi.cr/ci/infoenlace/JUNIO_98SEMINARIO%20TALLER.ht

Cesvimap, Investigación y consultoría. Análisis de Vehículos. Manuales descriptivos y de reparabilidad, [en línea], agosto 2002, disponible en: <http://www.cesvimap.com/e16/ManualesDescriptivos.htm>

Encarta®, Biblioteca de Consulta Microsoft®, vol 1, [CD-Run], Enero 2003, ©1993-2002 Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos

gestiopolis, Breve historia del kaizen, [en línea], Noviembre 2003, disponible en www.gestiopolis.com/recursos/documentos/fulldocs/ger1/kaicamstani.ht

gestiopolis, El movimiento de las 5S', [en línea], Noviembre 2003, disponible en: www.gestiopolis.com/canales/gerencial/articulos/24/5s.htm

monografías, Productividad, [en línea], Febrero 2004, disponible en: www.monografias.com/trabajos6/prod/prod.shtml

monografías, El cliente interno, un punto de vista inteligente, [en línea], Agosto 2004, disponible en: www.monografias.com/trabajos14/cliente-interno/cliente-interno.shtml

navactiva, Documentación las 5S', [en línea], Julio 2003, disponible en: www.navactiva.com/web/es/acal/doc/informes/2004/08/26991.jsp

plant-maintenance, Kaisen-La clave del cambio, [en línea], Octubre 2003, disponible en: www.plant-maintenance.com/maintenance_articles_tpm.html

rincondelvago, Estrategia de las cinco eses, [en línea], Enero 2000, disponible en: <http://html.rincondelvago.com/estrategia-de-las-cinco-eses.html>

Sofasa, Productos y Servicios. Diseño, [en línea], Marzo 2004, disponible en: www.sofasa.com.co/Sofasa/Sofasa.nsf/vstImagenporcateg9/CF1DD047326D62305256BDC004F93DD?OpenDocument

solomantenimiento, mantenimiento preventivo, [en línea], 3003, disponible en: www.solomantenimiento.com/9CF1DD047326D62305256BDC004F93DD?OpenDocument

solomantenimiento, mantenimiento preventivo, [en línea], 3003, disponible en: www.solomantenimiento.com



ESTUDIO DE LAS VARIABLES EN UNA VÁLVULA CHEQUE DE ANILLO DESLIZANTE DE UNA INYECTORA DE TERMOPLÁSTICOS

JUAN CARLOS CARO ALZATE. jcaroalza@eafit.edu.co
SANTIAGO OCAMPO BUITRAGO. socampob@eafit.edu.co

Ing. ROBERTO RAVE
Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS
PLÁSTICOS

ASESOR PRINCIPAL
Ing. ROBERTO RAVE

SECTOR BENEFICIADO
EMPRESAS DE LA INYECCIÓN DE PLÁSTICO

RESUMEN

En este proyecto se recopila información acerca de los factores que más influyen en el funcionamiento de la válvula anti-retorno de anillo deslizante de una inyectora de termoplásticos. Dentro de los estudios que se realizan están las pruebas de laboratorio para determinar como varía el MFI (Índice de Fluidez) del Polipropileno (PP) y del Polietileno de Alta Densidad (HDPE) realizando varios tipos de mezclas con materiales reciclados, materiales vírgenes y sometidos a cargas térmicas. También se realizan simulaciones por computador para determinar cual es la caída de presión y el tiempo de cierre utilizando varias combinaciones entre espesores de anillo (Anillo Delgado y Anillo Grueso), refiriéndose al diámetro interior del anillo deslizante, y variando el Angulo de cierre (1°, 23° y 45°), de esta manera obtener los comportamientos y las tendencias del funcionamiento para optimizar su desempeño.

ABSTRACT

In this project information is compiled brings over of the factors that more influence the functioning of the valve anti-return of ring slider of an injection machine of termoplásticos. Inside the studies that are realized the laborator tests are to determine as the MFI as different (Melt Flow Index) of the Polipropilene (PP) and High Density Polyethylene (HDPE) doing several types of mixings with recycled materials, material virgins and submitting them to thermal charges.

Also simulations are realized by computer to determine which is the fall of pressure and the time of closing using several combinations between thicknesses of ring (Thin Ring and Thick Ring), recount to the inside diameter of the ring slider, and changing the Angle of closing (1 °, 23 ° and 45 °), hereby to obtain the behaviors and the trends of the functioning to optimize his performance.

PALABRAS CLAVES

Válvula anti-retorno / Índice de Fluidez / Viscosidad / Áreas de Flujo / Tiempo de Cierre / Caída de Presión / Diagramas de Pareto.

KEY WORDS

Non-return valve / Melt Flor Index / Viscosity / Areas of Flow / Time of Closing / Fall of Pressure / Pareto's Diagrams.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El proceso de inyección requiere de confiabilidad y eficiencia, de manera que se pueda obtener una alta rentabilidad en el negocio, ésto se logra teniendo en cuenta que la industria del plástico esta optando por usar material reciclado para el procesamiento de sus productos. Al usar éstos materiales que contienen aditivos, que no son bien separados se afectan las propiedades originales del material, lo que dificulta su dosificación y sellado en la inyección produciéndose artículos imperfectos o con variaciones de peso por la discontinuidad de los disparos. Las propiedades que se ven afectadas para el procesamiento de los productos son la viscosidad y los índices de fluidez, variables que están ligadas por ser inversamente proporcionales. El elemento encargado de extruir por último la resina y aguantar la presión en el sellado dentro del tren de inyección es la válvula de cheque o también llamada válvula anti-retorno.

Adicional a los problemas de sellado y control del disparo; se presentan problemas de desgaste en la válvula, que van afectando la consistencia del proceso, la vida útil de la misma y aumentando los paros de máquina, por lo tanto se estudiará y analizará la capacidad de trabajo de las válvulas de anillo en el procesamiento de resinas para minimizar las perdidas (Material, tiempo, energía) y mejorar el proceso de inyección de resinas que contienen mezcla de producto virgen con reciclado por medio de pruebas de laboratorio para medir los índices de fluidez de las mezclas y con simulaciones por computador para evaluar las caídas de presión y los tiempos de cierre de la válvula.

Este trabajo está dirigido al soporte de la maestría del Ingeniero Roberto Rave que está enfocada al rediseño de la válvula cheque de anillo deslizante.

DESARROLLO

Para esté proyecto se realiza un estudio en Medellín para determinar cuales son los materiales más utilizados en la industria de la inyección de termoplásticos y a partir de esto se entra en los ensayos de laboratorio y por

medio de software especializados en la simulación de la inyección se obtienen la línea de tendencia para cada una de las combinaciones posibles estructurando unos resultados que permitirán realizar toma de decisiones determinantes en cuanto al rediseño de la válvula anti-retorno de anillo deslizante.

RESULTADOS DE LABORATORIO

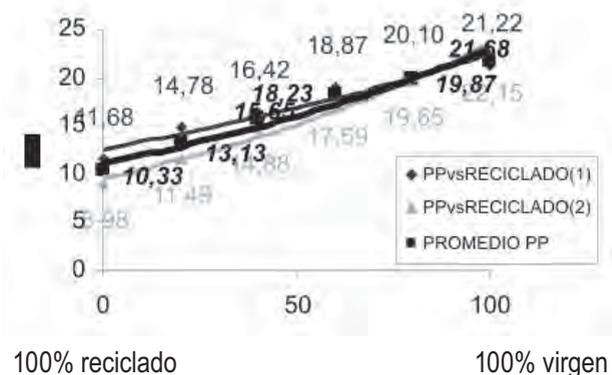
La carga térmica se define como el sometimiento de un material termoplástico a cualquier tipo de procesamiento en el cual se infiera calor sobre él para su transformación.

ILUSTRACIÓN 1. Variación del MFI por carga térmica



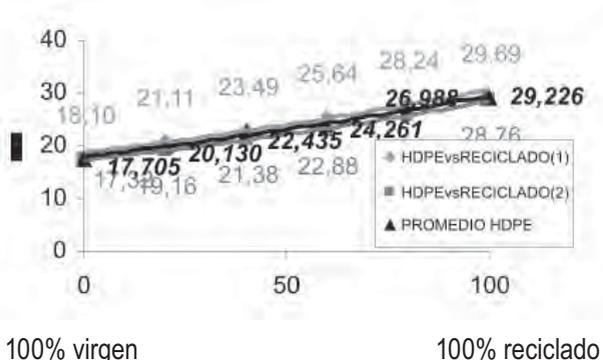
Actualmente los procesos de reciclaje de materiales son muy comunes en todo el mundo, y el caso de los plásticos no es la excepción.

ILUSTRACIÓN 2. Variación del MFI para el PP en la mezcla virgen – reciclado



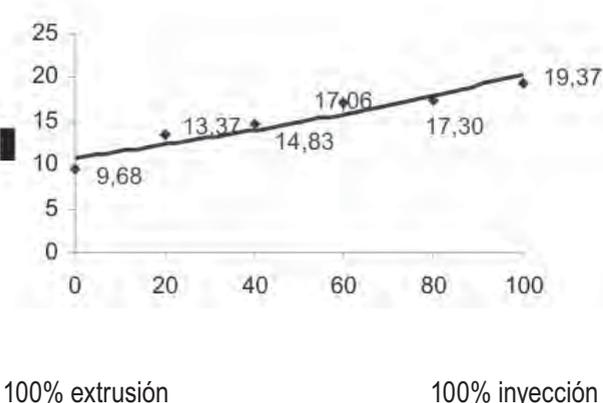
El reciclaje de termoplásticos viene en ascenso desde los últimos 5 años y principalmente el del HDPE y el PP ya que son los materiales mas usados, el cambio del MFI en el PP y el HDPE respectivamente a medida que se aumenta la mezcla de material reciclado con el virgen.

ILUSTRACIÓN 3. Variación del MFI para el HDPE en la mezcla virgen – reciclado



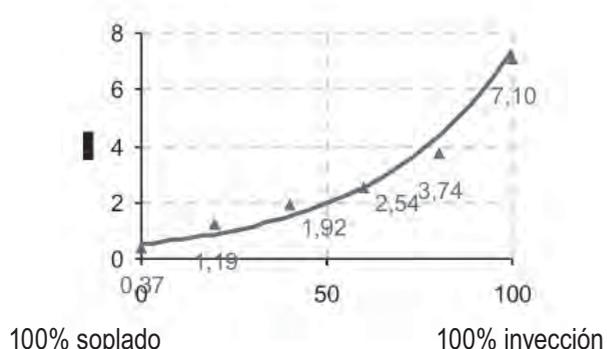
En el comercio se puede conseguir HDPE reciclado de Inyección, reciclado de Extrusión y reciclado de Soplado al igual que para el PP, materiales que son similares pero que son creados con diferentes cadenas moleculares, lo que lo hace apropiado para un proceso u otro, aspecto que determina su viscosidad.

ILUSTRACIÓN 4. Variación MFI mezcla reciclado Inyección - Extrusión de PP



Las ilustraciones 4 y 5 nos muestran los resultados de la variación del MFI a medida que se varía la mezcla de material de los diferentes procesos. Para el PP se realizó la mezcla porcentual de material Inyectado con material extruido, mientras que para el HDPE la mezcla es entre material inyectado con material soplado debido a que el 87% de los productos que se realizan en HDPE son inyectados y soplados.

ILUSTRACIÓN 5. Variación MFI mezcla reciclado Inyección - Soplado de HDPE



RESULTADO DE SIMULACIONES

Para las simulaciones se utiliza un volumen de flujo que se encuentra dentro del barril, justo donde se encuentra la válvula anti-retorno, se ingresan estos gráficos en el software y se realizan las simulaciones, con estos resultados se obtienen las siguientes tablas:

TABLA 1. Caída de Presión

PP			
Anillo		Caída de presión (Mpa)	
		Inyección	carga
1 Grado	Delgado	7,44	4,62
	Gruoso	5,07	5,53
2 - 3 Grados	Delgado	2,96	3,58
	Gruoso	4,41	4,27
4 - 5 Grados	Delgado	4,06	3,69
	Gruoso	6,86	3,94

HDPE			
Anillo		Caída de presión (Mpa)	
		Inyección	carga
1 Grado	Delgado	10,15	7,46
	Grueso	7,44	8,64
2 - 3 Grados	Delgado	4,87	5,24
	Grueso	4,41	7,06
4 - 5 Grados	Delgado	6,88	6,71
	Grueso	8,58	6,38

TABLA 2. Tiempo de Cierre

PP				
Anillo		Tiempo (s)		
		Posición		Cierre
		Abierta	Cerrada	
1 Grado	Delgado	1,16	1,34	0,18
	Grueso	1,15	1,88	0,73
1 - 3 Grados	Delgado	1,16	7,46	0,25
	Grueso	1,15	1,7	0,55
4 - 5 Grados	Delgado	1,16	2,38	1,22
	Grueso	1,15	2,86	1,71

HDPE				
Anillo		Tiempo (s)		
		Posición		Cierre
		Abierta	Cerrada	
1 Grado	Delgado	0,77	0,98	0,21
	Grueso	0,76	0,97	0,21
1 - 3 Grados	Delgado	0,77	1,15	0,38
	Grueso	0,76	1,31	0,55
4 - 5 Grados	Delgado	0,77	1,85	1,08
	Grueso	0,76	2,11	1,35

CONCLUSIONES

El PP y el HDPE son los principales materiales utilizados, Representando el 81% del mercado.

El diseño debe proveer un buen sellado de los anillos de manera que las altas presiones que se producen al interior no afecten la efectividad de la válvula.

El MFI aumenta en el PP aproximadamente un 20% por cada carga térmica que se le induce, mientras que para el HDPE es tan sólo del 3%.

Realizando mezclas de material reciclado de diferentes procesos se logra estabilizar el MFI apto para la inyección

El tiempo de cierre está condicionado al recorrido del anillo y al ángulo con el que se generan las dos superficies que hacen contacto en el sellado.

La caída de presión varía con el cambio de las áreas de flujo y con el cambio de ángulo ya que éste de por sí varía el *área de flujo* 2 que es la más crítica de todas.

Cuando se trabaja con anillos delgados la caída de presión es menor.

La eficiencia de la válvula (menor tiempo de cierre y menor caída de presión) se obtiene con anillos delgados y con ángulos de cierre entre los 20° y los 30°.

El anillo deslizante es el componente al que se le tiene que invertir mayor tiempo de estudio debido al comportamiento del flujo.

Entre el ángulo de sellado y el espesor del anillo, es la primera la variable con mayor peso en el desempeño.

RECOMENDACIONES

Realizar alianzas estratégicas con empresas que estén dedicadas al reciclaje de plásticos para que cuando se trabajen materiales reutilizados se tenga el dato concreto de la procedencia del material y de ésta manera se puedan realizar mezclas con condiciones óptimas de viscosidad para el proceso de inyección.

Realizar pruebas en otros programas de simulación de fluidos para corroborar los resultados obtenidos en éste trabajo y así poder complementar la información que contribuya al rediseño de la válvula anti-retorno.

Fabricar el anillo deslizante con un diámetro interno cónico que decrezca en el sentido de la carga de manera que en el momento de la inyección se cree una componente normal al cono un ayude al cierre de la válvula en menos tiempo y a la vez se genere un aumento en resistencia mecánica del anillo.

Evaluar el desempeño de otro tipo de válvulas por medio de simulaciones para compararlas y definir si en realidad la válvula de anillo deslizante es la mas eficiente.

Generar análisis de elementos finitos sobre las partes de la válvula, y no sobre el volumen de flujo, para conocer los esfuerzos a los que se ven sometidas durante el proceso de inyección con el objetivo de poder modificar su geometría sin correr el riesgo de que falle prematuramente.

BIBLIOGRAFÍA

ASTM: American Society for Testing and Materials: Standard Test Method for Melt Flow Rates of Thermoplastics by Extrusion Plastometer. Designation: D 1238-01. Copyright ASTM International., West Conshohocken, USA. Abril de 2002, p. 1-12

BRANDRUP, Johannes. Reciclado de termoplásticos y líneas para su recuperación, tanto ecológica, como económica. En Ingeniería química. Madrid, España. Vol. 23 # 266. Mayo 1991. P 161-165

D.H. MORTON, Jones. Procesamiento de Plásticos. Ciudad de México, México. Ed. Limusa. 1993. ISBN 968-18-4434-3

FERNÁNDEZ HENRY, Marino. Normas para materiales termoplásticos por procesos. En Informador Técnico de Cali. Colombia # 56. 1997. P 40-47

GIANNI, Bodini; FRANCO Pessani. Moldes y Maquinas de Inyección para la Transformación de Plásticos. Milan, Italia. Mc Graw Hill. 1987. Tomo I. ISBN 970-10-0164-8

GIANNI, Bodini; FRANCO Pessani. Moldes y Maquinas de Inyección para la Transformación de Plásticos. Milán, Italia. Mc Graw Hill. 1987. Tomo II. ISBN 970-10-0165-6

GORDON, M. Joseph. Total Quality Process Control for Injection Molding. Munich, Alemania. Hanser. 1993. p 239. ISBN 3-446-16078-7

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Compendio Tesis y otros trabajos de grado 2004. Bogotá, Colombia. ICONTEC, 2004. 109 p. (NTC 1486).

ISAYEV, A.I.; ZOOK Chris et al. Dynamic behavior of various non-return valves in injection molding machine. En SPE ANTEC Tech papers. 1995. P 595 – 599.

LAHEY, Jayme; LAUNSBY, Robert. Experimental Design for Injection Holding. Colorado, USA. Ed. Launsby, 1998. P 5 – 29. ISBN 0-9636093-5-1.

LONDOÑO RODAS, Alejandro. Rediseño de Válvulas de Cheque Para Inyectoras de Plástico Basado en el Diseño de Experimentos. Medellín, Colombia, 2004, 82 p. Trabajo de Grado (Ingeniero Mecánico). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas. Departamento de Ingeniería Mecánica.

MINK, Walter. El Plástico en la Industria, Naucalpan, México. Ed. G. Gili. 1991 2ª edición. ISBN 968-887-135-4.

ROSATO, Donald V; ROSATO, Dominick V. Injection Molding Handbook. New York, USA. Chapman and Hall, Second edition. 1995. ISBN 0-412-99381-3.

VARELA VILLALOBOS, Alfredo. Estimación de temperaturas de termoplásticos en la cavidad del moldeo por inyección. En Revista de la Facultad de Ingeniería. Caracas. Venezuela Vol. 14 # 2. 1999. P 103-112.

CONTROL INICIAL APLICADO A LA INTRODUCCIÓN DE UN NUEVO VEHÍCULO EN EMPRESA DE TRANSPORTE PÚBLICO

ANDRÉS CUERVO PIEDRAHITA. acuervop@eafit.edu.co
DANIEL RINCÓN URREA. drinconu@eafit.edu.co
Dr. Ing. GUSTAVO ADOLFO VILLEGAS L.
Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS

MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

ASESOR PRINCIPAL

Dr. Ing. GUSTAVO ADOLFO VILLEGAS L.

EMPRESA

UNIVERSIDAD EAFIT.

RESUMEN

Este proyecto desarrolla una propuesta para utilizar el quinto pilar del TPM (Control Inicial) en una empresa de transporte público, con el propósito de aumentar la eficiencia y calidad al momento de ingresar un nuevo vehículo, y disminuir los tiempos de entrega, puesta a punto, y evitar al máximo mantenimientos correctivos.

El sector de transporte público enfocado a pequeños automotores se ha visto en la necesidad de renovar el parque automotor existente, debido a la entrada de nuevas marcas y tecnologías provenientes del exterior, las cuales ofrecen mayores estándares de confiabilidad, reducción de emisiones, menor consumo de combustible, mayor seguridad para los ocupantes y ergonomía. Es por esto que los propietarios de flotas en las ciudades están realizando un esfuerzo económico para aprovechar lo que las grandes marcas brindan actualmente, y convertir su inversión en mayor rendimiento a mediano plazo

gracias la reducción de los costos de mantenimiento, entendidos como preventivos, correctivos y tiempos de parada de los vehículos que se traducen en costos financieros.

Estos son algunos de los parámetros que más se deben tener en cuenta al momento de adquirir un vehículo:

- Aspectos técnicos del vehículo, como cilindraje, potencia, torque, capacidad de carga y espacio, altura al suelo, llantas.
- Aspectos económicos propios del vehículo, como precio, consumo y capacidad de combustible, tipo de combustible, disponibilidad de repuestos, respaldo y garantía de la marca, seguros.
- Aspectos de regulación ambiental.
- Impuestos, permisos y licencias.
- Zona a recorrer.
- Mantenibilidad y fácil reparación.

Si bien algunos propietarios de flotas tienen en cuenta estos aspectos, no los realizan de una manera estructurada y muchas veces compran algo sobredimensionado a las características y necesidades de su público. Este tipo de errores es frecuente y no garantiza el mayor rendimiento de la inversión a mediano y largo plazo.

ABSTRACT

This project develops a proposal to use the fifth pillar of TPM (Initial Control) in a company of public transport, in order to increase the efficiency and quality at the time of entering a new vehicle, and diminishing the times of delivery, completion, and to avoid corrective maintenance to the maximum.

The sector of public transport focused to small automotive has been saw in the necessity to renew the existing vehicle park, due to the entrance of new marks and technologies from of the outside, which offer greater standards of reliability, reduction of emissions, minor fuel consumption, greater security for the occupants and ergonomics. Is for this that the fleet owners in the cities are making an economic effort to take advantage of what the great marks offer at the moment, and to turn their investment greater yield to medium term thanks the reduction of the costs of maintenance, understood like preventive, corrective and run-down times of the vehicles that are translated in financial costs.

These are some of the parameters that are necessary to consider at the time of acquiring a vehicle:

- Technical aspects of the vehicle, like displacement, power, torque, lifting capacity and space, height to the ground, rims.
- Economic aspects of the own vehicle, like price, consumption and capacity of fuel, type of fuel, availability of spare parts, endorsement and guarantee of the mark, insurances.
- Aspects of environmental regulation.
- Taxes, permissions and licenses.
- Region of use.
- Maintainability and easy repair.

Although some fleet owners consider these aspects, they do not make them of a structured way and often they buy something over-dimensioned to the characteristics and necessities of its public. This type of errors is frequent and it does not guarantee the greater yield to the medium to and long term.

PALABRAS CLAVE

Control Inicial, CAP-Do, Economía, Confiabilidad, Mantenibilidad, Disponibilidad, Seguridad.

ARTÍCULO

El TPM es una filosofía japonesa que permite aumentar la productividad de una máquina, y aplicado al tema de los vehículos, permite disminuir costos de mantenimiento tales como correctivos y tiempos de parada, a través del aprovechamiento óptimo de los recursos con los que se cuenta.

Particularmente, dentro del TPM, existe un pilar llamado "Control Inicial", el cual permite introducir un equipo de una manera más eficiente, mediante un análisis de datos obtenidos a partir de la flota que se tiene actualmente, del sector económico, y del conocimiento y aportes que puedan realizar las personas involucradas en el proyecto.

El desarrollo del proyecto se basa en la implementación del ciclo CAP-Do de la siguiente forma:

- Primero está la fase de chequeo, en la cual se recopila toda la información pertinente al sector de transporte público y la de mantenimientos realizados a la flota que se tiene actualmente. De esta forma, se establecen los problemas que se han tenido en aspectos como funcionalidad, seguridad, mantenibilidad, economía, ergonomía, tramitología, etc.
- Luego viene la fase de análisis, la cual utiliza los datos encontrados para determinar las causas raíces de los problemas y que se puedan atacar directamente. En esta fase se realiza el análisis de forma que se visualice una situación deseada, basándose en los problemas que se tienen.
- Después se encuentra la fase de planeación, en la cual se establecen fechas y responsables para ejecutar las acciones que van a solucionar los problemas encontrados, además de una depuración de las actividades a realizar.
- Por último, está la fase de ejecución, cuyo objetivo es llevar a cabo las acciones planteadas y realizar

registros de las mismas, de forma que retroalimenten a las otras fallas que se estén solucionando o a nuevas que se presenten.

Para determinar el avance del proceso de mejoramiento se tendrá en cuenta el uso de indicadores como tiempo medio entre fallas (MTBF) y tiempo medio entre reparaciones (MTTR) para aspectos relacionados con el mantenimiento. No se mostrarán indicadores para costos, pero se podrá observar una mejoría a medida que éstos disminuyan.

Por último, se elaboró una lista de chequeo que permita ingresar un vehículo bajo unas condiciones preestablecidas, y se hará una simulación de la entrada de un vehículo con ayuda de la misma.

DATOS OBTENIDOS

Se tomó una muestra de 9 vehículos pertenecientes a una empresa dedicada a la administración de taxis de servicio urbano, la cual facilitó datos reales sobre los costos incurridos en el funcionamiento diario del negocio, con el fin de analizar estos datos y poder tomar decisiones en un proceso de compra organizado a corto plazo.

Los datos se recopilan a partir del historial de mantenimiento preventivo y correctivo de los vehículos, diferenciando cuando se trata de una avería ocasionada por un siniestro, ya que este tipo de mantenimiento es aleatorio y alimenta otra parte del proceso de decisión, como la creación de un fondo para autoseguro.

La flota de vehículos está compuesta por 3 tipos diferentes: tipo 1 (6 vehículos), tipo 2 (1 vehículo) y tipo 3 (2 vehículos), los cuales son de, a lo sumo, 1 año de servicio.

Los vehículos que arrojan los datos para este análisis, son escogidos de acuerdo a condiciones de fuerza y economía establecidas por la experiencia del comprador, la cual, no necesariamente, es la más indicada.

	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3
Potencia	62.4 HP a 5600 rpm	55 HP a 5500 rpm	52.3 HP a 5900 rpm
Torque	8.88 Kg a 4200 rpm	8.3 Kg a 3000 rpm	8.1 Kg a 3000 rpm
Cilindraje	995 CC	999 CC	993 CC
Capacidad de carga	435 Kg	440 Kg	450 Kg
Tanque de	9.25 gal	9.25 gal	8.7 gal
Relación de compresión	9.3 : 1	9.2 : 1	9.0 : 1
Llantas	155/65 R13	155/70 R13	145/80 SR13
Rines	13 x 4.5J Acero	13 x 4.0J Acero	13 x 5.0J Acero
Batería	35 A.H.	35 A.H.	45 A.H.

Costos de mantenimiento

A continuación se presentan las gráficas de los datos obtenidos para los tres tipos diferentes de vehículos. En el lado izquierdo de la gráfica, se encuentran los gastos de mantenimiento promedio en que han incurrido los vehículos de ese tipo y están asociados a la línea de color azul. En el lado derecho de la gráfica, se muestra el kilometraje promedio recorrido asociado a esos vehículos y está representado con la línea de color rosa.

FIGURA 2. Costo promedio de mantenimiento para el vehículo tipo 1



FIGURA 3. Costo promedio de mantenimiento para el vehículo tipo 2



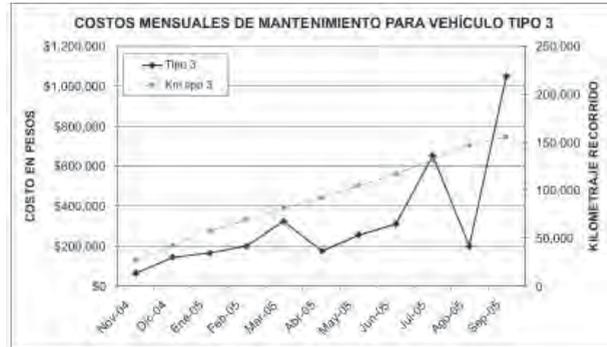
FIGURA 4. Costo promedio de mantenimiento para el vehículo tipo 3



Consumo de combustible

A continuación se muestran los datos de rendimiento promedio de kilometraje por galón por tipo de vehículo para la flota. No se presentan datos para el tipo 1 en el mes de noviembre de 2004, ya que en ese momento no había ingresado algún vehículo de este tipo.

FIGURA 5. Rendimiento promedio obtenido para cada tipo de vehículo



Siniestralidad

A continuación se muestran los gráficos obtenidos a partir de los datos de siniestralidad presentados por la flota. Primero se muestran los datos para cada uno de los diferentes tipos de vehículo, sin hacer relevancia en el tipo 2, ya que no presenta siniestros, y luego se muestran los datos de siniestralidad para toda la flota.

FIGURA 6. Porcentaje de siniestralidad para cada tipo de vehículo

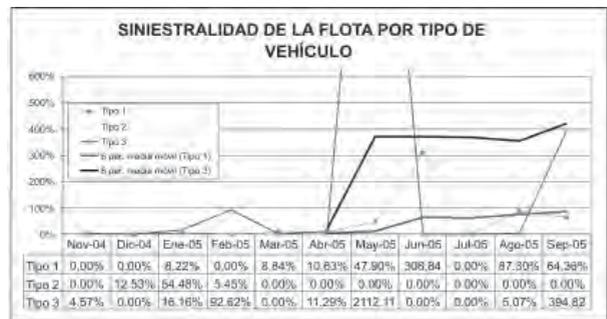


FIGURA 7. Porcentaje de siniestralidad para toda la flota



valor total de los siniestros dividido por la prima mensual total.

$$\% \text{ Siniestralidad} = \frac{\sum_{i=1}^n \$ \text{ siniestros placa } i}{\sum_{i=1}^n \$ \text{ prima mes placa } i}$$

RESULTADOS OBTENIDOS

De acuerdo al análisis realizado a los datos encontrados, se establecen valores de importancia para cada una de las características que se deben observar al momento de adquirir un vehículo.

La importancia depende tanto de valores numéricos

	Característica	Importancia	Calificación	Ponderación
Aspectos técnicos	Potencia	20%	0-10	Imp. * Calif.
	Torque	20%	0-10	Imp. * Calif.
	Cilindraje	25%	0-10	Imp. * Calif.
	Transmisión	5%	0-10	Imp. * Calif.
	Frenos	30%	0-10	Imp. * Calif.
	SUBTOTAL	11%		/ Asp. Técnicos*11%
Rendimiento	Capacidad de carga	65%	0-10	Imp. * Calif.
	Tanque combustible	35%	0-10	Imp. * Calif.
	SUBTOTAL	7%		/ Rendimiento*7%
Aspectos económicos	Consumo de combustible	23%	0-10	Imp. * Calif.
	Tipo de combustible	9%	0-10	Imp. * Calif.
	Tipo de llantas	12%	0-10	Imp. * Calif.
	Tipo de rines	4%	0-10	Imp. * Calif.
	Batería	6%	0-10	Imp. * Calif.
	Costos de mantenimiento	28%	0-10	Imp. * Calif.
	Costo prima de seguros	18%	0-10	Imp. * Calif.
	SUBTOTAL	28%		/ Asp. Económicos*28%
Diseño	Espacio	16%	0-10	Imp. * Calif.
	Mantenibilidad	30%	0-10	Imp. * Calif.
	Seguridad pasiva	5%	0-10	Imp. * Calif.
	Altura al suelo	8%	0-10	Imp. * Calif.
	Tamaño	6%	0-10	Imp. * Calif.
	Espacio del baúl	9%	0-10	Imp. * Calif.
	Sistema eléctrico	26%	0-10	Imp. * Calif.
	SUBTOTAL	9%		/ Diseño*9%

establecidos, como de la experiencia que se tenga en el manejo de automóviles, y se encuentra en un rango de calificación de 0 a 10, donde 0 es pésimo (o no lo tiene) y 10 es ideal (no excelente).

La ponderación trata del peso que tiene cada calificación sobre un subtotal, de acuerdo a la importancia que dentro de cada aspecto, suma 100%, pero a su vez, cada aspecto tiene su importancia sobre el total, obteniéndose el 100%.

CONCLUSIONES

	Característica	Importancia	Calificación	Ponderación
Respaldo	Disponibilidad de repuestos	31%	0-10	Imp. * Calif.
	Repuestos homologados	35%	0-10	Imp. * Calif.
	Garantía	15%	0-10	Imp. * Calif.
	Área de cobertura	7%	0-10	Imp. * Calif.
	Capacitación de talleres externos	12%	0-10	Imp. * Calif.
	SUBTOTAL	15%		/ Respaldo*15%
Aspectos comerciales	Precio de compra	40%	0-10	Imp. * Calif.
	Valor de retoma	60%	0-10	Imp. * Calif.
	SUBTOTAL	22%		/ Asp. comerciales*22%
Aspectos ambientales	Nivel de emisiones	100%	0-10	Imp. * Calif.
	SUBTOTAL	2%		/ Asp. ambientales*2%
Accesorios	Aire acondicionado	13%	0-10	Imp. * Calif.
	Vidrios eléctricos	11%	0-10	Imp. * Calif.
	Equipo de sonido	24%	0-10	Imp. * Calif.
	Tapetes	20%	0-10	Imp. * Calif.
	Herramientas	32%	0-10	Imp. * Calif.
	SUBTOTAL	6%		/ Accesorios*6%
TOTAL GENERAL		100%		/ TOTALES

- A la hora de diseñar un vehículo por parte de una ensambladora, no se le da mayor importancia a las condiciones extremas que está sometido un vehículo Taxi en Colombia. Dicho país tiene grandes deficiencias en el diseño de sus vías, y los continuos asentamientos en las laderas de las grandes ciudades, exigen cada vez más la preparación de este tipo de vehículos de este gremio comercial. Por esto, entrar a hablar de un vehículo ideal es algo complicado y por mucho tiempo se dejó esta elección al juicio empírico de los propietarios.
- El proceso de decisión de compra de un vehículo no es una tarea sencilla, está rodeada de muchos aspectos que pueden variar constantemente de acuerdo a la situación económica que se presente en el país, y que afectan en gran medida la rentabilidad del negocio. Siempre se ha visto como el punto más neurálgico el precio de compra del vehículo, con algunos otros aspectos como repuestos y garantía, pero este proyecto muestra una gran cantidad de situaciones que antes no se analizaban y que son de gran importancia al momento de adquirir un vehículo.
- El pilar de control inicial fue una gran ayuda para la elaboración de este proyecto, aunque no fue desarrollado totalmente en base a él. Sin embargo, brinda herramientas como el ciclo CAP-Do (aplicado a la introducción de nuevos equipos), el diseño MP y el Costeo del Ciclo de Vida, herramientas que fueron utilizadas de forma tal que el proyecto sirviera no sólo para la introducción de un vehículo, sino para que la puesta a punto del mismo fuera de una forma más eficiente.
- La lista de chequeo a la cual se llegó, es una herramienta sumamente importante y eficiente, ya que le da una menor importancia a las preferencias del comprador y evalúa todos los aspectos relevantes y no relevantes, dándoles el peso respectivo sobre la calificación final.
- En la simulación del proceso de decisión se falló en no contar con los datos suficientes para establecer calificaciones que tuvieran un mayor grado de confiabilidad. Se podría llegar a una mejor elección, o por lo menos más confiable, si se tuviera el historial de una flota de mayor tamaño, por lo menos en los aspectos que conciernen a promedios, como son el mantenimiento, el consumo de combustible y la siniestralidad.
- Con los datos obtenidos de la siniestralidad fue realmente poco lo que se obtuvo, ya que con los pocos que se tenía no se pudo tomar conclusiones. Este es un tema muy amplio de riesgos financieros, para lo cual dejamos este espacio a futuros proyectos que puedan aportar ideas para la creación de un auto fondo de seguros para una flota de vehículos, o análisis más profundos como siniestros ocasionados por mal mantenimiento o falta del mismo, e inclusive, mantenimientos correctivos ocasionados por mala conducción o por siniestros anteriores.
- El proyecto es un gran aporte para empresas que deseen realizar compra de vehículos, más aún si es una gran cantidad, acomodándose a los datos históricos de la flota que posean, aunque también puede ser utilizado para un particular que quiera adquirir un vehículo y no sabe cómo escogerlo.
- En la escogencia de un vehículo, no se presenta una inversión grande en mantenimiento al inicio de su vida, comparándolo con la adquisición de un nuevo equipo para la industria. Esto se debe a que los pocos mantenimientos que se realizan, son de tipo preventivo y de necesitarse una reparación grande, se aplican las garantías.
- El consumo de combustible aumenta respecto al tiempo, ya que los componentes que intervienen en la combustión pierden su eficiencia a causa de las impurezas de la gasolina, obligando a programar afinaciones de motor para volver a su punto óptimo, como lo vemos en las graficas.
- Un estudio como el realizado, a pesar de no contar con el número de vehículos ideal para realizar proyecciones

más concretas en materia de mantenimiento, refleja la realidad del parque automotor de Colombia, pues los resultados de escogencia derivados de este proyecto coinciden con los comentarios realizados por el gremio transportador.

- El uso del ciclo CAP-Do como herramienta de análisis, es sin duda una ayuda para tomar decisiones futuras a la hora de adquirir un nuevo vehículo, pues tiene en cuenta todos los factores del negocio y le brinda herramientas al comprador, ya no con palabras, sino con datos y gráficos que reflejan el comportamiento.
- La siniestralidad es el talón de Aquiles de este sector del transporte, pues el rendimiento de este negocio se va a pique con un alto índice de accidentes, debido a los deducibles tan altos exigidos en las pólizas de seguros. A esto se suma el tiempo que se pierde en talleres a causa de la tramitología previa por parte de las aseguradoras, al momento de producirse una reclamación. Estas demoras representan un 35% de las pérdidas en una colisión (Indicadores, Numeral 1.1.3. LCC, Numeral 1.1.5).
- El sector necesita un software que ayude a administradores de flotas y propietarios a trabajar de manera ordenada, con un enfoque de mantenimiento estructurado, que le permita tomar decisiones concretas y disminuya los paros por mantenimientos correctivos.
- El sector necesita la elaboración de nuevos proyectos relacionados con administración y gerencia, pues se está viviendo un cambio actualmente con la creación de nuevas empresas dedicadas a administrar y mantener este tipo de flotas.

BIBLIOGRAFÍA

SUZUKI, Tokutaro. TPM en industrias de proceso. ISBN: 1563270366. Productivity Press, 1994. Portland-USA. pp. 199.

VILLEGAS, Gustavo. Notas de clase de la materia Mantenimiento Productivo Total. 2003. Universidad EAFIT. Medellín-Colombia.

BAQUERO, Juan Mauricio. Conversatorio sobre TPM en Noel. Compañía de Galletas Noel S.A. Medellín, Colombia. Septiembre 2005.

MORA, Luis Alberto. Memorias Diplomatura en Mantenimiento. Universidad EAFIT. Medellín, Colombia. 2003.

automation@

Total Productive Maintenance, Concepts and Literature Review. [Online]. 2004. [Citado en 23 de Septiembre de 2005]. Disponible en Internet.

<<http://www.brooks.com/tmp/2110.pdf>>

emsstrategies@

TPM Overview. [Online]. 2004. [Citado en 23 de Septiembre de 2005]. Disponible en Internet.

<<http://www.emsstrategies.com/dd050104article.html>>

jerdenvandenberg@

Continuous Improvement. [Online]. 2005. [Citado en 12 de Noviembre de 2005]. Disponible en internet.

<<http://www.jvdbconsulting.com/continuous-improvement.htm>>

GESTIÓN DEL DESARROLLO DE MANTENIMIENTO EN LAS PYMES DEL SECTOR METALMECÁNICO DEL VALLE DE ABURRÁ: ESTADO ACTUAL Y PROYECCIÓN DE LOS INDICADORES DE GESTIÓN

JUAN CARLOS ECHAVARRÍA ECHAVARRIA. jechava3@eafit.edu.co

RICARDO RENDÓN RESTREPO. rrendonr@eafit.edu.co

Ing. CARLOS MARIO TAMAYO

Departamento de Ingeniería Mecánica

AREA DE ENFASIS

MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

ASESOR PRINCIPAL

Ing. CARLOS MARIO TAMAYO

SECTOR BENEFICIADO

UNIVERSIDAD EAFIT

RESUMEN

Este artículo es el resultado de la investigación realizada a las PYMES del sector metalmeccánico del valle de aburra, con el fin de establecer el estado en que estas se encuentran en cuanto a su gestión de mantenimiento y poder determinar si manejan indicadores que permitan mostrar la realidad interna de estas empresas, lo cual es importante conocer ya que la realidad empresarial del nuevo siglo se traduce en retos importantes para las empresas manufactureras y de servicio colombianas, a puertas de los tratados internacionales, dada la exigencia de ser proveedores confiables para las empresas de las líneas de fabricación del exterior nos comprometen a tener en la cadena productiva proveedores locales también certificados y confiables en los insumos y servicios que entregan.

PALABRAS CLAVES

Indicadores de gestión, productividad, mantenibilidad, disponibilidad, competitividad.

ABSTRACT

This article is a result of investigation doing to PYMES of metal mechanic sector of Aburra Valley, whit the end of stabilisation the state in they are about their management in the maintenance sector and be able to determinate if they are working with indicators that made possible to show the reality of their own running, this is important to know because it will be the real measuring for the manufacturing and services business of this century and in those topics are located the new challenges for the Colombian industries in front of the international agreements, the reason is that they are trust providers to the different lines of production all around the world and they demand to have in the production chain, local providers with certification and reliability for the good profile of the services and products that they are giving.

KEY WORDS

Indicators of management, productivity, maintenance, availability, competitiveness.

1. INTRODUCCIÓN

La realidad empresarial de nuevo siglo se traduce en retos importantes para las empresas manufactureras y de servicio colombianas, a puertas de los tratados internacionales, es necesaria la garantía de su producción con las especificaciones acordadas y pactadas en la negociación.

Dado lo anterior es el caso del sector metalmecánico, proveedor de insumos importantes para los departamentos técnicos de las empresas, y que hace necesario y obligado que las áreas de mantenimiento desarrollen estrategias con miras a garantizar la calidad de su servicio y mejorar la confiabilidad y disponibilidad de las instalaciones bajo su responsabilidad.

Un proveedor logra su confiabilidad cuando logra tener bajo control variables de su proceso productivo, estos son la metrología (certificación de la calidad de su producción entregada), las instalaciones físicas (ambiente productivo de trabajo en general), el sistema operativo (planeación, organización y control de su producción), el estado y capacidad de la maquinaria (normas aplicadas a las instalaciones y la capacidad de sus equipos) y la gestión del mantenimiento (ciclo de calidad aplicado para lograr tener con disponibilidad y confiabilidad las instalaciones, a través de una estrategia de mantenibilidad permanente).

Las evaluaciones cualitativa y cuantitativa del desempeño permiten detectar inconsistencias entre el quehacer de una institución y sus objetivos prioritarios. Una herramienta útil para el desarrollo de una gestión de calidad es la medición y evaluación del servicio o producto que provee cada organización, a través de un conjunto de indicadores claves.

2. FASES DE LA INVESTIGACIÓN

Dentro de la investigación se dan las siguientes fases:

Se estudia toda la información y teoría necesaria sobre indicadores de gestión en general, especialmente en el área de mantenimiento para el sector metalmecánico.

Se definen indicadores con los que se van a evaluar las variables asociadas a la investigación y se tabula la información.

Se recolecta la información necesaria, para evidenciar en que estado se encuentran los indicadores de gestión de mantenimiento en las empresas del sector metalmecánico del Valle de Aburra actualmente, se tabula la información y se aplica a un caso real.

3. DESARROLLO

Básicamente se realiza una encuesta de acuerdo a los indicadores estudiados.

En vista que la población es inferior a 500, no es necesario calcular la muestra para la aplicación de la encuesta. Por lo tanto se realizan 29 encuestas para observar el comportamiento de las empresas según los indicadores de gestión.

Cada encuesta consta de 21 preguntas, entre las cuales se destacan los resultados más representativos:

Horas empleadas en mantenimiento

Las horas empleadas en Mto por el personal de plantilla
Horas totales trabajadas



Horas de "out-sourcing"

Las horas empleadas por empresas subcontratadas
Horas totales trabajadas



La influencia del costo de mantenimiento en el costo final del producto

Costos de mantenimiento (totales)
Costos de producción $\times 100\% \approx 5-6\%$



Horas de paro del equipo por averías vs horas de producción

Horas de paro por mantenimiento
Horas de producción realizadas $\times 100\% \approx 1-3\%$



Tiempo no operativo del equipo causado por fallos

Tiempo no operativo causado por fallos
Tiempo total no operativo $\times 100\%$



4. CONCLUSIONES

El desarrollo que esta presentando actualmente la economía mundial, requiere de las empresas nacionales, mayores esfuerzos en el desarrollo de estándares mundiales para poder competir con empresas de otros países.

El mantenimiento moderno tiene una relación directa con la competitividad y productividad de las empresas, por lo tanto debe contar con índices de gestión que ayuden a tomar decisiones para contribuir con los objetivos estratégicos de las empresas.

La confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad son características inherentes a un sistema y determinan los puntos en los cuales se están presentando fallos.

La disponibilidad de los equipos no se puede medir de forma independiente, si no que es una variable que depende directamente de la confiabilidad y la mantenibilidad.

El mantenimiento en una empresa, debe estar dividido en niveles de gestión que aseguren el cumplimiento de todas las funciones necesarias para tener un desempeño acorde con las exigencias del desarrollo global.

Los indicadores de gestión de mantenimiento, son una herramienta fundamental para adquirir la información suficiente que lleve tomar decisiones enfocadas a un mejoramiento continuo tanto del área como de la empresa.

Actualmente, la gran mayoría de las empresas del sector metalmeccánico del valle de aburra, no llevan ningún tipo de indicador de gestión del mantenimiento que realizan.

Para poder competir con empresas de otros países, es necesario que las empresas del sector metalmeccánico empiecen a formalizar el uso de indicadores que apoyen la toma de decisiones fundamentales para el desarrollo de la empresa.

Los indicadores de mantenimiento, no necesariamente son de difícil aplicación, ni conllevan a gastos cuantiosos para su implementación, en comienzo se recomienda implementar los mas fundamentales, para que es proceso no sea traumático en las empresas que no cuentan con ninguno.

No es necesario tener bajo control todos los indicadores de que se plantean, solo los que cada empresa considere y según sus características les brinden la información más apropiada y certera para plantear las directrices que lleven a un mejor desempeño.

Una de las etapas mas complicadas para la implementación de indicadores de gestión, es la cambiar

la cultura de la empresa, para que se entienda que los indicadores son fundamentales y apuntan siempre a mejorar los que actualmente se este haciendo y en ningún caso son para buscar culpables a los problemas que se presente.

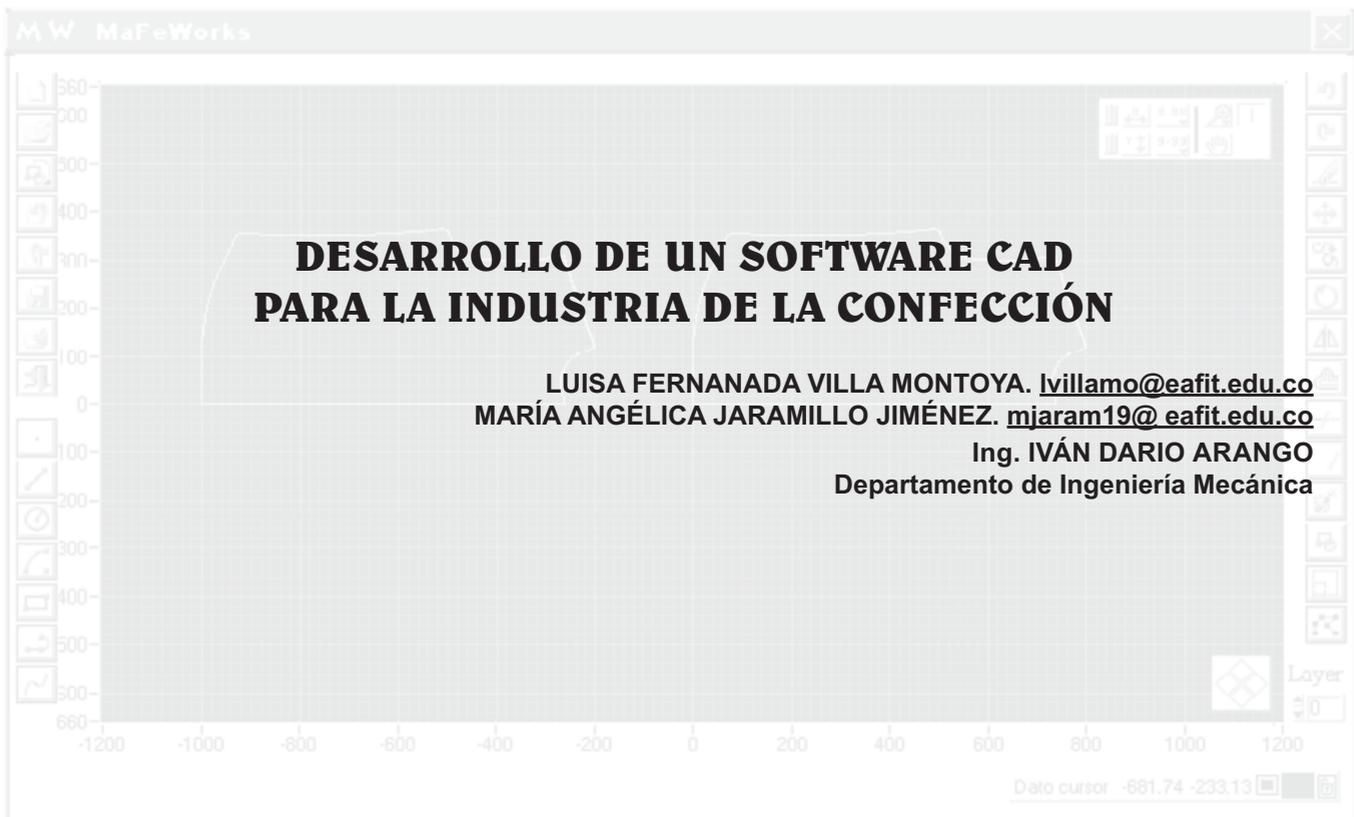
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALADON. Reliability centered Maintenance II. 1991.
- BLANCHARD, Benjamin S., VERMA, Dinesh, y PETERSON, Elmer. MAINTAINABILITY: A Key to Effective Serviceability and Maintenance Management. New York, NY, USA . John Wiley & Sons. 1995. p 127.
- BARLOW, Richard E. Engineering Reliability. Philadelphia, USA. Siam. 1998.
- BARRINGER H, Paul. Availability, Reliability, Maintainability, and Capability. P.E. Barringer & Associates, inc. Humble. TX. 1996. p 4,
- CÉSPEDez GUTIÉRREZ, Pedro Alejandro, y TORO OSORIO, Juan Carlos. Metodología para medir confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad en mantenimiento. Medellín, 2002, 134 p. Trabajo de grado (Ingeniero Mecánico). Universidad Eafit. Departamento de Ingeniería Mecánica. Área de mantenimiento. p 9, 14, 54.
- DÍAZ MATALOBOS, Ángel. Confiabilidad en mantenimiento. Caracas, Venezuela. Ediciones IESA. 1992. p 5, 6, 8, 9, 10, 17, 24, 41.
- DOUNCE, E. La Productividad del Mantenimiento Industrial. México D.F, México. CECSA . 1998. p 3, 135, 138, 140.
- EBELING, Charles E. An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering. New York, NY, USA. McGraw-Hill. 1997. p 5, 23, 256.

ESREDA. WORKING GROUP. Handbook on Maintenance Management. Hovik, Norway, Det Norske Veritas. 2001. p 32.

ESREDA. WORKING GROUP. Handbook on Quality Reliability Data. Hovik, Norway, Det Norske Veritas. 2001. p 82.

GNEDENKO, Boris y USHAKOV, Igor. Probabilistic Reliability Engineering. New York, NY, USA . John Wiley & Sons. 1995.



ÁREA DE ÉNFASIS

DISEÑO DE SISTEMAS TÉCNICOS

ASESOR PRINCIPAL

Ing. IVÁN DARÍO ARANGO

SECTOR BENEFICIADO

Laboratorio Mecatrónica. Universidad EAFIT
Industria de la Confección

RESUMEN

Los adelantos tecnológicos se están dando en el mundo cada vez con más frecuencia, haciendo necesario que la industria en general, y en nuestro caso la colombiana, se vea en la tarea de mejorar sus sistemas, para no correr el riesgo de desaparecer.

Para lograr estas mejoras, a las universidades les corresponde ampliar sus campos de investigación, y así proveerles herramientas que faciliten sus labores, y de esta manera poder disponer de medios para lograr sin ningún contratiempo la producción requerida, además a un bajo costo de inversión inicial, ya que las tecnologías para alcanzar estas metas existen en el mundo pero a muy alto costo.

En el caso de la universidad EAFIT, el laboratorio de Mecatrónica trabaja en la realización de hardware, software y máquinas, con el fin de aportar en el crecimiento y desarrollo de la industria colombiana.

Se tiene como proyecto actual el desarrollo de una máquina cortadora de tela para la industria de la confección, y uno de sus requerimientos es un software CAD que facilite las tareas realizadas habitualmente en ésta.

El software CAD se desarrolla a partir del software de programación Labview™ que posee un entorno de programación gráfica, facilitando el desarrollo de un programa de este tipo.

ABSTRACT

Technological advances are taking place in the world with more frequency, making necessary that industry in general, and in our case the Colombian, require to improve their systems, in order to avoid the risk of disappearing.

To achieve these improvements, universities compromise is to enlarge their investigation fields, and to provide them

tools to facilitate their tasks, and this way to be able to have means to guarantee the required production, with low initial investment, since the technologies to reach these goals exist in the world but at very high cost.

In the case of EAFIT university, the laboratory of Mecatronics works developing hardware, software and machines, with the purpose of contributing in the growth and development of Colombian industry.

The current project of the laboratory of Mecatronics is the development of a cutting machine of fabrics for the industry of cloth, and one of its requirements is a software CAD that facilitates the habitually tasks realized in it.

The software CAD is developed starting from the programming software Labview™ that has a graphic environment for programming , facilitating the development of a program of this type

PALABRAS CLAVES

Software CAD, patrones, escalado, editado.

KEY WORDS

Software CAD, patterns, scaling, editing.

IMPORTANCIA

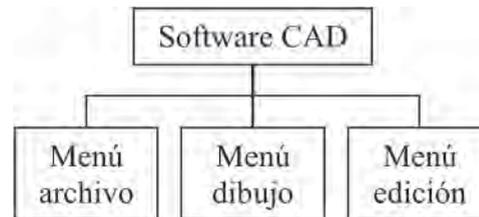
El proyecto pretende mejorar las condiciones en que las pymes dedicadas al corte y la confección de prendas, debido al alto costo que tiene la importación de maquinaria de última tecnología.

OBJETIVO

Elaborar un software CAD para la industria de la confección que permita el diseño, la modificación y el escalado de patrones.

ESTRUCTURA BÁSICA DEL SOFTWARE CAD

En el siguiente diagrama se muestra la estructura básica del CAD.



MENÚ ARCHIVO

El menú archivo permite la manipulación de los diseños de patrones, tanto de extensión .MFW, realizados en el software CAD propio, como de archivos de extensión .DXF.



La función importar permite abrir diseños que se encuentren en formato .DXF.

La función exportar permite dar formato .DXF a los diseños hechos en el software CAD.

MENÚ DIBUJO

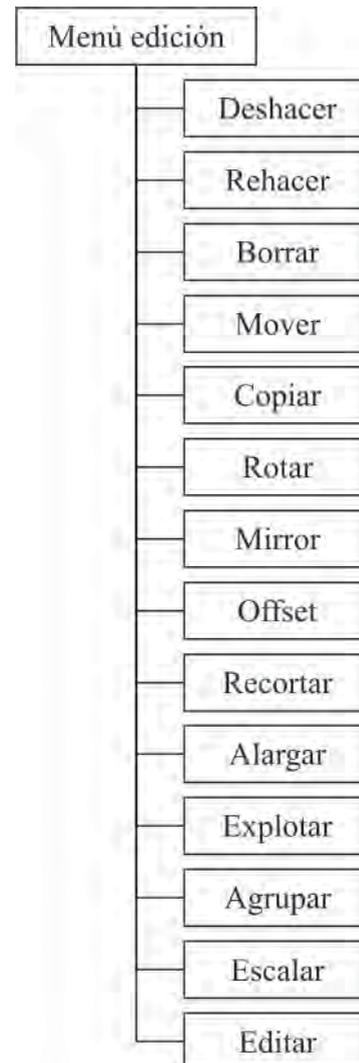
El menú dibujo permite crear las diferentes entidades básicas en un software CAD.



La curva spline es una entidad básica para el diseño de patrones debido a la forma irregular de éstos.

MENÚ EDICIÓN

El menú edición permite modificar las diferentes entidades básicas de dibujo en un software CAD.



La función escalar permite crear patrones en los diferentes tallajes partiendo de un patrón base.

La función editar permite modificar los puntos de un patrón ya hecho, sin tener que comenzar uno nuevo para generar cambio deseados.

CONCLUSIONES

Las entidades del menú dibujo permiten realizar el diseño de patrones.

Las funciones del menú edición permiten modificar las entidades de dibujo.

Las funciones del menú archivo permiten manipular los diseños realizados.

Las funciones exportar e importar, permiten la comunicación de datos entre el software CAD de desarrollo propio con otros que manejen la extensión .DXF.

La generación de la curva spline favorece al diseño de las prendas, ya que permite la generación de curvas que no siguen un patrón determinado, como un círculo o un arco, las cuales son de alta utilización en el área de la confección.

Por medio del escalado, la persona que diseña puede generar las diferentes tallas que requiere de una prenda, sin tener que manipular moldes de cada una de ellas.

Por medio del editado, la persona que diseña puede retomar diseños realizados con anterioridad y actualizarlos a las necesidades que se le presenten en el momento.

La biblioteca de patrones le provee al diseñador una base para nuevos proyectos, que le ahorran tiempo y esfuerzo a la hora del diseño.

La generación de programas como este, permiten a los estudiantes aplicar los conocimientos adquiridos durante sus estudios de pregrado, en áreas de la industria nacional, aplicaciones que resultan beneficiosas para ambos sectores.

El CAD servirá como base para el software de funcionamiento que tendrá la cortadora de tela que se está fabricando en el laboratorio de mecatrónica.

El CAD facilita el diseño de prendas en la industria de la confección, ya que por medio de éste se hace innecesario la generación de moldes en cartulina para cada talla, además de que permite modificar los diseños existentes sin necesidad de generar moldes.

BIBLIOGRAFÍA

ARANGO, Iván. Entrevista sobre la industria de la confección. Medellín, Colombia. Universidad EAFIT, carrera de Ingeniería Mecánica. Septiembre 16 de 2004.

_____. Del dibujo a la pieza real, los programas CAD/CAM por dentro. Un ejemplo del sector textil. Medellín, Colombia. Universidad EAFIT, carrera de Ingeniería Mecánica.

BOTERO HERRERA, Francisco Javier. 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. s.ed. 2003. 16 -32 p.131 – 134.

BUSTAMANTE DE VILLA, Consuelo. Entrevista sobre patronaje. Medellín, Colombia. Salón social San José de Calasanz, curso de modistería. Septiembre 8 de 2005.

CASTAÑEDA HEREDIA, Leonel Francisco. Entrevista sobre el tema de fundamentos del diagnóstico técnico en bombas centrífugas. Medellín, Colombia. Universidad EAFIT, carrera de Ingeniería Mecánica. Diciembre 12 de 2003.

LÁZARO, Antonio Manuel. LabVIEW programación gráfica para el control de instrumentos, Madris. Editorial Paraninfo. 1997.

PINEDA VASQUEZ, Juan David. Construcción de software para el diseño del desarrollo de muebles metálicos. Medellín, Colombia. Universidad EAFIT. s.ed. 2004. 16 -32 p.

RUIZ MONCADA, Pablo y otro. Desarrollo de un software CAD/CAM para torno CNC. Medellín, Colombia. Universidad EAFIT. s.ed. 2002. 27 -28 p.

Curves B-Spline [En línea]. Curves B-Spline. [Citado el 24 de Octubre de 2005]. Disponible en internet: <http://www.cs.mtu.edu/shene/COURSES/cs3621/NOTES/notes.html>

Universidad EAFIT [En línea]. Software, CAD/CAM Equipment and Services dedicated to your industry. [Citado el 24 de Septiembre de 2004]. Disponible en internet: <http://www.eafit.edu.co/EafitCnInvestigacion/Grupos/Ingenieria/Mecatronica>

Texile-creation-club [En línea]. Bosquejos de medidas.[Citado el 15 de Octubre de 2005. Disponible en internet: <http://www.textile-creation-club.com>



ESTUDIO DEL CIRCUITO HIDRÁULICO DE REFRIGERACIÓN DE UN SISTEMA DE INYECCIÓN DE PLÁSTICO

CAROLINA QUINTANA CADAVID. cquinta1@eafit.edu.co
Ing. GUSTAVO A. GARCÍA SANÍN
Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS

DISEÑO DE SISTEMAS TÉCNICOS

ASESOR PRINCIPAL

Ing. GUSTAVO A. GARCÍA SANÍN

EMPRESA

IMSA

RESUMEN

El circuito de refrigeración en un sistema de inyección es de gran importancia para el proceso de transformación del plástico, de este depende la productividad del proceso, es decir, la calidad del producto, el tiempo de la producción y el rendimiento de las máquinas inyectoras. La refrigeración inadecuada del sistema se traduce en problemas de producción, que finalmente se convierten en sobrecostos del proceso.

En el presente proyecto de grado se estudia el circuito hidráulico de refrigeración de una empresa de la ciudad dedicada a la producción de artículos mediante un proceso de inyección de plástico. El estudio es realizado por medio de la caracterización de las cargas de calor, componentes y capacidades del sistema, para evaluar el circuito hidráulico de refrigeración y proponer soluciones que mejoren la productividad de la empresa, así como la disminución del consumo eléctrico y los altos costos de mantenimiento.

ABSTRACT

The refrigeration circuit in an injection system has a great importance in the plastic transformation process, the process productivity depends of this, it means, the product quality, the production time and the injection machine performance. The inadequate refrigeration of the system is translated into production problems that finally become process over-costs.

In the present project is studied the hydraulic refrigeration circuit of a company in the city, dedicated to the production of articles by plastic injection process. The study is carried out through the characterization of heat loads, components and capacities of the system, to evaluate the hydraulic refrigeration circuit and to propose solutions that improve the productivity of the company, as well as the decrease of the electric consumption and the high costs of maintenance.

PALABRAS CLAVES

Refrigeración, Inyección de plástico, Circuito hidráulico, Cargas de calor.

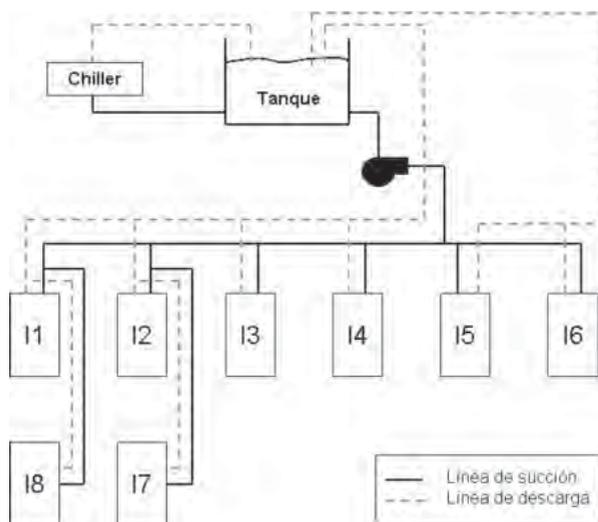
KEY WORDS

Refrigeration, Plastic injection, Hydraulic circuit, Heat loads.

DISTRIBUCIÓN DEL CIRCUITO HIDRÁULICO

IMSA cuenta con 8 máquinas inyectoras de diferentes tamaños que van desde 120 hasta 500 toneladas de fuerza de cierre. El circuito hidráulico de refrigeración está compuesto por un *chiller* de 30 toneladas de refrigeración y un tanque de almacenamiento de agua de 2.3 m³. El sistema es impulsado por una bomba de 300 gpm a través de una línea principal de suministro de agua que distribuye el refrigerante a las inyectoras y moldes, y regresa al tanque a través de una línea de retorno proveniente del sistema.

FIGURA 1. Diagrama del circuito hidráulico



DEFINICIÓN DE PROBLEMAS

Los principales síntomas encontrados en la empresa fueron:

- Cambios bruscos en las condiciones de refrigeración con respecto al tiempo.
- Deficiente suministro de agua en las cavidades de los moldes.
- Defectos de calidad en artículos.
- Tiempos extensos en los ciclos de refrigeración de los moldes.
- Largos paros por mantenimiento del *chiller*.
- Altos costos de operación

CARGAS DE CALOR

Para calcular las cargas de calor fue necesaria la medición de variables que permitieran determinar los flujos de calor y la cantidad de potencia de refrigeración entregada por la unidad de enfriamiento. Se hicieron mediciones durante 5 semanas para observar la rotación de varias referencias, con el fin de obtener datos de la mayor cantidad de artículos fabricados en la empresa.

La potencia de refrigeración máxima que el sistema logró evacuar fue 80 KW y la máxima potencia de refrigeración del *chiller* fue 82 KW.

POTENCIA DE REFRIGERACIÓN REQUERIDA

De acuerdo con las características técnicas de las máquinas y de los moldes el total de potencia de refrigeración requerida para todas las máquinas es 196,19 KW y para los moldes de 16,07 KW.

DIAGNÓSTICO

Comparando la capacidad de producción de la empresa con la capacidad de refrigeración que puede abastecer el sistema de refrigeración, se observa que los requerimientos calóricos de las máquinas y los moldes no están satisfechos, lo que quiere decir que la empresa no está en condiciones de obtener los volúmenes de producción que su capacidad de producción instalada permite.

El hecho de tener una unidad de refrigeración para todo el sistema, compuesto por máquinas y moldes, hace más arduo el desarrollo de este propósito que es de gran importancia en el proceso de inyección de plásticos.

La bomba no está entregando el caudal requerido por el sistema, debido principalmente a dos razones: primero, la tubería de succión instalada es la mitad del diámetro sugerido para este tipo de bomba, y segundo, porque la bomba debe invertir gran parte de su capacidad en contrarrestar las pérdidas que ocasionan la gran cantidad de accesorios y válvulas existentes y por efectos del transporte en el sistema.

NUEVAS CARACTERÍSTICAS

Con la potencia de refrigeración requerida para el sistema se diseñaron las nuevas cargas de calor teniendo en cuenta la futura ampliación de la empresa con la adquisición de 2 inyectoras de 300 toneladas de fuerza de cierre cada una. La potencia total de refrigeración del sistema es de 260 KW distribuidas de la siguiente manera: 240 KW para las máquinas y 20 KW para moldes.

SOLUCIONES PROPUESTAS

1. División interna del tanque de almacenamiento: ahorro económico pero no cumple con las nuevas cargas de calor.
2. Torre de enfriamiento para todo el sistema: cumple con los requerimientos calóricos del sistema pero la temperatura de entrada a los moldes es la del ambiente lo que incurre en mayor tiempo en los ciclos de inyección.
3. Torre de enfriamiento para las máquinas y *chiller* para los moldes: satisface las nuevas cargas de calor y la temperatura requerida por los moldes es la adecuada.

ELECCIÓN DE LA SOLUCIÓN

La solución que mejor satisface los requerimientos del sistema es la que tiene una torre de enfriamiento para las máquinas y un *chiller* para los moldes ya que, la refrigeración de los molde con el *chiller* asegura la buena calidad de los productos y la reducción del ciclo de inyección y la refrigeración de las máquinas con la torre de enfriamiento proporciona la adecuada refrigeración de los componentes de las inyectoras.

FIGURA 2. Diagrama de la torre de enfriamiento para las máquinas y *chiller* para los moldes

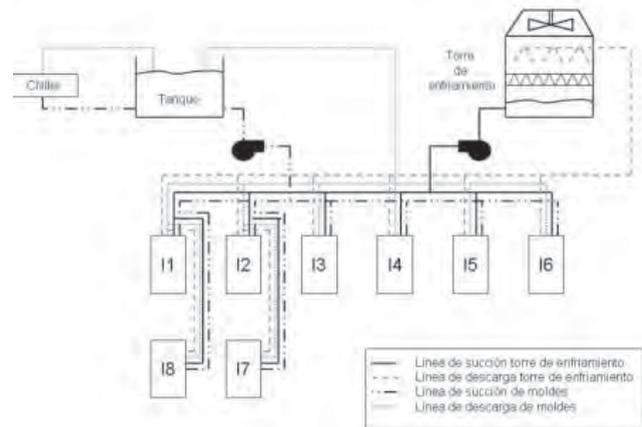
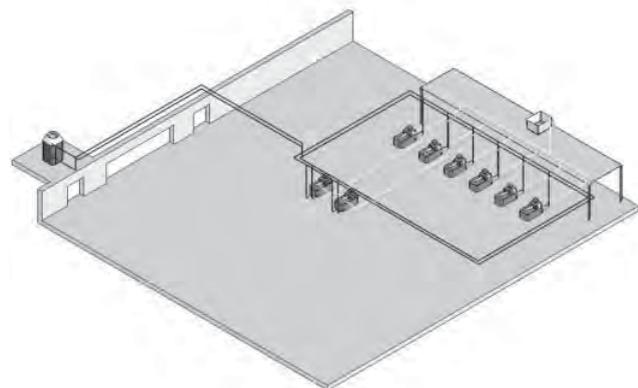


FIGURA 3. Modelo de la torre de enfriamiento y *chiller* para el sistema



CONCLUSIONES

Después de estudiar el circuito hidráulico de refrigeración en la planta de inyección de plásticos, y caracterizarlo mediante la medición de variables como temperatura, caudal, presión y corriente, se logran analizar varias propuestas que sirven como apoyo para el mejoramiento de los problemas existentes en la empresa.

Considerando las tres opciones planteadas, se concluye que la mejor alternativa de refrigeración consiste en adicionar al sistema una torre de enfriamiento que abastezca de fluido refrigerante a las máquinas inyectoras, con sus respectivos componentes como

intercambiadores de calor y sistemas eléctricos, continuar con la red hidráulica existente del *chiller*, pero utilizando un *chiller* de 15 toneladas de refrigeración en vez del utilizado actualmente de 30 toneladas de refrigeración, para que abastezca los moldes de inyección con la refrigeración requerida por ellos.

Para la instalación de la nueva torre de enfriamiento es necesario además, adecuar una red hidráulica nueva constituida por un anillo que permite la distribución correcta del líquido refrigerante, eliminando grandes presiones y permitiendo la entrega uniforme de caudal a través de todas las máquinas.

La red hidráulica que abastece con fluido refrigerante a los moldes está constituida por un *chiller* de 15 toneladas de refrigeración, que está actualmente conectado a la red como soporte del *chiller* de 30 toneladas de refrigeración existente.

Si la empresa decide hacer los cambios propuestos en el presente proyecto, puede obtener beneficios en cuanto a las condiciones de refrigeración como tiempo, calidad de los artículos, y costo en cuanto al mantenimiento del *chiller* se refiere, la disminución de los tiempos en los ciclos de refrigeración y sobre todo, llevará a la satisfacción de las cargas calóricas que el sistema actual requiere, una mayor productividad y disminución de los gastos actuales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

LIBROS

AGUILAR, Luis. Documentos Mecánica de Fluidos. Medellín, Colombia: Politécnico Jaime Isaza Cadavid, 2000. 108p

ASKELAND, D. Ciencia e ingeniería de los materiales. 3 ed. México D.F, México. International Thomson Ed, 1998. 790 p. ISBN 968-7529-36-9

ÇENGEL, Yunus y BOLES, Michael. Termodinámica. 4 ed. México D.F, México. Mc Graw-Hill, 2002. 829 p. ISBN 970-10-396-1

CRANE. Flujo de Fluidos en válvulas, accesorios y tuberías. México, D. F, México. McGraw-Hill, 1992. 220p. ISBN 968-451-846-3

GASTROW, Hans. Moldes de inyección para plásticos. Barcelona, España. Hanser, 1992. 250p. ISBN 848745402X

INCROPERA, Frank y DEWITT, David. Fundamentals of Heat and Mass Transfer. 5 ed. New Jersey, USA. John Wiley & Sons Inc, 2002. 981 p. ISBN 0-471-38650-2

JOHANNABER, Friedrich. Injection Molding Machines: A User's Guide. 2 ed. München. Hanser Publisher, 1985. 295 p. ISBN 344-613-575-8

MARKS, Lionel. Standard Handbook for Mechanical Engineers. 10 ed. New York, USA. McGraw-Hill, 1996. ISBN 0-07-004997-1

MC NAAUGHTON, Kenneth. Bombas. Selección, uso y mantenimiento, McGraw-Hill. México D.F, México, 1992. 373 p. ISBN 968-422-036-7

MENGES, Georg y MOHREN, Paul. How to Make Injection Molds. 2 ed. Munich, Alemania. Hanser Publishers, 1993. 540 p. ISBN 3-446-16305-0

MORAN, Michael y SHAPIRO, Howard. Fundamentals of Engineering Thermodynamics. 3 ed. New York, USA. John Wiley & Sons Inc, 1996. 859 p. ISBN 0-471-07681-3

NARANJO, Alberto; NORIEGA, Maria del Pilar; SIERRA, Juan D. y SANZ, Juan R. Injection Molding Processing Data. Hanser Publishers, 2001. 128 p. ISBN 1-56990-330-1

ROSATO, Donald y ROSATO, Dominick. Injection Molding Handbook. 2 ed. New York, USA. Chapman & Hall, 1995. 1145 p. ISBN 0-412-99381-3

SHAMES, Irving. Mecánica de Fluidos. 3 ed. Santafé de Bogotá, Colombia. McGraw Hill, 1995. 827 p. ISBN 0-07-056387-X

STREETER, Victor; WYLIE, E.Benjamin y BEDFORD, Keith. Mecánica de Fluidos. 9 ed. Santafé de Bogotá, Colombia. McGraw Hill, 2000. 741p. ISBN 0-07-062537-9

WARK, K. Termodinámica. 4 ed. México, D.F, México. Calypso, S.A, 1984. 905 p. ISBN 968-451-563-4

REVISTAS

Fundación ASCAMM. La importancia de la refrigeración del molde en el proceso de inyección de material plástico. En: Informador técnico. Vol. 0, No. 67 (2003); p. 2 - 8. ISSN 0122-056X

ZÖLLNER, Olaf. Optimised Mold Temperature Control. En: Application Technology Information 1104 d, e. Bayer Plastics Business Group. (1997). 64p.

INTERNET

Afaccini@
Torres de enfriamiento. Disponible en:
<http://www.afaccini.com/torres.asp>

Chillers@
Energy Expertise: Energy Efficiency of HVAC – Chillers. Disponible en:
http://www.alliantenergy.com/stellent/groups/public/documents/pub/bus_exp_eff_012393.hcsp

Ratings@
Efficiency Ratings. Disponible en:
http://www.cwlp.com/Energy_services/efficiency_ratings.htm#EER

Reps@
Central Coolant Systems. Disponible en:
<http://fp.repsuk.plus.com/articles/centcool.htm>

PROYECTOS DE GRADO

RAVE, Andrés y VÁSQUEZ, Alejandro. Desarrollo de una herramienta para el diseño de sistemas de refrigeración de plantas de inyección de termoplásticos. Medellín, 2004, 145p. Trabajo de grado (Ingeniero Mecánico). Universidad Pontificia EAFIT. Facultad de Ingeniería Mecánica. Área de diseño.

CATÁLOGOS

MORA, Luis A. Dimensionado y selección de torres de enfriamiento. Universidad EAFIT. Departamento de Ingeniería Mecánica. Medellín, 1986, 19p

Nit

Razon Social

Direccion

Telefono

Pais Ciudad

Guardar Cancelar Salir

**IMPLEMENTACION MÉTODO
FLASH AUDIT**

JUAN DAVID ZAPATA CADAVID. jzapat13@eafit.edu.co
 SANTIAGO PÉREZ MEDINA. sperezme@eafit.edu.co
 Ing. LUIS ALBERTO MORA
 Departamento de Ingeniería Mecánica

Nit	Razon Social	Direccion	Telefono	Pais	Ciudad

ÁREA DE ÉNFASIS

MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

ASESOR PRINCIPAL

Ing. LUIS ALBERTO MORA

EMPRESA

PLÁSTICOS TRUHER S.A.

RESUMEN

Las empresas se están concientizando de la importancia que tiene el departamento de mantenimiento dentro del ciclo productivo y como es responsable de la prestación de servicios hacia las máquinas que maneja, de modo que permita al departamento de producción tener fiabilidad y confiabilidad en obtener las metas que se propone. Por otro lado la auditoría como herramienta de control ha ampliado su marco para convertirse en una evaluación más integral de toda la empresa.

Los sistemas informáticos son constituidos como una de las herramientas más poderosas para materializar uno de los conceptos más vitales y necesarios para cualquier organización empresarial, los sistemas de información de la empresa.

El método *flash audit* es un método de auditoría rápida el cual permite asegurar que la empresa siga correctamente un plan maestro en el área de mantenimiento, dicho método es analizado e integrado con la ayuda de un software para la realización de la auditoría en mantenimiento, evaluando todas las actividades que se desarrollan en función del mantenimiento, con el objeto de identificar áreas potenciales de mejora y recomendar un plan a seguir para cada uno de los puntos identificados y lograr un modelo de mantenimiento funcional y productivo.

La información obtenida a través de este software puede ser de gran utilidad para un auditor, sin embargo muchas veces tanta información complica un poco el análisis y la búsqueda de soluciones, es por esto que el mismo software recopila la información permitiéndole al auditor una mejor interpretación de la información.

ABSTRACT

They are the companies concientizar of the importance that has the department of maintenance inside the productive cycle and since it is responsible for the rendering of services towards the machines that he/she handles, so that it allows to the department of production to have reliability and reliability in obtaining the goals that one proposes. On the other hand the audit like tool

of control has extended his frame to turn into a more integral evaluation of the whole company.

The computer systems are constituted as one of the most powerful tools to materialize one of the concepts most vital and necessary for any managerial organization, the systems of information of the company.

The method flash audit is a method of rapid audit which allows to assure that the company to continue correctly a main plan in the area of maintenance, the above mentioned method is analyzed and integrated (repaid) by the help of a software for the accomplishment of the audit in maintenance, evaluating all the activities that develop depending on the maintenance, in order to identify potential areas of improvement and to recommend a plan to continue for each of the identified points and to manage a model of functional and productive.

The information obtained across this software can be of great utility for an auditor, nevertheless often so much information complicates a bit the analysis and the search of solutions, is for this that the same software compiles the information allowing a better interpretation of the information to the auditor.

PALABRAS CLAVES

Programación, Sistema, Método, Empresa, Producción, Gerencia, Mantenimiento, Auditoria

KEY WORD

Programming, System, Method, Company, Production, Management, Maintenance, Audit

INTRODUCCIÓN

La globalización implica que la industria se someta a las normas internacionales acerca de una producción estandarizada. Pero lo que busca la verdadera gestión de mantenimiento no es tratar de llegar a cumplir con las normas de una forma acomodada, sino que la calidad debe ser el accidente, que no sea el camino, sino el fin, por tanto la auditoría de mantenimiento no

se debe centrar solo en buscar resultados en torno a condiciones ideales de producción, sino en la medida que la manufactura logre los cometidos de los objetivos establecidos, la calidad es una consecuencia de ello. Es ver la calidad como destino, no como camino.

Las empresas ven la necesidad de realizar auditorias para buscar el mejoramiento continuo, por esta razón el *flash audit* es una herramienta muy utilizada para facilitar a las empresas el manejo de información y la forma de realizar las auditorias.

El proceso de la auditoria en mantenimiento se inicia con la toma de información en planta a través de entrevistas, análisis de información técnica y observación directa de los equipos. Se analizan los sistemas administrativos y técnicos empleados para gestionar las operaciones de mantenimiento; se evalúa la organización de mantenimiento, sistemas de información, diseño de estrategias de mantenimiento, gestión de equipos, procesos de planificación y programación, y control de ejecución. También se analiza la formación del talento humano y otros factores relacionados con la ingeniería de mantenimiento.

AUDITORÍA

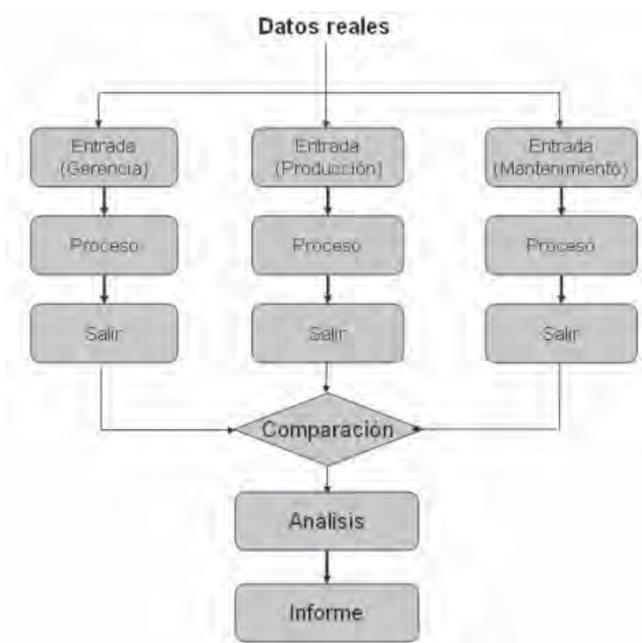
Auditoria es una actividad documentada que se realiza para determinar mediante investigación, examen y evaluación de evidencias objetivas el cumplimiento de procedimientos establecidos, instrucciones, especificaciones, códigos, normas, programas operativos o administrativos y otros documentos aplicables, así como la efectividad de su implementación.

FLASH AUDIT

El *flash audit* para mantenimiento es una metodología inglesa para auditar el área de mantenimiento, la cual permite evaluar de una forma integral y detallada casi todas los parámetros empresariales de mantenimiento; al evaluar diferentes tópicos de mantenimiento mediante aproximadamente cuatrocientas (400) preguntas que miden doce componentes básicos de mantenimiento, sus resultados se entregan en forma numérica y de radar; las

personas que participan son funcionarios de mediano y alto rango de las áreas de producción, mantenimiento y gerencia de planta.

ILUSTRACIÓN 1
Esquema metodología *flash audit*



REDISEÑO DEL FLASH AUDIT

El rediseño consiste en una modificación del *flash audit*, para poder utilizarlo y aplicarlo en nuestro medio, comenzando con su traducción y con la interpretación adecuada de las preguntas. Teniendo en cuenta que para traer una metodología nueva a nuestro medio, es a veces bastante complicado ya que la industria no se encuentra tan desarrollada como la extranjera, sin embargo muchas de estas metodologías pueden dar nuevas ideas para el continuo mejoramiento y permitir alcanzar un nivel similar o superior.

DESARROLLO DE SOFTWARE

El propósito de crear un software para este tipo de auditoría es presentar un modelo donde tanto el auditor como la persona auditada tengan un ambiente más flexible y más agradable al momento de desarrollar el proceso. El software permite tener de una forma sistematizada todo el contenido de la auditoría facilitando así la recolección de información y permitir una mejor interpretación de los resultados.

El programa que se seleccionó para desarrollar el software fue Visual Basic 6.0 el cual se basa en la programación orientada a Word, Excel y PowerPoint. El programa además de tener una mejor comunicación con el usuario, permite llevar registros históricos de las empresas, para así ir comparando la evolución de éstas.

ILUSTRACIÓN 2. Estructura para las preguntas del *flash audit* modificado

Vinculos entre Producción y Mantenimiento
Comunicación y relaciones
Pregunta

Hay una línea de comunicación entre usted (Mantenimiento) y el personal de producción

Si, siempre
 Eventualmente
 No, nunca

<<< Atras Siguiente >>> Salir

IMPLEMENTACIÓN DEL MÉTODO FLASH AUDIT EN UNA EMPRESA

La implementación de la metodología *flash audit* dentro de una empresa busca fundamentalmente analizar el estado de la gestión de mantenimiento de dicha empresa fundamentados en tres puntos de vista; mantenimiento, producción y gerencia.

PLÁSTICOS TRUHER S.A. es la empresa a la cual se le implementó el método *flash audit* para mantenimiento; tiene un tiempo en el mercado de 46 años y actualmente cuenta con 336 trabajadores.

TABLA 1. Promedio de resultados

PROMEDIO Temas	Total	
	Puntaje %	Espacios a mejorar (%)
Vínculos entre producción y Mto	52.45	51.47
Percepción de las Jerarquías Superiores de Mto.	63.26	40.59
Percepción del depto de Mto. para el Mto.	54.94	48.15
Conocimiento de la disponibilidad del equipo	54.29	49.24
Conocimiento de los costos de Mto.	37.50	70.00
Métodos y preparación	48.91	57.32
Planeación (Programación y horarios de trabajo)	53.14	49.64
Manejo de existencias (Stock)	24.85	77.73
Quién hace qué (Relación con la carta de organización)	66.67	36.21
Recursos humanos de Mto.	59.80	41.91
Recursos de materiales	52.26	49.38
Entrenamiento y Capacitación	33.33	63.89
TOTAL	49.86	53.27

CONCLUSIONES

El departamento de mantenimiento es una entidad fundamental en asegurar la productividad y disponibilidad de las máquinas y herramientas, de cual depende, principalmente, el departamento de producción y en adelante todo el ciclo productivo.

Los criterios o factores de evaluación que son aplicables a un departamento de mantenimiento son variables y, de alguna forma, subjetivos al seleccionarlos. Pero esta elección se debe volver objetiva cuando se identifican las necesidades que se tiene y se proyecta las conclusiones que se desean obtener.

La auditoría se fundamenta en tres elementos básicos: auditor, auditado y actividad. No se concibe la ausencia de uno de ellos y ambos, auditor y auditado, convergen en la actividad como la mínima expresión de la gestión.

El método flash audit en mantenimiento analiza las distintas áreas de trabajo del departamento de mantenimiento y determina cuales de ellas son susceptibles de mejoramiento.

Algunas de las preguntas no aplica para dicha empresa ya que al no manejar un mantenimiento preventivo, dichas preguntas se podrían anular. Además que hay algunas preguntas solo aplican para la cultura para la cual fue diseñada esta metodología y no aplican para otras culturas.

BIBLIOGRAFÍA

LIBROS

BAZOVSKY, Igor. - *Reliability Theory and Practice* Edit. Dover Publications Incorporated USA 2004 ISBN: 0486438678.

GARCÍA de Jalón Javier y otros. *Aprenda Visual Basic 6.0* (como si estuviera n primero), San Sebastián. 1999. 105p

GÓMEZ MORFIN, Joaquín. *Introducción a la Auditoría de Estados Financieros*. México, 1998. Capítulo VII.

KOONTZ, Harold y WEIHRICN, Heinz. *Administración: Una perspectiva global*. 11 ed. México D.F. México: Mc Graw Hill, 1998. 796 p.

MORA Gutiérrez, Alberto. *Mantenimineto estrategico para empresas de servicio y/o procesos industriales* Universidad EAFIT Medellín Colombia 2005. 280p

MORA Gutiérrez, Alberto. ¿..Será factible medir la gestión gerencial del mantenimiento..?. Universidad EAFIT Revista Universidad EAFIT Escuela de Administración y Finanzas y Tecnologías Número 0079 Medellín Colombia. Julio Agosto Septiembre - 1990 - ISSN: 0120-341X - Páginas 45 a 65.

NEWBROUGH, E. T. Personal de Albert Ramond y Asociados, Inc. *Administración del Mantenimiento Industrial*. Editorial Diana. Sexta Edición. México México 1982 – ISBN: 968-13-0666-X

PRADO, Raul R. Manual gestión de mantenimiento a la medida. Guatemala: Piedra Santa, 1996. 99 p.

RICARDO, David. *On the principles of Political Economy and Taxation*. Reproducido al español por Editorial Ayuso, Madrid España. Original escrito en Londres Inglaterra 1817.

RODRÍGUEZ Bucarely, Carlo M. Visual Basic 6.0 Programación orientada a objetos. Primera edición, 2004.

RUDELL Reed, Junior – *Location, Layout, and Maintenance* - Editorial Richard D. Irwin - Traducido en 1971 al castellano como Localización, Layout y Mantenimiento de Planta por Juan J. Thomas en la Editorial Librería El Ateneo de Buenos Aires (Argentina) Editorial Richard D. Irwin Homewood Illinois USA 1967

SALDARRIAGA J., Juan Diego y BOTERO D., Andrés Felipe. Diseño y desarrollo de un modelo de auditoría a la gestión de un departamento de mantenimiento. Medellín, 2001, 271p. Proyecto de grado (ingeniería mecánica). Universidad EAFIT. Departamento de ingeniería mecánica.

ZAVARO, L. y MARTÍNEZ, C. Auditoría Informática, Cuba, 1999.

INTERNET

AMMEDOLA@2005

Indicadores de confiabilidad propulsores en la gestión del mantenimiento [citado 30 de septiembre 2005] Disponible en Internet: <<http://internal.dstm.com.ar/sites/mmnew/bib/notas/propulsores.asp>>

DUQUE MÉNDEZ, Néstor Darío. Auditoría de Sistemas [citado el 2 de octubre 2005] Disponible en Internet: <<<http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/manizales/4060035/index.html>>>

FABRES, José Luis. Auditoría de gestión de mantenimiento [en línea]. 1991 [citado en Abril 01 2005] Disponible en Internet: <<http://www.mantenion.com/articulos/rev06.html/Art.2.r6.html>>

FLASH AUDIT

Método ingles para el análisis y diagnóstico de mantenimiento – Citada por Juan Diego Saldarriaga J. & Andrés Felipe Escobar D. en su proyecto de grado de fin de carrera de Ingeniería Mecánica titulada *Diseño y desarrollo de un modelo de gestión de auditoría a la gestión a un departamento de mantenimiento* – páginas 3.8 y 3.9 - Universidad EAFIT con Luis Alberto Mora Gutiérrez como Asesor – Medellín – Colombia – <http://www.maintenance-tv.com/world/mtv/selfaudit/selfaudit.htm> - 2001

GIOVANNY@2005

La auditoría: Un examen exhaustivo de la actividad empresarial. [Citado el 5 de Septiembre de 2005]. Disponible en Internet: <<http://www.gestiopolis.com/canales/financiera/articulos/no%206/auditoria.htm>>

MENDIBURU@2005

Operaciones de mantenimiento [citado 25 de septiembre 2005] Disponible en Internet: <<http://www.monografias.com/trabajos13/opema/opema.shtml#ti>>

QUINN@2005

La auditoría informática dentro de las etapas de análisis de sistemas administrativos

[Citado el 27 de Agosto de 2005]. Disponible en Internet: <<http://www.monografias.com/trabajos5/audi/audi.shtml>>

RIVAS, Catalina de las Casas

La auditoría en el contexto actual [citado el 2 de octubre 2005] Disponible en Internet: <<<http://www.gestiopolis.com/recursos/documentos/fulldocs/fin/auditcontxactual.htm>>>

SCIENCE@2005

El concepto actual de gestión de mantenimiento [citado 14 de septiembre 2005] Disponible en Internet: <http://www.science.oas.org/OEA_GTZ/LIBROS/Manten_medida/ch2_ma.htm>

DESARROLLO DE UN PROCESADOR COMPUTACIONAL DE SEÑALES APLICADO AL DIAGNÓSTICO TÉCNICO

RICARDO ANDRÉS GUERRERO BAHAMON. rguerrer@eafi.edu.co
Ing. FRANCISCO JAVIER BOTERO HERRERA
Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS

MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

ASESOR PRINCIPAL

Ing. FRANCISCO JAVIER BOTERO HERRERA

SECTOR BENEFICIADO

UNIVERSIDAD EAFIT

RESUMEN

En este artículo se establecen el procedimiento para el desarrollo del software de análisis de señales. Se definen los conceptos sobre los cuales se fundamentan cada uno de los estimadores de diagnóstico y se validan mediante pruebas en una unidad de bombeo.

De los resultados obtenidos se extraen conclusiones sobre los estimadores más representativos en el diagnóstico para el caso específico.

ABSTRACT

This article establishes the procedure for the analysis signal software development. It defines the concepts which is based each one of the diagnosis methods and they are validates thru a pump unit test.

Whit the getted results it is obtains a conclusion about which methods are more representative in the diagnostic, for a specific case.

PALABRAS CLAVES

Diagnostico, señales, métodos, estimadores, espectro, software, escalar, función.

KEYWORDS

Diagnostic, signal, methods, estimator, spectrum, software, scalar, function.

INTRODUCCIÓN

Las nuevas técnicas de mantenimiento en las empresas se han enfocado en identificar métodos que permitan establecer patrones de fallo en los componentes de la maquinaria. Cada vez más, los esfuerzos de investigación se han concentrado en establecer herramientas eficientes y acertadas en la detección de fallos. A raíz de esto, han surgido innumerables teorías en donde los autores tratan de expresar de una manera convincente, las ventajas que cada uno de sus métodos ofrece y cómo este puede llevar a establecer nuevos parámetros de diagnóstico.

Este es el punto de partida en el proyecto de grado, realizar una recopilación de los estimadores representativos en el diagnóstico y por medio de aplicaciones practicas establecer las principales utilidades y ventajas que estos ofrecen. Así, el software se convierte en una herramienta muy valiosa que no simplemente sirve como un analizador de señales aplicado a un tipo específico de maquinaria,

sino que está en la capacidad de interpretar señales en el tiempo e identificar sus propiedades y determinar las condiciones actuales.

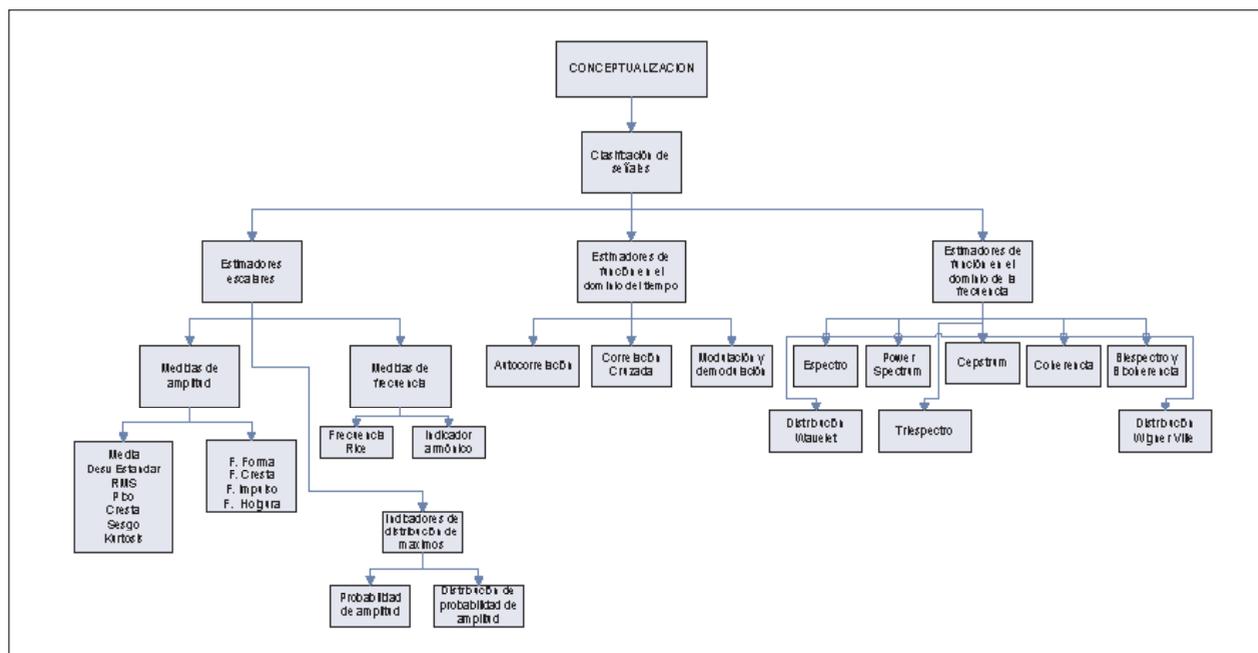
CONCEPTUALIZACIÓN DE LOS ALGORITMOS DE PROCESAMIENTO

Una señal se define como una cantidad física que varía con el tiempo, el espacio o cualquier otra variable o variables independientes. Estas pueden ser ampliamente

clasificadas en determinística o no determinística (aleatorias).

Tomando como base esta clasificación, se establece un punto de partida para determinar estimadores sobre cada uno de los tipos de señal de acuerdo a su comportamiento ya sea como un valor escalar, una función en el tiempo o la frecuencia. La ILUSTRACION 1. presenta un diagrama de flujo sobre cada uno de los estimadores desarrollados en el programa.

ILUSTRACIÓN 1. Conceptualización de los métodos



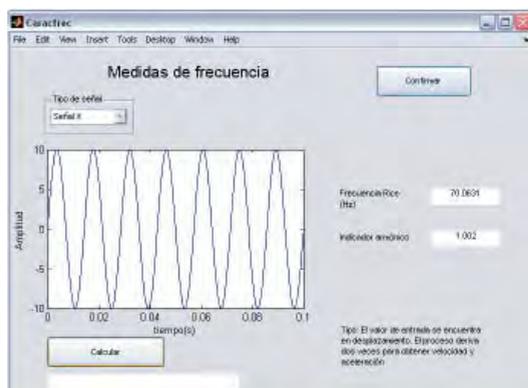
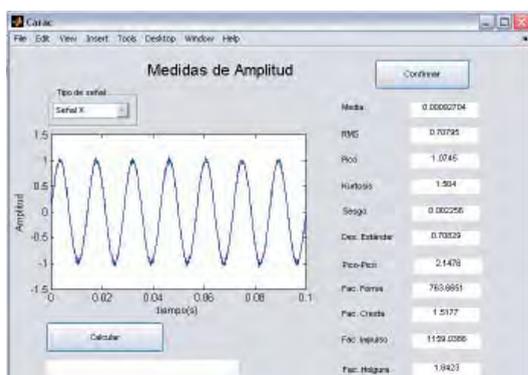
Estimadores escalares

De acuerdo al tipo de señal sobre la cual se está trabajando, es posible establecer estimadores escalares que permitan definir patrones de comportamiento dentro de la señal. Estos estimadores se dividen en tres grupos principales:

- Estimadores o medidas de amplitud: Representan la forma y la distribución de la señal en el tiempo con respecto a la amplitud. Entre estos se destacan la media, la kurtosis, el sesgo, el factor de cresta, forma, holgura...
- Estimadores o medidas de frecuencia: Representan la distribución de frecuencias dentro de la señal. Se destacan la frecuencia Rice y el factor de holgura.
- Indicadores de distribución de máximos: Los parámetros estadísticos como lo son la función de probabilidad de amplitud y la densidad de probabilidad de amplitud permiten definir el comportamiento de la variable en el tiempo, tomada desde el punto de vista probabilística.

ILUSTRACIÓN 2

Estimadores escalares de amplitud y frecuencia



Estimadores de función en el dominio del tiempo

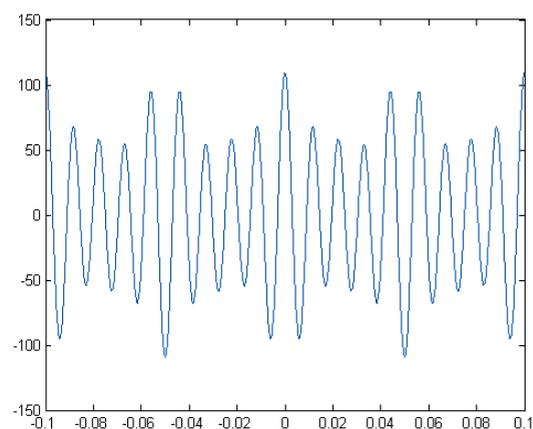
Los estimadores en el dominio del tiempo procesan la señal sobre los valores obtenidos durante la captura y permiten la visualización del comportamiento de los datos en el tiempo. Estos estimadores se dividen en dos grupos principales:

- **Correlación de señales:** Se aplica a las formas de onda de vibración, la correlación es un análisis del dominio de tiempo para detectar las señales periódicas ocultas en el ruido de la medida y el tiempo de propagación a través de la estructura. El objetivo de la correlación es medir el parecido que existe entre dos señales y así extraer la información que dependerá de la aplicación concreta considerada. (Proakis, 1998, 118).
- **Métodos de envolvente:** El análisis de la envolvente es una técnica para analizar los cambios de amplitud

de las señales vibratorias, en especial, determinar si estos cambios son periódicos o aleatorios y si son periódicos determinar su frecuencia de repetición. Entre este grupo se caracterizan las modulaciones y demodulaciones.

ILUSTRACIÓN 3

Autocorrelación de una señal simulada



Estimadores de función en el dominio del tiempo

Los estimadores de frecuencia me permiten determinar la significancia de los datos asociados a cambios de frecuencia. Entre los principales estimadores se destacan:

- **FFT y Power Spectrum:** Corresponden a la representación de la señal en el tiempo en el dominio de la frecuencia. El Power Spectrum se obtiene de multiplicar el espectro por su conjugada.
- **Cepstrum:** Es conocido como el espectro del espectro.
- **La coherencia:** Es el promedio de la transformada de Fourier de la auto-correlación normalizada.
- **Biespectro, Triespectro y coherencia:** Son métodos para identificación de acoplamientos y no linealidades dentro de la señal.
- **Análisis no estacionario de señal:** Estos métodos permiten obtener valores de señales modificando su resolución durante el procesamiento. Se destacan los métodos Wavelet y Wigner Ville.

ILUSTRACIÓN 4
Espcetro y Wigner Ville de una señal simulada

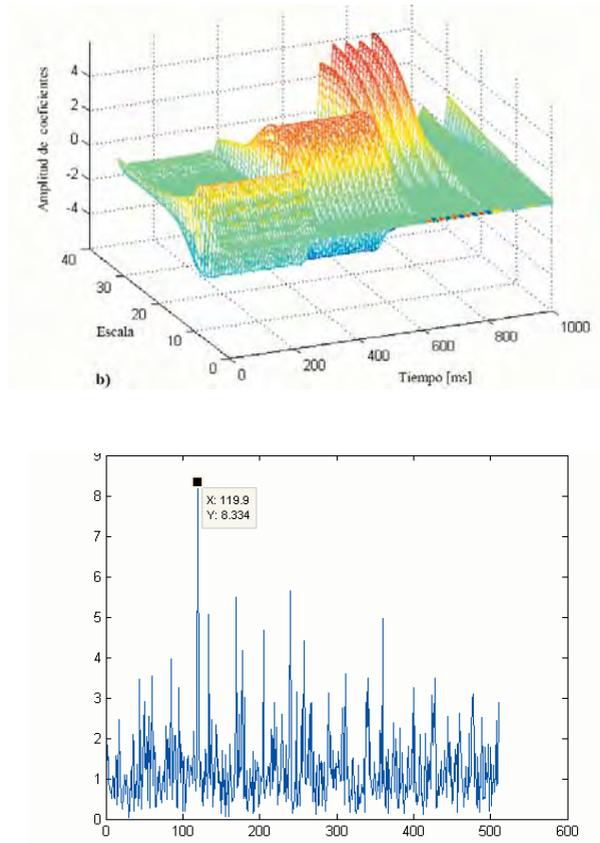
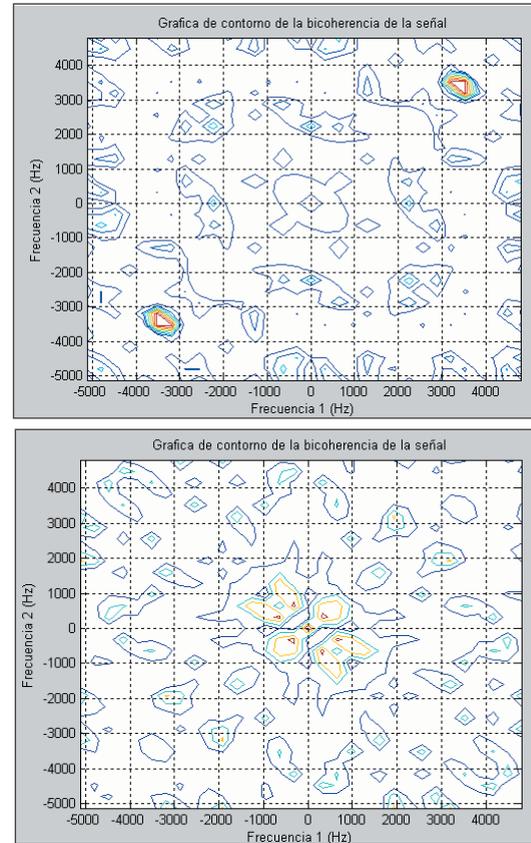


ILUSTRACIÓN 5
Bicoherencia de la señal antes y después de fallo



VALIDACIÓN DEL PROCESADOR DE SEÑALES

El software se valida sobre el sistema de bombeo ubicado en el laboratorio de hidráulica de la universidad EAFIT en donde se simula un estado de cavitación. La estructura de la prueba establece el comportamiento de los estimadores ante una falla inminente. La validación de los datos permite evaluar para cada estimador su variación con respecto a cambios en las condiciones de operación.

CONCLUSIONES

Se diseñó un software que permite realizar un procesamiento de señales con base en el diagnóstico técnico. El software posee una interfaz que permite un acceso rápido a los diferentes estimadores definidos en el desarrollo del proyecto de grado.

El programa se define como un compilador de estimadores que permite al usuario establecer un punto de vista comparativo en el diagnóstico técnico y establece prioridades en el momento de definir con cuál procesamiento es más fácil llegar a un resultado asertivo.

El caso utilizado para la comprobación presenta un estado de cavitación en un sistema de bombeo y realiza

el procesamiento sobre los métodos más representativos. Para el ejemplo específico se observa una mayor significancia en los estimadores asociados a cambios en la frecuencia y amplitud como lo son los espectros, las medidas de frecuencia y amplitud entre otros. Por ser un sistema lineal en su funcionamiento, los procesamientos asociados a la linealidad del sistema como lo son el bispectro, la bicoherencia o el trispectro pierden valor dentro del diagnóstico.

RECOMENDACIONES

El procedimiento para ejecución de cada una de las ventanas se debe seguir de una manera adecuada, es importante verificar antes de la ejecución de cualquier programa que se tenga la información correspondiente.

NUEVAS VÍAS DE DESARROLLO

El software se encuentra enfocado en el procesamiento de las señales, sin embargo la adquisición de la información esta ligada a un modulo en otro programa. Como nueva vía de desarrollo es viable evaluar la obtención de datos mediante MATLAB y creando una interfaz con el software, asegurar la correcta interpretación de la información.

BIBLIOGRAFÍA

- BOTERO, Francisco Javier. 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. 172p
- BURNETT, Lindsay. Application of artificial intelligence in machine condition monitoring: Historical Background, Feature extraction algorithms. Liverpool, Inglaterra: Universidad de Liverpool, 2000. 192p
- COLLIS, W. B., WHITE, P. R. Higher Order Spectra: the Bispectrum and Trispectrum. Mechanical Systems and Signal Processing, Vol. 12(3), 1998, 375p.
- HERNANDEZ, Fidel , ATXA, Vicente. Diagnóstico de maquinarias rotativas aplicando técnicas clásicas y avanzadas de análisis de vibraciones: Resultados obtenidos. 2000. 11p
- _____. Application of median-based cyclic polyspectrum estimation on bearing diagnosis by vibration análisis: Survey of cyclostacionary processing. 2002.
- _____. Análisis de vibraciones para el diagnóstico aplicando procesamiento estadístico de orden superior. 2000. 6p
- FERNÁNDEZ, Jesús Manuel. Design of a diagnosis system for rotating machinery using fuzzy pattern matching and genetic algorithms: Vibration Analysis for rotating machinery diagnosis. Japón: Instituto tecnológico Kyushu. 1998. 70p.
- ESHLEMAN, Ronald. Vibraciones básicas de máquinas. USA: Vibration Institute: 1998:4.15p.
- ESTUPIÑÁN, Edgar, SAAVEDRA, Pedro. Análisis de vibraciones aplicado a las máquinas rotatorias de baja velocidad: Introducción. 1999. 6p.
- NIKIAS and A, P, PETROPULA. Higher Order Spectra Analysis, A Non-linear Signal.Processing Framework, Prentice Hall, 1993.
- PIÑEYRO, Juan J, KLEMPNOW, Andreas, LESCANO, Vicente. Análisis de señales: Aplicaciones en el área de las vibraciones mecánicas. Buenos Aires, Argentina: Universidad tecnológica nacional. 2002. 71p
- SAAVEDRA, Pedro, ESTUPIÑÁN, Edgar. Impacto del mantenimiento proactivo en la productividad: Introducción. Chile: Universidad de Concepción. 10p
- SILVA, A, IRMAO,M. Comparación de Representaciones Tiempo-Frecuencia Aplicadas en la Simulación y Análisis de Fallas en Sistemas Engranados. Información Tecnológica - Vol. 15 N°5-2004. 5p.

BENDAT, Julius. Engineering Applications of Correlation and Spectral Analysis. USA: 1980. 3era Ed. 437p. ISBN 0-47-157055-9

CHUGANI, Mahesh; SAMANT y CERNA. LabView Signal Processing. New York, USA: Prentice Hall PTR, 1998. 1a Ed. 634p. ISBN: 0-13-972449-4.

THOMSON, William T. Teoría de vibraciones: Transformada de Fourier. México: Prentice Hall, 1982. 2ª Ed. 485p. ISBN 0-13-906651-9.

PROAKIS, John. Tratamiento digital de señales. Vigo, España: Prentice Hall, 1998, 3ª Ed. 125p. ISBN 84-8322-000-9

MODELO REGRESIVO DE DIAGNÓSTICO TÉCNICO PARA LA INTERFASE VÍA-VEHÍCULO DE UN SISTEMA FERROVIARIO

JUAN SEBASTIAN ORTIZ CALVO. jortizc1@eafit.edu.co
Departamento de ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS

MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

ASESOR PRINCIPAL

Ing. LEONEL FRANCISCO CASTAÑEDA

EMPRESA

UNIVERSIDAD EAFIT

RESUMEN

El diagnóstico técnico evalúa la condición de los sistemas tecnológicos en el transcurso de su ciclo de vida, esta evaluación determina el estado técnico en el sistema y permite corregir las causas de su origen de modo que se pueda omitir futuras fallas.

Este artículo muestra las aplicaciones prácticas de los modelos de regresión aplicados al diagnóstico técnico, para este caso el sistema técnico analizado se encuentra en la interfase vía-vehículo de un sistema ferroviario, así pues se busca encontrar los parámetros de diagnóstico que mejor describen la condición actual de la vía.

ABSTRACT

The technical diagnostic evaluate the technological system conditions through life cycle, this evaluation determine the technical state and allow to correct the causes of their origin in the way that it can omit future fault.

This paper show the practical applications of models regressive applied to technical diagnostic, for this cause the technical system analyzed its found in the interphase track-vehicle of a railway system, thus it try to find the diagnostic parameters that the describe better the actual conditions of the track.

PALABRAS CLAVE

Modelo regresivo, parámetro de diagnostico, Variable de estado, coeficiente de correlación, coeficiente de Determinación.

KEYWORD

Regressive model, parameters diagnostic, variable state, correlation coefficient, determination coefficient.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El objetivo de este proyecto se encuentra en implementar las cualidades de un estudio de regresión con el fin de relacionar los variables de estado que describen la condición de la vía con los parámetros de diagnóstico que son medidas de tendencia central muy utilizadas en diversas áreas del conocimiento, esta información es calculada a partir de mediciones en la interfase vía-vehículo a lo largo de un recorrido. Esto permitirá que un parámetro de diagnóstico describa varias de estas variables de estado con el solo hecho de haber realizado estas mediciones, ahorrando en muchas ocasiones tiempo en horas de mantenimiento y permitiendo atacar los problemas presuntos de fallo con certeza.

METODOLOGÍA

El proceso metodológico que se implementó fue básico y elemental, el cual corresponde a cualquier tipo de análisis regresivo, donde se hallan los coeficientes de correlación que permite hallar la relación lineal directa entre dos variables, se lleva a cabo la regresión para estas variables que tenga un coeficiente alto y se halla el coeficiente de determinación que permite hallar en que porcentaje la curva de regresión se ajusta a las observaciones medidas.

Por último se analizan las probabilidades de los coeficientes beta, que son definidas con un concepto elemental de pendiente. Que tan probable es el cambio en el parámetro de diagnóstico con respecto al cambio en la variable de estado.

A continuación se muestra todo el proceso para encontrar una relación directa entre variables.

NORMALIZADO

Los valores dentro de la matriz de parámetros de diagnóstico y la matriz de variables de estado tienen diferentes orígenes físicos como la temperatura y vibración entre otros, por lo tanto estos valores tendrán distintas unidades físicas, rangos y valores iniciales diferentes al comienzo del monitoreo. Debido a esto la normalización se lleva a cabo con respecto al valor inicial, es decir asumiendo que el sistema es nuevo o que está recién reparado.

El objetivo de normalizar radica en estandarizar las distintas variables ya que al hacerlo se transforma el conjunto de datos en otro, esto con el fin de tener un mejor manejo y control sobre las variables evitando cálculos engorrosos los cuales no se entrara a discutir en este documento.

CORRELACIÓN

En el contexto del análisis de la regresión lineal simple el coeficiente de correlación múltiple establece una medida del grado de asociación lineal entre la variable respuesta

y la variable predictora, concretamente entre la variable respuesta y la recta de regresión estimada. Se define, a partir de los n pares de observaciones, mediante:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

COEFICIENTE DE DETERMINACIÓN

Esta es la principal forma en que se puede medir la extensión o fuerza, de la asociación que existe entre dos variables, X y Y, El coeficiente de determinación se desarrolla de la relación entre dos tipos de variación: la variación de los valores Y en un conjunto de datos alrededor de:

- La línea de regresión ajustada
- Su propia media.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

El siguiente gráfico corresponde a mediciones realizadas a la interfase, de acuerdo a la configuración en los canales de medición, la matriz de la variable de estado y el tramo analizado se tiene que:

Variable de estado: corrugación.

Curva radio $\geq 400 < 600$.

Correlación: 0.9

Canal: \ddot{y}_1^+

y : Índice Armónico

x1: RMS_H.Alto30-100

x2: RMS_H.Alto100-300

x3: %E_H.Bajo30-100

x4: %E_H.Bajo100-300

Tipo de regresión: Lineal Múltiple

$y = 15.8963 + 17.0037 * x_1 - 0.11664 * x_2 -$

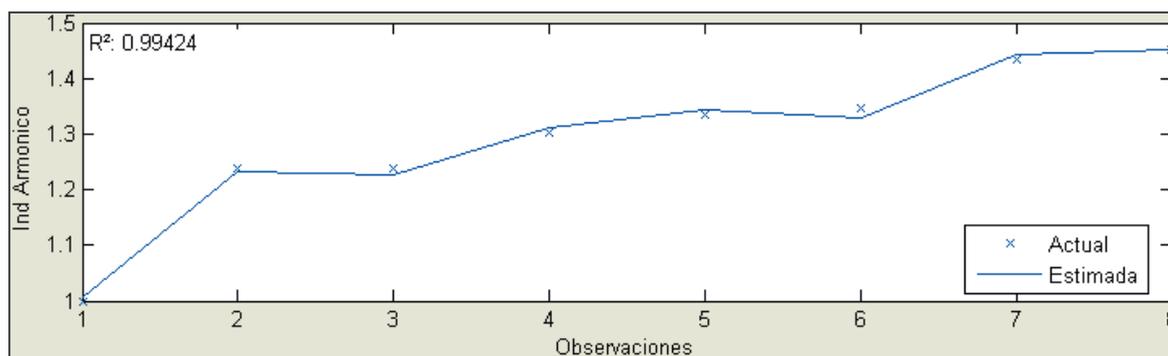
$1.4521 * x_3 + 1.7472 * x_4$

R^2 : 0.99424

Pval: 0.0016059 0.0012318 0.0075056 0.00075219
0.0010934

El gráfico de la ilustración 1 muestra una regresión lineal múltiple con un ajuste casi perfecto, muestra de ellos es que existe un alto coeficiente de determinación que así lo demuestra, además las probabilidades son contundentes para cada uno de los coeficientes de regresión demostrando así que el índice armónico es significativo para las variables de estado en cuestión.

El valor probabilístico de los coeficientes beta son importantes por que permiten orientar el análisis de tal forma que se puedan omitir variables que solo aportan ruido a la regresión, estos valores indican que tan sensible es la variable dependiente Y (Parámetro de diagnóstico) a los cambios en la variable independiente X (variable de estado).



CONCLUSIONES

Se realizó una descripción general sobre los diferentes modelos de diagnóstico que definen el estado de los sistemas técnicos, de este modo se identificó el modelo regresivo como un modelo sintomático, el cual relaciona las variables de estado de condición con los parámetros de diagnóstico los cuales permiten detectar fallos que se pueden presentar dentro del sistema.

Mediante los ejercicios realizados se logró identificar parámetros de diagnóstico que permiten representar algunas de las variables de estado técnico asociadas a la corrugación de la vía. Sin embargo los ejercicios que se realizaron aunque arrojaron buenos resultados deben extenderse para todas las unidades con el fin de obtener mayor certeza para la selección de un parámetro de diagnóstico que represente varias variables de estado.

Parámetros de diagnóstico como el sesgo, el índice armónico, y la desviación estándar, hacen parte de los parámetros que preliminarmente pueden indicar las características de la condición de la vía en lo que respecta a la corrugación.

Los valores medidos a la interfase se ajustaron muy bien al modelo regresivo en especial los valores de la corrugación, existen otros tipos de matriz de estado que se pudieron

haber utilizado pero que no se llevó a cabo, ya que los resultados arrojados no eran buenos, esto no significó que el modelo estuviera mal, sino que simplemente fueron muy pocas las relaciones directas que se encontraron entre los parámetros de diagnóstico y las matrices de variables de estado concernientes a la geometría de la vía.

Las probabilidades de los coeficientes beta permitieron estimar para este proyecto si el cambio de las variables de estado eran significativos para el parámetro de diagnóstico en cada uno de los ejercicios, esto permitió tener una mayor certeza sobre el análisis y control sobre las regresiones ya que como se observó existían muy buenos índices y coeficientes de correlación pero estos eran contrariados por los valores probabilísticos.

RECOMENDACIONES

El uso de la regresión lineal es utilizado en diversas áreas del conocimiento, y en esta ocasión forma parte del proceso de análisis de la interacción entre el vehículo y la vía, al momento de decidir trabajar con estos modelos matemáticos es importante ser muy cuidadosos con la parte teórica y conceptual ya que el buen entendimiento de este primer paso facilita el trabajo principalmente en lo que refiere a la parte de programación.

Como futuras aplicaciones y versiones futuras de este programa se sugiere mejorar la parte concerniente a la interfase con el usuario en especial la sección de los modelos regresivos y selección de los datos a graficar ya que puede haber un momento en que el usuario puede sacar conclusiones inválidas por el simple mal manejo del programa.

La posibilidad de guardar los datos de interés sería una forma valiosa de ahorrar tiempo, ya que existe siempre la posibilidad de olvidar las rutas de acceso y perder la configuración de la información analizada en un estudio preliminar.

La versión de matlab debe ser 7.0.1 o una mas actual, debido a esto suelen ocurrir errores que son inherentes al programa, se debe seguir un protocolo específico para la utilización de este ya que un mal uso termina en resultados incoherentes e inesperados.

Los distintos métodos de regresión fueron probados y demostrados previamente a ser programados, sin embargo en muchas ocasiones los resultados no fueron concluyentes, esto debido a factores de diversa índole y que pueden estar asociados a la adquisición de los datos, a procesos de manejo de información, a errores de programación, o simplemente porque el modelo no se acopla y no representa una variable con respecto a la otra.

Debido a la cantidad de información que se puede llegar a capturar el análisis de regresión debe hacerse aun más extensivo, para realizar una aseveración y

concluir en una relación directa entre dos variables. Los ejercicios realizados deben extenderse a la totalidad de las unidades ya que en este proyecto sólo se trabajo con mediciones pertenecientes a una sola unidad.

NUEVAS VÍAS DE DESARROLLO

Este proyecto de investigación tiene como finalidad servir de ayuda a futuras investigaciones de desarrollo en el área del diagnóstico técnico, con el fin de expandir el estudio del monitoreo a partir de la evolución de las condiciones físicas de los sistemas técnicos.

Existe diversidad de modelos de regresión que se pueden aplicar a este trabajo y cuyos resultados podrían explicar mejor las tendencias en las nubes de puntos adquiridas por la información medida, las fuentes de consulta pueden ser útiles para posteriores investigaciones con el fin de hacer mejoras en el rediseño posterior del modelo de diagnóstico.

El objeto de estudio de este proyecto es la interacción entre la vía y el vehículo del Metro de Medellín pero en realidad esta diseñado con el fin de ser versátil en su implementación, así, este programa puede funcionar con cualquier sistema técnico como sistemas de bombeo y equipos industriales.

BIBLIOGRAFÍA

Diagnóstico de Regresión para modelos lineales, función Regstats, [Citado el 13 de septiembre de 2005]. Matlab Ayuda, Versión 7.0.1

WHITE, Darris. Statistical characterization of vehicle and track interaction using rail vehicle response and track geometry measurements, Virginia usa, 1998, p.12-21.

ZOLTOWSKI, Bogdan. Podstawy Diagnostyki Maszyn. Wydawnictwo Uczelniane ATR: Bydgoszcz, Polonia. 1996, ISBN 83-900853-9-9.

ESTADO ACTUAL DE LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO DE LAS PYMES DEL SECTOR METALMECÁNICO DEL VALLE DE ABURRÁ

ALEJO DE LA TORRE URIBE, adelator@eafit.edu.co
OSCAR ALEJANDRO VÉLEZ TORRES, ovelezto@eafit.edu.co

Ing. LUIS ORLANDO MÁRQUEZ VARGAS
Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS

MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

ASESOR PRINCIPAL

Ing. LUIS ORLANDO MÁRQUEZ VARGAS

SECTOR BENEFICIADO

PYMES DEL SECTOR METALMECÁNICO

RESUMEN

Este artículo es el resultado de una investigación de campo, la cual se acomoda a la temática sobre gestión de mantenimiento, en el primer caso para seleccionar las características más relevantes que se adoptan como variables de corte para conformar el estudio con el fin de determinar el estado actual de la gestión de mantenimiento de las Pymes del sector metalmeccánico.

ABSTRACT

This article is the result of an investigation, which is accommodated to the thematic on maintenance management, in the first case to select the characteristic's but prominent that are adopted like variable for conform the study in order to determining the present state of the maintenance management of the metal mechanics sector.

PALABRAS CLAVES

Pymes, gestión, mantenimiento, metalmeccánico.

KEY WORD

Pymes, management, maintenance, metal mechanics.

INTRODUCCIÓN

El proyecto se encuentra conformado en dos partes una de fundamentación teórica y conceptual que consta del primer capitulo y otra de desarrollo del trabajo mediante investigación científica que se compone de cinco capítulos, la cual recopila todos los resultados encontrados en área de gestión de mantenimiento del sector metalmeccánico.

GESTIÓN DE MANTENIMIENTO

La palabra gestión se relaciona con la dirección de empresas, aplicada a un sistema técnico y social cuya función básica es crear bienes y/o servicios que contribuyan a elevar el nivel de vida de la humanidad. La expresión empresa, se entiende como un conjunto formado por hombres, máquinas, tecnología, información, planeación y recursos financieros o de cualquier índole que procura alcanzar unos objetivos establecidos

con antelación (eficacia), utilizando adecuadamente los recursos disponibles (eficiencia) y protegiendo la naturaleza; a gestión es el integrador para lograr estas premisas (De Miguel, 1993).

Las características que definen los diferentes tipos de mantenimiento hacen que éstos no sean modelos rígidos, sino que dependen de la forma de administrar los criterios descritos a continuación, según las cantidades que se quiera aplicar a cada uno de ellos teniendo en cuenta la administración de los recursos.

Como definición general, el objetivo de mantenimiento es maximizar la disponibilidad de maquinaria y equipo para la producción, minimizando el abuso y el deterioro; lográndolo con el menor costo posible (Newbrough y otros, 1992).

TIPOS DE MANTENIMIENTO

- **Correctivo.** Este tipo de mantenimiento se limita a reparar cuando el equipo falla con el fin de conservarlo en buenas condiciones de operación, requiriendo mayor cantidad de personal, generando incumplimientos en producción debido a los paros de los equipos en tiempos no establecidos. Ocasionando además sobrecostos por reparaciones, y por la mala utilización del recurso humano; haciendo que la carga de mano de obra tenga que ser usada en horas no laborales (Cifuentes, 1998).
- **Programado.** En este tipo de mantenimiento se toma todo el equipo o partes significativas de éste cada determinada cantidad de horas o unidades de producción. Cuando se cumple un ciclo de vida útil para practicarle una reparación completa, o en algunos de sus componentes.
- **Preventivo.** Es realizado de forma sistemática con el fin de conservar las condiciones de operación óptima realizando prevención de daños, se trata de evitar averías basándose en la identificación de fallas y de sus posibles soluciones.
- **Predictivo.** Mantenimiento programado y planificado con base en el muestreo y análisis de variables que determinan el estado del equipo y que se monitorean

para predecir las fallas. Las variables a medir son vibraciones, temperatura, presión, velocidad, etc.

- **Productivo.** Esta basado en el análisis del proceso con base en información obtenida de la instrumentación del mismo, ya que estos datos muestran un buen trabajo de los equipos.

DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

Para la obtención de los resultados de este artículo se desarrollaron los siguientes pasos durante la investigación que permitieron seleccionar las variables importantes para medir el estado actual de la gestión de mantenimiento en las Pymes del Valle de Aburrá.

- **Paso 1 — Formulación del problema.** El problema radica en identificar las características de la gestión actual de mantenimiento.
- **Paso 2 — Lista de información a recolectar.** Se emplea como base de datos la guía telefónica e información suministrada por expertos en el área. Se calcula el tamaño estadístico muestral a partir de los resultados numéricos obtenidos en el paso anterior. Se diseña un cuestionario en donde los encuestados por medio de su experiencia y conocimiento lo responden. Se hace entrevistas directas por medio de la aplicación del cuestionario. Con la ayuda del software se logra identificar como es el estado actual de la gestión de mantenimiento
- **Paso 3 — Planeación del diseño de la investigación.** Las decisiones cursadas para llevar a cabo el trabajo empírico de investigación, en cuanto al tipo de investigación que se desea, la forma en que se recolectan los datos y el instrumento de investigación que se usa para encontrar cada uno de los datos requeridos.
- **Paso 4 — Proceso de muestreo.** El paso a desarrollar contiene la definición de todas las características relacionadas con el universo, tipo de muestreo, tamaño de la muestra, especificación del marco muestral, detalles del elemento muestral, plan de muestreo, etc., en sus diferentes facetas en las investigaciones a realizar.

CONCLUSIONES

- Se observa claramente que la mayoría de las Pymes del sector metalmecánico del Valle de Aburra no cuenta con un departamento de mantenimiento formalmente constituido, lo cual es una desventaja, ya que una buena gestión de mantenimiento es una estructura organizada y ejecutada con énfasis en el servicio y con modelos flexibles que involucran el resto de los departamentos de la empresa; permitiendo alcanzar niveles muy altos de estandarización (acogerse a normas internacionales) con mejoras en los volúmenes de producción y calidad, aumentando las ventas y disminuyendo los reprocesos.
- Tan solo el 34% de las Pymes del sector cuenta con personal capacitado, el resto de ellas cuenta con personal que ha adquirido su conocimiento a través de la experiencia acumulada durante años de trabajo en el mismo oficio.
- El 53% de las Pymes realiza capacitaciones solo cuando se requieren, un porcentaje alto en comparación con las Pymes que realizan capacitación permanente de su personal de mantenimiento.
- Las capacitaciones que recibe el personal de mantenimiento en el 40% de las ocasiones son dictadas por el mismo personal de la empresa, y a ese porcentaje podemos sumar otro más del 60% que son realizadas tanto internas como externas. Lo cual se torna preocupante pues a través de las capacitaciones externas es que se puede adquirir mayor capacitación, ya que es allí donde se está desarrollando permanentemente las nuevas tecnologías.
- En las Pymes del sector en un 90% las reparaciones de emergencia son realizadas por el mismo operario y un alto porcentaje realizan también la limpieza e inspección de los equipos así como de su lubricación.
- Es preocupante observar como el 69% de las Pymes del sector cuenta con maquinaria con antigüedad promedio de más de 10 años, equipos que ya están cercanos a llegar al final de su vida útil y algunos que ya la cumplieron y que aun continúan en funcionamiento.
- Cuando los equipos se paran por un daño en un porcentaje importante de las Pymes el equipo es reparado sin ninguna clase de control, y tan solo es llevado el control en un bajo porcentaje de estas.
- Cerca de la mitad de las Pymes del sector (45%) cuentan con hojas de vida para sus equipos, de estas en su gran mayoría (92%) las tienen actualizadas. La hoja de vida de la máquina es primordial en la planeación de la gestión de mantenimiento, ya que en ella se registran los tiempos de las intervenciones, las actividades realizadas y sus causas entre otros datos que son fundamentales para el control, seguimiento y futuras manipulaciones de la máquina.
- Mantener las instalaciones y equipos en sus condiciones operacionales es el principal objetivo que buscan las Pymes del sector, también cerca de la mitad de ellas considera que reparar y garantizar que el equipo este disponible cuando se necesite son objetivos importantes. pero con la actual gestión de mantenimiento, en la cual no se tienen establecidos tiempos, políticas, planes y procedimientos de intervención en los equipos, es difícil que logren cumplirlos.
- En las Pymes del sector, mantenimiento debe ajustarse a la programación de producción en un alto porcentaje, y en un bajo porcentaje se realiza una planeación conjunta o se sigue la programación de mantenimiento.
- En la mayoría de las Pymes del sector los procedimientos para los mantenimientos de los equipos se basan en la experiencia de los trabajadores.
- Con el alto porcentaje de Pymes que solo realizan mantenimiento cuando se requiere, y el poco de este que se realiza a periodos de tiempo determinados, se evidencia la alta cantidad de Pymes que no tiene programas de mantenimiento establecidos.
- La mayoría de las Pymes realizan análisis de falla, de estas Pymes el más alto porcentaje la analiza

teniendo en cuenta la naturaleza de la falla, también realizando análisis de la frecuencia y el efecto en porcentajes elevados.

- Más de la mitad de las Pymes del sector no se encuentran certificadas en ningún tipo de norma, pero es notable como en un porcentaje considerable se encuentran certificadas o en proceso principalmente en las normas ISO.
- Un poco más de la mitad de las Pymes del sector considera que la buena gestión de mantenimiento aumenta la productividad y mejora la calidad, pero es notable también el número de empresas que considera que no tiene ningún beneficio, que aunque el porcentaje es bajo es muy significativo.
- El mantenimiento correctivo se presenta en gran porcentaje en todas las empresas encuestadas, este consiste básicamente en la reparación de las fallas a medida que ocurren. Su gran inconveniente es que se presentan en forma imprevista; no siempre contándose con los recursos humanos y de repuestos necesarios para su reparación, interrumpiéndose bruscamente los procesos productivos e incrementando los costos de la intervención. Por lo que es prioridad disminuir el mantenimiento correctivo utilizando nuevas filosofías como el mantenimiento preventivo y predictivo entre otros.
- La evaluación de la gestión de mantenimiento no debe basarse únicamente en Producción, si no, en la relación del servicio que preste mantenimiento. Por lo cual los indicadores evaluativos deben apoyarse en criterios como nivel de mantenimiento prestado, cantidad de actividades realizadas exitosamente, cantidad de reclamos, cantidad de servicios normalizados y homologados, calificación del recurso humano, tiempo promedio de solución de problemas y la mejora continua. Esto demuestra que la actividad de mantenimiento es definida como una empresa generadora de servicios.
- Luego de la observación que se realizó al sector, se puede decir que este es de muy difícil acceso,

ya que son reacios a los cambios y celosos con su información, debido a que durante muchos años han venido haciendo las cosas del mismo modo sin presentárseles inconvenientes.

BIBLIOGRAFÍA

- CIFUENTES ECHEVERRI, Gustavo Adolfo- SIMPEQ Sistema integral de mantenimiento de plantas y equipos. Medellín, Colombia. 1998. Proyecto de grado. Universidad EAFIT. Departamento de Ingeniería mecánica. P. 63.
- DE MIGUEL FERNÁNDEZ, Enrique. Introducción a la gestión "Management". Volumen I y II. Departamento de organización de empresas, Economía financiera y contabilidad. E.T.S.I. Industriales. Universidad politécnica de Valencia .Valencia, España. 1993. P. 77.
- MORA Gutiérrez, Luis A. Selección y jerarquización de las variables importantes para la gestión de mantenimiento en empresas usuarias o generadoras de tecnologías avanzadas. Medellín, Colombia. 1999. Tesis doctoral. Universidad politécnica de Valencia. Departamento de organización de empresas. P. 56 s1-57 s1, 75 s1-81 s1, 330.
- NEWBROUGH, E.T. Personal de Albert Ramond y asociados, Inc. Administración del mantenimiento industrial. Editorial Diana. 6 ed. México, México. 1982. P. 115.
- TAMAYO Domínguez, Carlos Mario. Guía para la elaboración de modelos de gestión del mantenimiento industrial. Medellín, Colombia. 1998. Trabajo de grado para. Universidad Eafit. Escuela de postgrado. P. 24.
- VILLEGAS, Humberto; GUARIN, Álvaro. Estado del Arte de los sistemas flexibles de manufactura en el sector metalmecánico en Colombia. Medellín, Colombia 1999. Proyecto de investigación ingeniería de Producción Universidad EAFIT. P. 4

METODOLOGÍA PARA LA OBTENCIÓN DE FORMAS COMPLEJAS MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE MESAS ROTATORIAS EN MÁQUINAS CNC

SEBASTIÁN RUIZ MESA. sruizmes@eafit.edu.co
EDUARDO VALENCIA JARAMILLO. evalenc2@eafit.edu.co
Ing. CARLOS ARTURO RODRÍGUEZ ARROYAVE
Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS

DISEÑO DE SISTEMAS TÉCNICOS

ASESOR PRINCIPAL

Ing. CARLOS ARTURO RODRÍGUEZ ARROYAVE

SECTOR BENEFICIADO

UNIVERSIDAD EAFIT – Laboratorio de Máquinas y Herramientas

RESUMEN

Este proyecto genera guías para la programación, montaje y operación del cuarto eje rotatorio del centro de maquinado VMC 16 Milltronics adquirido por La Universidad EAFIT para uso de los estudiantes y de los operarios del laboratorio de máquinas y herramientas de la Universidad EAFIT.

Se utilizará como programa de CAM el Mastercam, en el cual se desarrollará todo el proceso de programación y simulación de las diferentes piezas con los siguientes fines:

Explotar las capacidades instaladas de la Universidad, para que cualquier persona relacionada con el Laboratorio de Máquinas y Herramientas, pueda aprender el funcionamiento del cuarto eje.

Ser una opción viable en el mercado de la industria de mecanizados industriales a largo plazo, ya que se contaría con personal capacitado para el desarrollo de este tipo de procesos.

Aprovechar las falencias del conocimiento de las capacidades del cuarto eje para instruir y asesorar de forma independiente las empresas que cuenten con este sistema.

ABSTRACT

This Project generates guides for the programming, assembling and operation of the 4th axis device of the Milltronics Vertical Machining Center 16, acquired by Eafit University for academic developments.

In this project, Mastercam will be used as CAM program, in which all the programming and simulations of the different models will be developed.

The main purposes of this project are:

- To show everyone related to Eafit's Laboratory of machines and tools the capacity and advantages of the 4th axis device.
- To be a good option in the future regarding the machining process market since it would count with the proper staff for the development of this type of processes.

- To take advantage of Medellín's weak knowledge of the capacities of the 4th axis milling, to assess and instruct independently other industries that work with this system.

PALABRAS CLAVES

Giro Rotatorio, Giro Indexado, Cuarto eje, Simulación, MAC, CMV.

KEY WORDS

Rotary axis, Index axis, four axis, Simulation, CAM, VMC.

1. INTRODUCCIÓN

La ingeniería mecánica se puede contextualizar bajo un enfoque sistémico de la siguiente forma: materia (L), forma (L), relación (AL) y proceso.

Materia: realidad primaria de la que están hechas las cosas, tiene una constitución espacial y perceptible por los sentidos, que, con la energía, constituye el mundo físico. (Real Academia Española, 2005). De esta manera se presenta la existencia de los elementos físicos que nos rodean.

Forma: es la configuración externa de algo que tiene materia o es de algún material. (Real Academia Española, 2005). Puede ser redondo, cuadrado, hueco, etc. Dependiendo de cada fin ésta podrá adaptarse para cumplir de forma satisfactoria alguna necesidad.

Relación: conexión, correspondencia de algo con otra cosa. (Real Academia Española, 2005). Cuando se unen los conceptos de forma y de materia se pueden definir los parámetros de tallas, tolerancias y acabados

Proceso: Conjunto de las fases sucesivas de un fenómeno natural o de una operación artificial. (Real Academia Española, 2005). Para llegar a la forma requerida, es necesario generar uno o más procesos que transforman una materia que originalmente se encontraba en un

estado inicial y que según las necesidades se procesa para llegar a un estado final.

Fusionando estos cuatro conceptos se presenta la fase de conceptualización del diseño, que es una solución de acuerdo con unas necesidades, obligaciones, formas, deseos, gustos, tamaños, etc. Si alguno de los conceptos anteriores no existiera no hubiese lógica de un concepto de ingeniería.

La materia, la forma, la relación y el proceso, se representan en el sistema de conceptualización como flujos de energía, materia e información. De acuerdo con las diferentes relaciones y configuraciones de estos flujos se podrá llegar a una forma final requerida.

Como el proyecto es basado en el proceso de cambio de una materia prima, éste se representa con la relación de los conceptos de forma y proceso para alcanzar una transformación de una materia inicial en una materia final requerida que suplirá una necesidad.

Con la elaboración de este proyecto se mostrarán y enseñarán las capacidades del cuarto eje rotativo del centro de maquinado VMC 16 Milltronics del Laboratorio de Máquinas y Herramientas de la Universidad EAFIT, mediante la generación de dos guías didácticas con registros filmicos y muestras físicas cada una, que permiten entender los procesos de modelación, montaje, programación y maquinado del cuarto eje rotatorio continuo y discontinuo (rotary and index axis),

2. CENTRO DE MAQUINADO VERTICAL

Un centro de maquinado vertical es una máquina similar a una fresadora convencional, pero es altamente automatizada y es capaz de realizar múltiples operaciones de maquinado con la mínima intervención humana, bajo una programación de control numérico computarizado. Además tiene una serie de dispositivos que a simple vista la hacen diferente a la convencional, por ejemplo, el centro de maquinado cuenta con carcasas que cubren toda la máquina, tambor o magazines portaherramientas, extractores de viruta, etc (Groover, 1997, 619).

FIGURA 1
Centro de Maquinado Vertical EAFIT



3. CUARTO EJE INDEXADOR

Un eje indexador puede rotar la pieza a maquinar pero no puede ser usado con movimientos simultáneos. También es llamado movimiento posicionador (Smid, 2003, 429).

Un eje indexador es el nombre sugerido para una mesa indexadora; ésta se programa de acuerdo con el número de grados que requiere el mecanizado, por ejemplo, para indexar una mesa 45° el programa queda: G90 G00 B45 (Smid, 2003, 429).

Los valores mínimos de los grados incrementales dependen del diseño de la máquina y pueden variar desde 1° hasta 0.001°; además de que pueden ser en ambas direcciones tanto positiva como negativa (Smid, 2003, 430).

Al igual que con la programación tradicional, el eje indexador, puede ser programado en modo incremental o absoluto, G91 y G90 respectivamente (Smid, 2003, 430).

FIGURA 2
Ejemplo mecanizado con eje Indexador



4. CUARTO EJE ROTATIVO

Un eje rotativo rota la pieza, pero con movimientos simultáneos con el proceso de corte.

El dispositivo del eje rotativo se asegura a la mesa del centro de mecanizado y luego se programa mediante los códigos G para que realice los movimientos rotatorios del eje, y lineales del husillo, esto genera una interpolación de cuarto eje. Este eje, se programa de acuerdo con la interpolación del eje rotativo y el movimiento de los ejes lineales, calculando la cantidad de grados que se tiene que mover en determinada distancia; la precisión que tiene el eje rotativo es de 0.001° y va a ir aumentando a medida que se aleje del centro del eje. Se debe tener en cuenta en la forma de programar si se hará con valores incrementales o absolutos, G90 y G91 respectivamente (Mattson, 2002, 234).

FIGURA 3
Ejemplo mecanizado con eje Rotativo



FIGURA 4
Simulación cuarto eje rotatorio Mastercam



5. MASTERCAM

MASTERCAM posee un sistema CAD básico y cuenta con un sistema CAM con posibilidades de programación en dos, tres, cuatro y cinco ejes, desarrollo de superficies, sólidos y siluetas.

Los módulos con los que cuenta para el procesamiento de piezas son: frezado, torneado, diseño y corte por hilo.

Adicionalmente se cuenta con un simulador que permite modelar la pieza, el material en bruto, la herramienta y el husillo. Su sistema de control permite identificar colisiones, visualizar errores en el mecanizado e identificar las trayectorias de la herramienta. Permite importar diferentes tipos de archivos CAD: dwg, igs, sat, proE, entre otros.

CONCLUSIONES

- De la búsqueda de información relacionada con el cuarto eje se concluye que lo que ha impulsado y fundamentado el desarrollo tecnológico relacionado de las máquinas y herramientas son los descubrimientos aeronáuticos y las guerras mundiales, creando la necesidad diseñar piezas de geometrías complejas y de alta calidad en sus acabados. Se han generado nuevas máquinas de control numérico, metodologías de corte, trayectorias, ángulos, velocidades, herramientas, etc. Además se identificó un déficit de información relacionada con el cuarto eje a nivel de Medellín y Colombia, la información con que se cuenta son los catálogos y revistas publicitarias de los diferentes proveedores de máquinas CNC. Este proyecto puede servir como recopilación inicial de información referente al tema de multiejes en centros

de mecanizado con el fin de ser utilizada por nuevos empresarios metal mecánicos, programadores CNC y estudiantes del tema relacionado.

- A través de los años, las formas de los elementos se han constituido según la demanda que tengan por parte del hombre, es decir las necesidades que se van encontrando en su día a día. Debido a esto se cambian, se reforman, se replantean y por lo tanto se rediseñan en el pro de su desarrollo a nivel arquitectónico, de diseño de productos, artístico, hasta llegar a los mas complejos diseños de ingeniería. Es así como la Universidad Eafit con su espíritu emprendedor, científico y tecnológico ha identificado las diferentes falencias del conocimiento basado en los procesos de mecanizado de formas complejas y ha adquirido elementos y herramientas que permiten realizar procesos de entrenamiento, investigación y desarrollos basados en conceptos de manufactura avanzada.
- Debido a la falta de información, de medios didácticos relacionados con los conceptos de mecanizado en cuarto eje y a la reciente adquisición del Centro de Mecanizado Vertical Milltronics por parte de la Universidad EAFIT, se creó una guía básica didáctica, que va desde los conceptos simples de Mastercam como la creación de líneas, importación de archivos e identificación del entorno, hasta el desarrollo final de los diferentes prototipos, haciendo énfasis en las diferentes formas de mecanizado con el cuarto eje.

Al comparar la información recopilada de las diferentes fuentes, se presenta una información que no es clara para el aprendiz y que no cuenta con la suficiente claridad ilustrativa y explicativa. Estas falencias son un elemento adicional a mejorar que dan pie al desarrollo de este proyecto.

- Los procesos de maquinado con cuarto eje existentes son: giro indexado y giro rotativo. En el proceso de investigación para el manejo de Mastercam se encontró que para la generación de los códigos G por parte de los postprocesadores, hay cuatro procedimientos diferentes, estos son: envolvimiento

de un plano sobre una superficie; sustitución de uno de los ejes generando una rotación indexada; Multiaxis - Rotary4ax que puede generar trayectorias axiales o radiales respecto al eje de giro de la pieza (eje A); y por último está la creación de códigos G de forma directa, donde se pueden crear mecanizados en diferentes caras del bloque tridimensional.

- En el pasado mes de septiembre se realizó en Hannover, Alemania la feria Mundial De Manufactura (EMO), donde se vio la alta tendencia de los fabricantes de máquinas y herramientas hacia el desarrollo de centros de mecanizado con cuatro, cinco y seis ejes para la elaboración de piezas complejas en procesos de manufactura. Esto demuestra que el mecanizado con el cuarto eje es la base para el desarrollo de piezas con múltiples ejes (5 y 6), lo que obliga a que los conceptos presentes en este proyecto sean de conocimiento y entendimiento por cualquier individuo que tenga contacto con este tipo de máquinas.

BIBLIOGRAFÍA

REREFERENCIAS TOMADAS DE LIBROS

GROOVER, Mikell P. Fundamentos de manufactura moderna, materiales, procesos y sistemas. Lehigh - Estados Unidos, 1997 : Prentice-Hall, Inc. A Simon & Schuster Company. ISBN 9688808466.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACIÓN. Compendio Tesis y otros trabajos de grado 2004. Bogotá – Colombia: ICONTEC, 2004. (NTC 1486 – 1075 – 1160 - 1307). ISBN 958938307-6.

LIN, Su-Chen Jonathon. Mastercam Version 8 Mill. Chelsea, Michigan, Estados Unidos, 2001 : Scholars international publishing Corp.

MATTSON, Mike. CNC programming, principles and applications. Albany, N.Y., Estados Unidos, 2002 : Delmar Thomson Learning. ISBN 0-7668-1888-8

- PEREZ, Miguel Ángel Sebastián.. Programación de máquinas-herramientas con control numérico. Madrid, España 1999 : Impresos y revistas S.A. ISBN 84-362-3811-7.
- RODRIGUEZ, Carlos Arturo. Introducción al CNC. En: ASIGNATURA PROCESOS DE MANUFACTURA AVANZADA. (2º : 2004 : Medellín).
- SMID, Peter. CNC programming handbook, second edition. New York, N.Y., Estados Unidos, 2003: Industrial press Inc. ISBN (0-8311-) 3158-6.
- TJALVE, Eskild. systematic design of industrial products. Lyngby - Dinamarca : Lykkegaard Aps, Hermann & Fisher A/S, 2003. ISBN 87-981360-1-1
- VALENTINO y GOLDENBERG, James y Joseph. Learning Mastercam Mill Step by Step. New York, N.Y., Estados Unidos, 2004: Industrial Press Inc. ISBN 0-8311-3177-2
- H. Liang, H. Hong, J. Svoboda. A combined 3D linear and circular Interpolation Technique for Multi-axes CNC Machining. En el Journal of manufacturing Science and Engineering. Montreal Canada. Vol 124, May 2002; pag 305.
- X. M. DINGt, Y. Q. LUt, J. y. H. FUH!* and K. S. LEE, Optimal cutter selection for complex three-axis NC mould machining. En el Journal of manufacturing Science and Engineering. Montreal Canada. Vol 42, No 22, Nov 2004; pag 4785.
- R. BAPTISTA J.F. Antune SIMOÄESB.,. Three and five axes milling of sculptured surfaces. Journal of Materials Processing Technology. Lisboa, Portugal. Vol 103, No 22, Dic 2000; pag 398.
- REFERENCIAS TOMADAS DE INTERNET**
- Kostecki Engine Center [en línea] Diseño y desarrollo de motores de combustión. . [Citado 20 de julio de 2005] Disponible en Internet en: http://www.kec.com.au/about_our_workshop.htm
- Metal Working Production La quinta dimensión en centros de mecanizado de 5 ejes. [Citado 12 de Agosto de 2005] Disponible en Internet en: <http://www.mwponline.com/story.aspx?uid=4463ed82-13e0-4a26-9b57-616cae4a0d1e&cuid=27e20ba6-44fd-40c1-83aa-ff4a1c7d8723>
- VRML Works [en línea] Galería de diseños de texturas y superficies en 3D. [Citado 12 de Agosto de 2005] Disponible en Internet en: <http://vrmlworks.crispen.org/models.html>
- IMUSA [en línea] Categorías de artículos para cocción de alimentos. <http://imusa.com.co/mundos/catalogo/coccion.php>
- Talleres Catania Lynch Tornillos de extrusión, inyección y del caucho <http://www.catanialyinch.com.ar/index.php>
- Mundo CNC [en línea] Soluciones técnicas de CNC. [Citado 16 de Agosto de 2005] Disponible en Internet en: <http://www.mundocnc.com.br/sabia3.htm>
- ALBERT, Mark. A/B Rotary Head Turns Heads [en línea]. [citado 20 de febrero de 2005] Disponible en Internet < <http://www.mmsonline.com/articles/0304rt1.html>>
- CHRISTMAN, Alan. Mastercam version 8 has a little bit of everytihg. [en línea]. [citado 13 de febrero de 2005] Ann Arbor, Missouri, Estados Unidos. Disponible en Internet ProQuest Information and Learning Company.
- Diccionario Enciclopédico Hispano-Americano [en línea], definición filosófica de forma. Montaner y Simón Editores: Barcelona, 1890 [citado el 17 de marzo del 2005]. Disponible en Internet: < <http://www.filosofia.org/enc/eha/e080559.htm>>
- MATHEWS, Chuck. Las máquinas torno/fresa con eje B ocupan su lugar. [en línea]. [citado 23 de marzo de 2005] Disponible en Internet < <http://www.metalmecanica.com/>>
- ZELINSKI, Peter. Four Types Of Five-Axis Machining Centers [en línea]. [citado 5 de marzo de 2005] Disponible en Internet < <http://www.mmsonline.com/articles/039904.html>>

GUÍA DE LABORATORIO PARA LA SIMULACIÓN DE MODOS DE FALLA EN UN SISTEMA DE BOMBEO DE LA UNIVERSIDAD EAFIT

CARLOS ANDRÉS SALAZAR MONCADA. csalaza6@eafit.edu.co
Ing. FRANCISCO JAVIER BOTERO HERRERA
Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS

MANTENIMIENTO INDUSTRIAL.

ASESOR PRINCIPAL

Ing. FRANCISCO JAVIER BOTERO HERRERA

EMPRESA

UNIVERSIDAD EAFIT

RESUMEN

Este artículo presenta los resultados preliminares de la implementación de un banco experimental diseñado para la simulación de modos de falla de sistemas de bombeo, ubicado en el Laboratorio de Hidráulica de la Universidad EAFIT.

El banco experimental también se utiliza para realizar pruebas en operación normal, así como para hallar las curvas características y el punto de operación del sistema de bombeo.

ABSTRACT

This article presents the preliminary results of an implementation of an experimental bank designed for the simulation of failure modes in pumping systems, which is placed in the EAFIT University Hydraulics Laboratory.

The experimental bank is also used to accomplish experimentation in normal operation, as soon as to find the characteristic curves and the operation point of the pumping system.

PALABRAS CLAVE

Modos de falla, mecánica de fluidos, bombas centrífugas, sistemas de bombeo, curvas características, punto de operación.

KEY WORDS

Failure modes, fluids mechanical, centrifugal pumps, pumping systems, characteristic curves, operation point.

1. INTRODUCCIÓN

Este proyecto desarrolla una guía de laboratorio para simular fallas típicas en un sistema de bombeo, tales como cavitación y golpe de ariete. Las guías de laboratorio presentan una descripción cualitativa y/o teórica del tema con el fin de que el estudiante se familiarice con el fenómeno de estudio. Luego se presentan los objetivos de la práctica, el procedimiento, el contenido del trabajo y la bibliografía recomendada.

El sistema de bombeo se opera tanto en estado de falla como en estado normal con el fin de comparar los resultados obtenidos. Además, se hallan los puntos de operación y las curvas características de las diferentes configuraciones de bombeo que se tienen en el banco.

Este proyecto sirvió de apoyo al desarrollo de la investigación de maestría: "Desarrollo de un modelo predictivo computacional para el diagnóstico de la condición de bombas centrífugas", el cual fue realizado en el Laboratorio de Mecánica Experimental de la Universidad EAFIT.

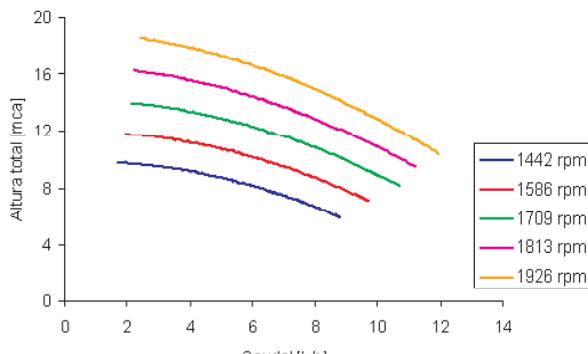
2. CURVAS CARACTERÍSTICAS DE UN SISTEMA DE BOMBEO

El banco experimental cuenta con un variador de velocidad que permite operar el motor de la bomba a diferentes velocidades de giro y hallar las curvas características para cada velocidad de rotación.

Curva característica de la bomba

La curva de funcionamiento de una bomba es una gráfica que muestra la altura total desarrollada por la bomba en función del caudal entregado por la misma, a una velocidad de giro constante (Mott, 419, 1996).

FIGURA 1. Curvas características de la bomba a diferentes velocidades de giro



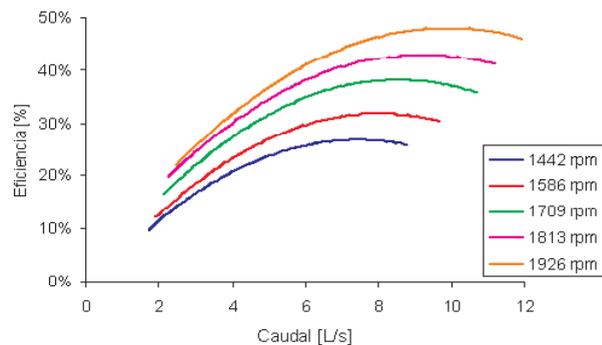
En la Figura 1 se muestran las curvas experimentales de la bomba a diferentes velocidades de giro. Puede observarse que para un caudal dado, la altura total agregada por la bomba al fluido se incrementa a medida que se incrementan las revoluciones del motor.

Curva de la eficiencia de la bomba

La curva de la eficiencia de una bomba se traza en función del caudal a una velocidad de giro constante. La eficiencia de la bomba es la relación entre la potencia hidráulica agregada por la bomba al fluido y la potencia eléctrica consumida por el motor.

La curva de la eficiencia de la bomba varía en proporción a la velocidad de giro del motor, tal como lo muestra la Figura 2. Para un valor de caudal dado diferente de cero, la eficiencia de la bomba se incrementa en la medida en que se incrementan las rpm del motor.

FIGURA 2. Curvas de la eficiencia de la bomba a diferentes velocidades de giro



3. OPERACIÓN NORMAL DE UN SISTEMA DE BOMBEO

El banco experimental se opera de manera normal en el punto de operación del sistema de bombeo. Todos los equipos y accesorios del banco se operan de acuerdo a las recomendaciones dadas por el fabricante de los mismos.

El espectro vibratorio que se muestra en la Figura 3 corresponde a una señal de vibración medida en los rodamientos del motor, mientras el sistema opera de manera normal. Algunos picos o vibraciones máximas se presentan a las frecuencias características del sistema. Se identifican picos a la frecuencia de funcionamiento del sistema (28,5 Hz), a la frecuencia de línea (60 Hz) y a la frecuencia natural del sistema (120 Hz).

4. CAVITACIÓN EN UN SISTEMA DE BOMBEO

La cavitación comienza a presentarse en una bomba centrífuga cuando la presión en la succión no es suficiente para mantener las presiones de todo el sistema por encima de la presión de vapor del fluido a

la temperatura de operación. La cavitación consiste en la formación de burbujas y/o bolsas de vapor, las cuales viajan a través del fluido hasta encontrar una región cuya presión es superior a la presión de vapor, donde colapsan e implotan. Cuando una bomba está cavitando, el fluido comienza a evaporarse. Las burbujas o bolsas de vapor se rompen y se forman nuevamente muchas veces por segundo. Esto genera ruido y vibración en el sistema (Karassik,2-148,1983).

El espectro vibratorio de la bomba funcionando bajo cavitación se presenta en la Figura 4. Se identifica un pico a la frecuencia de paso de álabes. En el espectro de cavitación se pierden los picos que aparecen a las demás frecuencias características del sistema como consecuencia de la gran dispersión de energía que se presenta antes y después de la frecuencia de paso de álabes.

FIGURA 3. Espectro vibratorio del motor operando en condiciones normales

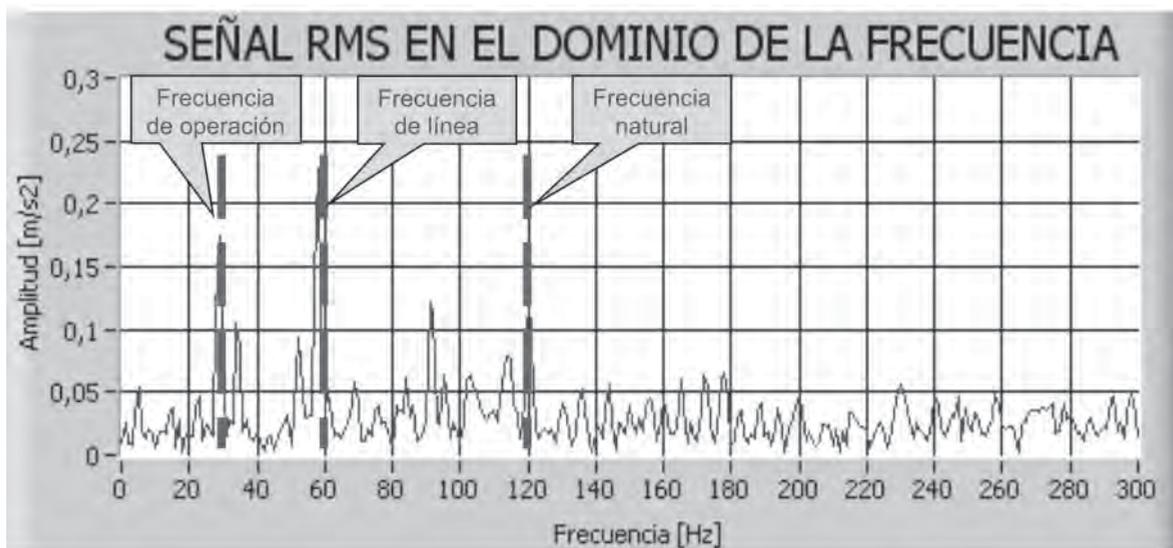
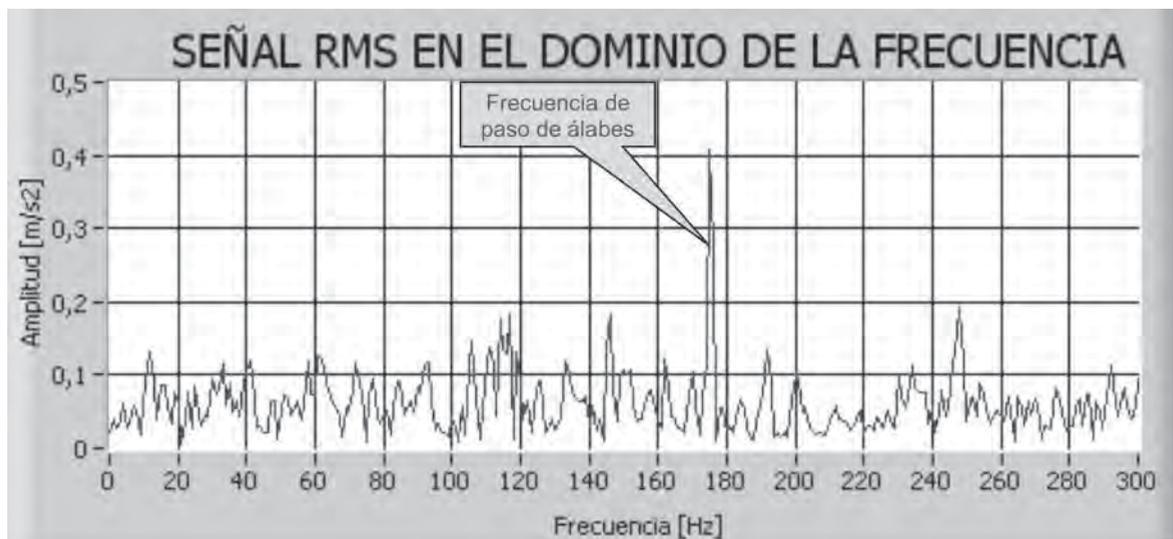


FIGURA 4. Espectro vibratorio de la bomba operando cavitación



5. GOLPE DE ARIETE

El golpe de ariete es un fenómeno transitorio que se produce en la tuberías al abrir o cerrar una válvula y al poner en marcha o parar una máquina hidráulica, o al disminuir bruscamente el caudal (Mataix,312,1982). Es una onda cíclica de presión que se presenta y se desplaza en las tuberías y puede causar daños tanto en las tuberías o líneas de transporte del fluido, como en el equipo de bombeo. Es esencial predecir el efecto del golpe de ariete, estimar la presión máxima que puede generar y verificar que esta se encuentre dentro de los límites de seguridad del sistema de bombeo (Karassik,9-82,1983).

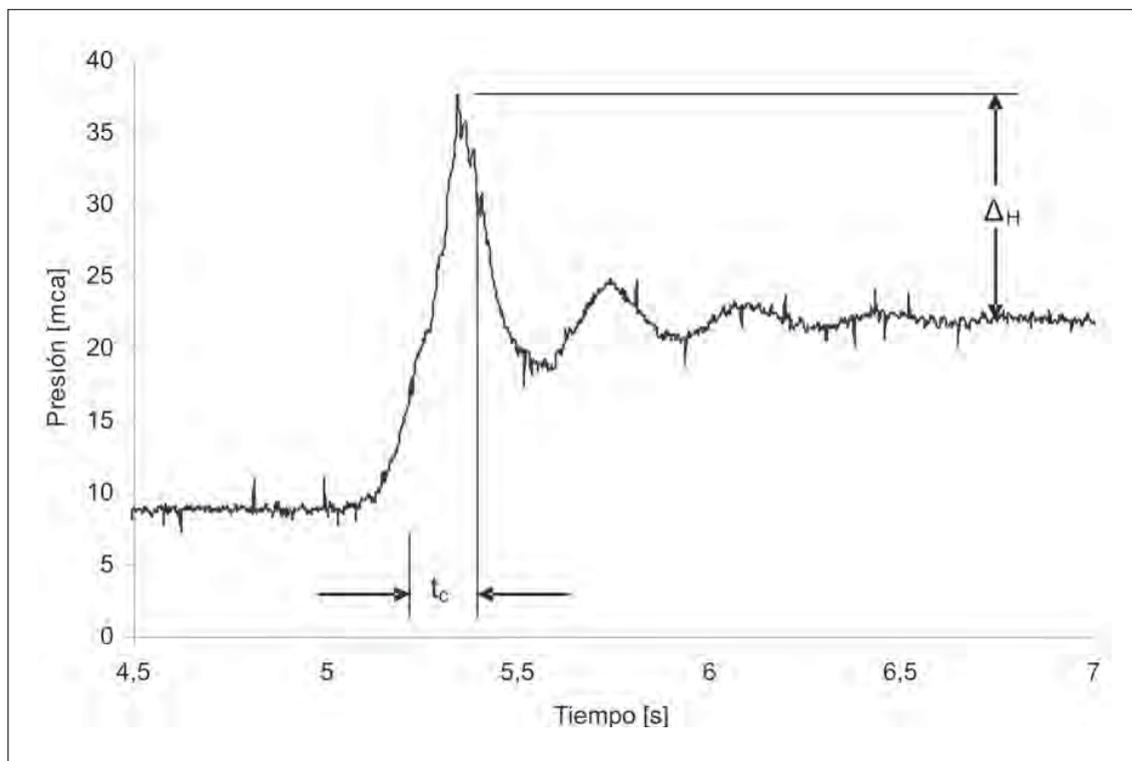
El comportamiento de la presión en una tubería cuando se presenta el fenómeno del golpe de ariete es el que se muestra en la Figura 5. En este caso, antes de cerrarse la válvula, el valor de la presión era aproximadamente 9 mca. La válvula se cierra rápidamente en un tiempo t_c , y el valor de la presión sube hasta un valor pico de

aproximadamente 37 mca.

La presión tiene un comportamiento cíclico durante la generación del golpe de ariete, alcanza unos valores máximos cuando se presenta sobrepresión y alcanza unos valores mínimos cuando se presenta depresión. Los picos de los valores máximos y mínimos son cada vez menores como consecuencia de las pérdidas por fricción en la tubería. Con el tiempo, el sistema se estabiliza y los picos de los valores máximos y mínimos no se vuelven a presentar.

La sobrepresión máxima real \ddot{A}_H , y el tiempo de cierre real de la válvula t_c , pueden observarse en la Figura 5. El tiempo de cierre de la válvula t_c , es el tiempo que se demora la presión en subir desde el valor inicial hasta el valor máximo alcanzado. La sobrepresión máxima \ddot{A}_H , es la resta de la presión máxima alcanzada en el sistema con la presión que entrega la bomba en el punto de medición para un valor de caudal nulo.

FIGURA 5. Comportamiento de la presión en una tubería durante la generación del golpe de ariete



CONCLUSIONES

Para un caudal dado diferente de cero, la eficiencia de una bomba se incrementa a medida que se incrementan la velocidad de giro del motor.

Para un caudal dado, la altura total agregada por la bomba al fluido también se incrementa a medida que se incrementan la velocidad de giro del motor.

Para trazar las curvas características del sistema de bombeo se tomaron los datos correspondientes en varias ocasiones. Se halló en cada caso el punto de operación y se hizo un análisis estadístico básico. De acuerdo con los resultados obtenidos el comportamiento del sistema es estable en el tiempo, lo cual quiere decir que las prácticas se pueden realizar con resultados aceptables.

Durante la simulación del golpe de ariete se pueden alcanzar presiones absolutas de aproximadamente 40 mca, en un tiempo de cierre aproximado de 0,25 segundos. Sin embargo se deben evitar cierres tan rápidos. El tiempo de cierre recomendado es de 0,5 segundos.

RECOMENDACIONES

El proceso de cebado del sistema requiere que se tenga especial cuidado con la servoválvula. Siempre que se abra la válvula de descarga 4 para cebar la bomba, la servoválvula debe estar completamente abierta. Si la servoválvula está cerrada, la presión en la misma será la altura del tanque (12 mca). Si además se intenta abrir la servoválvula con dicha presión, está funciona de manera anormal y se escucha un ruido agudo en el proceso de apertura.

Para la medición de vibraciones se recomienda no conectar el motor al variador de velocidad. Esto se debe a que la acción del variador de velocidad interfiere con la señal de vibración, dando lugar a resultados erróneos. Cuando se hacen mediciones de vibraciones con el motor conectado al variador, no aparecen las vibraciones más significativas a las frecuencias características del sistema.

La cavitación es un fenómeno degenerativo que ocasiona daño severo y erosión en las piezas mecánicas de la bomba. Cuando se desee realizar otra práctica diferente, se debe evitar que el sistema cavite.

El golpe de ariete es un fenómeno que origina una sobrepresión que puede causar daño en las tuberías y en la bomba. Cuando se vaya realizar otra práctica, se recomienda operar el sistema con cuidado para no generar este fenómeno. Es decir, abrir y cerrar las válvulas lentamente y seguir los procedimientos indicados en cada práctica.

El trabajo realizado corresponde a la implementación y operación de un banco experimental para la simulación de modos de falla de sistemas de bombeo, ubicado en el laboratorio de hidráulica de la Universidad EAFIT. Si el lector desea saber acerca del diseño y selección de las tuberías, equipos y accesorios que componen dicho banco, puede consultar el proyecto de grado realizado por TORRES y VALENCIA, el cuál se cita en la bibliografía.

NUEVAS VÍAS DE DESARROLLO

Se propone la verificación, integración y optimización los circuitos eléctricos que componen el banco experimental.

El banco experimental puede utilizarse para simular otros modos de falla y realizar otros experimentos que no se estudiaron en este proyecto. Algunos de ellos son:

- Golpe de ariete por interrupción del suministro de energía eléctrica.
- Rotación de la bomba en reversa, o rotación incorrecta del impeler.
- Altura de bombeo muy alta.
- Obtención del punto de máximo rendimiento de un sistema de bombeo, graficando la amplitud de la vibración en función del caudal.

La bomba del banco experimental tiene instaladas dos juntas antivibratorias, una en la succión y otra en la descarga. Se propone que se investiguen las pérdidas de carga que originan estos accesorios.

BIBLIOGRAFÍA

FRANZINI, Joseph B. y FINNEMORE E. John. Mecánica de Fluidos con Aplicaciones en Ingeniería. 9 ed. Madrid, España. Editorial McGraw-Hill. 1999. 503 p. ISBN 84-481-2474X.

GUSSOW, Milton. Fundamentos de Electricidad. 1 ed. México D.F., México. Editorial McGraw-Hill. 1991. 453 p. ISBN 968-422-977-1

ISO 2372. Mechanical Vibration in Rotating Machinery. Basis for Specifying Evaluation Standards for Rotating Machines with Operating Speeds from 10 to 200 Revolutions per Second. 1974. 9 p.

ISO 2548. Norma para Ensayos de Aceptación de Bombas Centrífugas, de Flujo Mixto o Axial. 1 ed. 1973.

KARASSIK, Igor J, y otros. Manual de Bombas. México D.F., México. Editorial McGraw-Hill. 1983. ISBN 9684512740.

MATAIX, Claudio. Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas. 2 ed. México D.F., México. Editorial Harla S.A. 1982. 660 p. ISBN 9686034293.

MCNAUGHTON, Kenneth J. Bombas: Selección, Uso y Mantenimiento. México. Editorial McGraw-Hill. 1992. 373 p. ISBN 9684220367.

MOTT, Robert L. Mecánica de Fluidos Aplicada. 4 ed. México D.F., México. Editorial Prentice Hall Hispanoamericana, S.A. 1996. 580 p. ISBN 9688805424.

NEPA, Woodrow A. y URWIN, Robert J. Centrifugal Pump Failure Analysis. Barrington, IL. Editorial Cahners Publishing Corporation. Revista Plant Engineering. Volumen 47. Número 15. 1993. 3 p. ISBN 0032082X.

PINEDA, Juan Manuel. Seminario: Eficiencia y Ahorro de Energía en Sistemas de Bombeo. Goulds Pumps. Hotel Poblado Plaza. Medellín, Colombia. Julio 28 de 2005.

POYNTON, James P. Metering Pumps: Selection and Application. New York. Editorial Marcel Dekker. 1983. 194 p. ISBN 0824717597.

QUIRÓS MORALES, Luis Fernando. Curso de Bombas y Sistemas de Bombeo. Medellín, Colombia. Universidad EAFIT. Centro de Educación Continua. 1991. 156 p.

SAAVEDRA, Pedro. Análisis de Vibraciones, Nivel II. Concepción, Chile. Universidad de Concepción. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería mecánica. 275 p. 1998.

_____ Seminario Internacional: Vibraciones y Rotodinámica en Equipo Rotatorio. Cali, Colombia. Universidad de Concepción. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería mecánica. 1997. 161 p.

TORRES, C. Gabriel J. y VALENCIA, V. Andrés F. Banco Experimental para la Simulación de Modos de Falla de Sistemas de Bombeo. Medellín, Colombia. Universidad EAFIT. Proyecto de Grado. Departamento de Ingeniería Mecánica. 2004. 135 p.

WYLIE, Benjamin y STREETER, Victor L. Fluid Transients in Systems. New Jersey, United States of America. Editorial Prentice Hall. 1993. 463 p. ISBN 0-13-934423-3.

REFERENCIAS DE INTERNET

DANFOSS. Ficha Técnica: MBS 3000 Pressure Transmitter for Industrial Applications. 2002. 4 p. <http://www.tranilamp.com/controlgear/danfoss-specs/MBS-3000-PDP20K202.pdf>. Julio 14 de 2005.

ELSTER. The Kent Range of Bulk Meters. H4000 Woltmann Cold Water Meters. Luton, Bedfordshire. Elster Metering Limited. 6p. http://www.thaimeters.co.th/Datasheet_files/water%20meter/%206961%20H4000%20Brochure%20AW.pdf. Julio 14 de 2005.

EXTECH, Instruments. User's Guide: Digital Stroboscope Tachometer. Model 461830 and Model 461831. Version 2.2. 2003. 8 p. http://www.extech.com/instrument/products/451_499/manuals/461830_831_UM.pdf. Julio 14 de 2005.

FLOWSERVE, Flow Control Division. Installation, Operation, Maintenance Instructions: Valtek Trooper Control Valves. 1998. 16 p. http://www.honeywell.com.pl/pdf/automatyka_przemyslowa/zawory/IOM38.pdf. Julio 14 de 2005.

GOULDS, Pumps. Predictive and Preventative. Pump Vibration and Bearing Analysis. 3 p. http://www.gouldspumps.com/pom_0012.html. Agosto 16 de 2005.

KISTLER. 8702B & 8704B K-SHEAR® ACCELEROMETER SERIES. 2 p. Acceleration-AVP. [http://www.kistler.co.kr/tmp/File/000-239/\\$File/000-239e-08.02.pdf](http://www.kistler.co.kr/tmp/File/000-239/$File/000-239e-08.02.pdf). Agosto 3 de 2005.

NATIONAL, Instruments. User Manual: DAQCardTM-6062E. Multifunction I/O Device for PCMCIA. Part Number 370564A-01. 2002. 119p. <http://www.wtb.tue.nl/sel/SEL/National%20Instruments/National%20Instruments%206062E%20en.pdf>. Julio 14 de 2005.

RIVAS, Alejandro y SÁNCHEZ, Gorka. Transitorios en Instalaciones. Golpe de Ariete. Campus Tecnológico de la Universidad de Navarra. Escuela Superior de Ingenieros. Laboratorio de Mecánica de Fluidos. 2004. 16 p. http://www.tecnun.es/asignaturas/Fluidos1/WEBMF/Laboratorio%20de%20Mecanica%20de%20Fluidos/plmf%5CP_3.pdf. Julio 18 de 2005.

SIEMENS. Operating Instructions: Micromaster 440. 2005. 308 p. <http://support.automation.siemens.com/WW/llisapi.dll?func=cslib.csinfo&lang=en&objID=10804928&subtyp=133300>. Julio 13 de 2005.

STERLING. Manual de Instalación, Operación y Mantenimiento. 2004. 36 p. <http://www.sterlingfluidsystems.com/art/download/product/FILE741.pdf>. Julio 14 de 2005.

_____ Bombas Centrífugas de Carcasa Espiral. 2003. 8 p. <http://www.sterlingfluidsystems.com/art/download/product/FILE738.pdf>. Julio 14 de 2005.

UPC. Diagrama de Moody. Escuela Superior de Agricultura de Barcelona. 1 p. <http://mie.esab.upc.es/df/fluids/moody.htm>. Julio 27 de 2005.

CARACTERIZACIÓN DINÁMICA DE LA SUSPENSIÓN ELÁSTICA DEL MOTOR DE TRACCIÓN DEL VEHÍCULO DE PASAJEROS DEL METRO DE MEDELLÍN

MAURICIO SALDARRIAGA MORENO. msaldar3@eafit.edu.co

MAURICIO ENRICO PALACIO
Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS

DISEÑO DE SISTEMAS TÉCNICOS

ASESOR PRINCIPAL

MAURICIO ENRICO PALACIO

EMPRESA

METRO DE MEDELLÍN

RESUMEN

El desarrollo del proyecto de grado, surge a partir de la necesidad del Metro de Medellín de sustituir los elementos desgastados de tipo amortiguador que conforman la suspensión elásticas del motor de tracción y del filtro de aire de los vehículos férreos.

El proyecto pretende caracterizar en forma dinámica los componentes elastomericos de las suspensiones elásticas para registrar así sus propiedades dinámicas, de esta forma se obtendrán parámetros funcionales que servirán de base a la industria nacional para el diseño y la construcción de los cauchos amortiguadores.

La caracterización dinámica es desarrollada al implementar programas en Lab View®, este permite la adquisición de datos en forma efectiva durante las pruebas y el análisis posterior en las interfaces gráficas.

La caracterización dinámica de las propiedades de los cauchos amortiguadores de la suspensión elástica del motor de tracción, esta basada en las normas internacionales ASTM D 1054– 91, ASTM D 2632– 92, ASTM D 2231-94 utilizadas para obtener las propiedades del caucho, en estas normas se presentan los dispositivos mecánicos normalizados para desarrollar las pruebas que permiten obtener las propiedades dinámicas de los cauchos de las suspensiones elásticas.

ABSTRACT

The development of the grade project, arises starting from the necessity of the Metro of Medellín of substituting the worn away elements of type shock that conform the elastic suspension of the traction motor and the filter of air of the railway vehicles.

The project seeks characterize in dynamic form the rubber components of the elastic suspensions to register its dynamic properties, in this way, the functional parameters will be obtained that will serve from base to the national industry for the design and the construction of the rubbers shocks.

The dynamic characterization is developed when implementing programs in Lab View®, this it allows the acquisition of data in effective form during the tests and the later analysis in the graphic interfaces.

The dynamic characterization of the properties of the rubbers shocks of the elastic suspension of the traction motor, is based on the international norms ASTM D 1054 - 91, ASTM D 2632 - 92, ASTM D 2231-94 used to obtain the properties of the rubber, in these norms the mechanical devices are presented to develop the tests that allow to obtain the dynamic properties of the rubbers of the elastic suspensions.

PALABRAS CLAVE

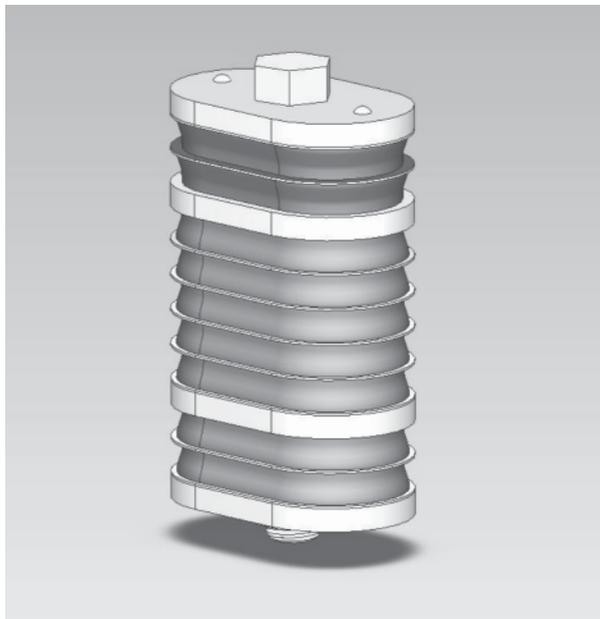
Frecuencia natural, factor de amortiguamiento, decremento logaritmico, transmisibilidad.

KEY WORD

Natural frequency, factor of reduction, logarithmic decrement, transferability.

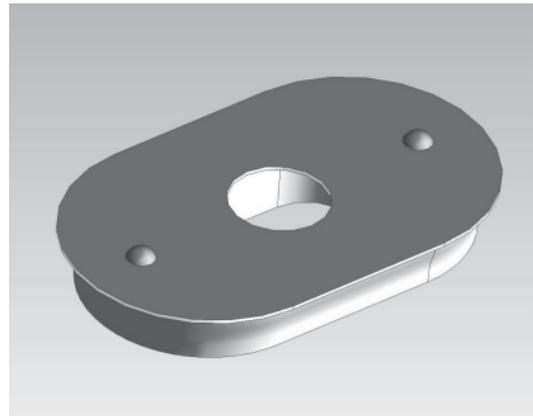
OBJETO DE ESTUDIO

La suspensión elástica del motor de tracción del vehículo de pasajeros del metro de Medellín consiste en un arreglo de cauchos amortiguadores dispuestos en serie como se muestra a continuación:

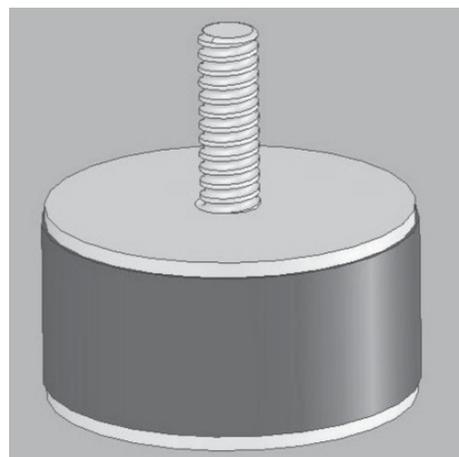


La función principal de la suspensión es amortiguar los impactos y la vibración generada por el motor para que no se transmita al chasis del vagón de pasajeros durante el recorrido de los vagones por la vía férrea.

Los cauchos amortiguadores que conforman la suspensión elástica del motor de tracción están hechos en caucho vulcanizado, estos cauchos poseen en un extremo una platina de acero adherida lo que le da una apariencia física como se muestra:

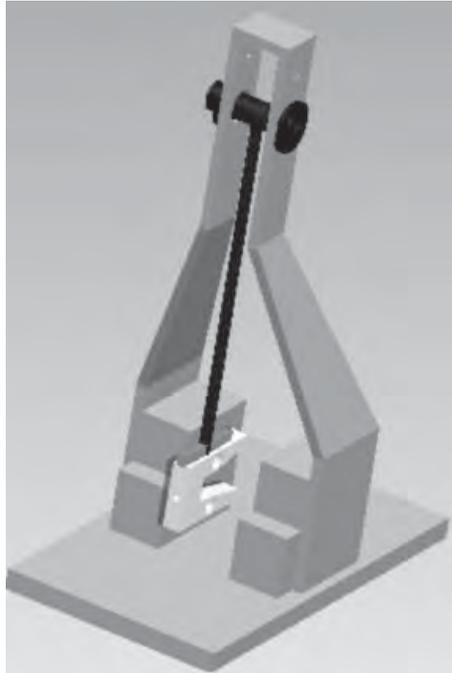


La suspensión elástica del filtro de aire esta formada por unidades de soporte hechas en caucho vulcanizado, estos cauchos están diseñados para trabajar a compresión, soportando el peso y aislando las vibraciones transmitidas por el motor al filtro de aire, su apariencia física es mostrada en la ilustración:

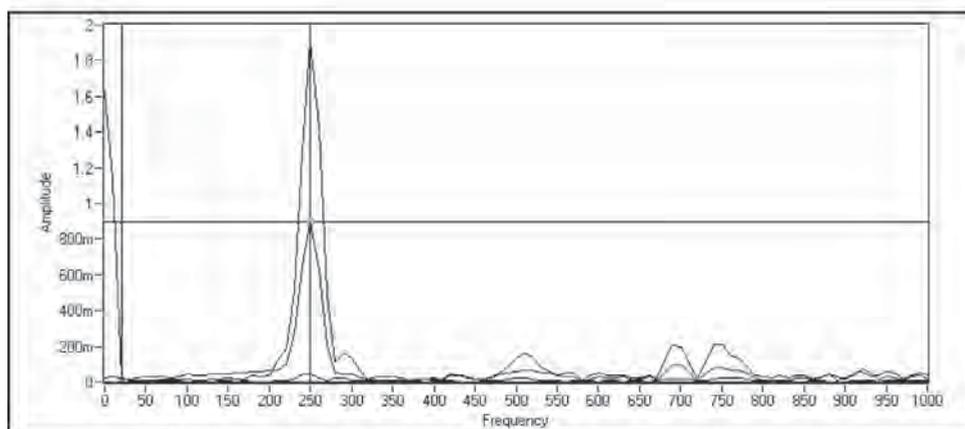


DESARROLLO DE PRUEBAS

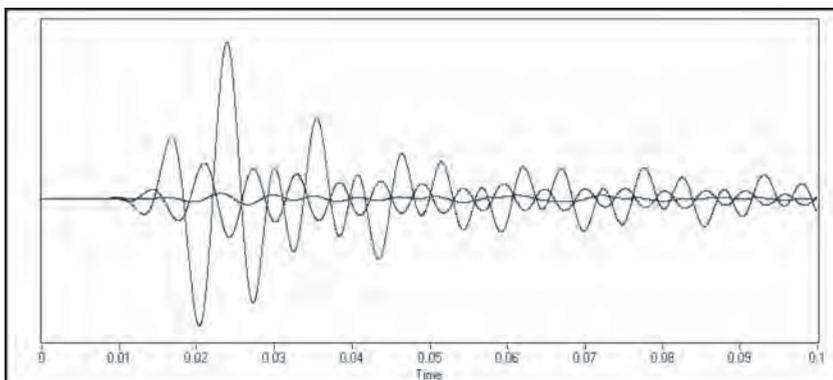
La prueba de vibración libre utiliza un péndulo Sharpy de impacto como el que se muestra a continuación:



El péndulo se utilizará para imprimir una fuerza externa sobre el caucho, la cual lo excitará haciéndolo vibrar libremente, esta prueba permite determinar la frecuencia natural del caucho:



Factor de amortiguamiento y decremento logarítmico:



El montaje de los sensores de aceleración es básico en la adquisición de datos, estos se disponen sobre el caucho amortiguador como se muestra en la ilustración:

La prueba de vibración forzada utiliza un banco experimental de pruebas diseñado para emular el comportamiento de sistemas técnicos industriales, como se muestra en la ilustración:

El banco experimental tiene como propósito estudiar la transmisibilidad de las vibraciones de las máquinas hacia las estructuras, lo cual permite la adaptación de los cauchos amortiguadores de la suspensión elástica al banco.

Los cauchos amortiguadores son colocados como bases del banco experimental y luego se realiza un barrido de frecuencia para determinar las frecuencias críticas del sistema, luego se realiza la prueba de transmisibilidad a una frecuencia establecida entre los rangos de operación previamente analizados; las curvas de transmisibilidad obtenidas son como se muestran a continuación:

CONCLUSIONES

Los resultados de las pruebas dinámicas en elastómeros dependen de la forma de la pieza a probar, el modo de deformación y la amplitud de la deformación, lo importante es estandarizar el proceso realizando siempre la prueba bajo las mismas condiciones, de esta forma se pueden

comparar los resultados obtenidos para un caucho original y el caucho que se desean homologar.

La frecuencia natural obtenida para los cauchos en las pruebas de vibración libre son bastante altas, esto se debe a que son cauchos con altos coeficientes de elasticidad diseñados para soportar grandes masas, como en esta prueba la única masa que soportan es la propia, la frecuencia natural captada por los sensores es muy alta, pese a esto la utilización de esta prueba resulta muy útil ya que permite comparar dos cauchos que se ven iguales y mostrar que están diseñados para funcionar bajo diferentes condiciones de trabajo.

Los resultados obtenidos en las curvas de transmisibilidad para los montajes de cauchos de nariz del motor original y nacional, permite visualizar las diferencias en el comportamiento de los sistemas, el sistema técnico que utiliza el caucho original opera bien hasta 1450 RPM, mientras que el sistema técnico operado con caucho nacional opera hasta 2300 RPM, de esta forma, muestra que los cauchos amortiguadores desarrollados por la industria nacional no cumplen con las especificaciones técnicas del caucho original.

Los resultados obtenidos a partir de la caracterización dinámica tales como frecuencia, amortiguamiento y transmisibilidad, dan una idea clara del elemento analizado y constituyen una base fundamental para la homologación de componentes.

La desviación estándar obtenida para la frecuencia natural del caucho original Penfeder, es casi del 2%, lo cual indica que las propiedades de los cauchos originales bajo las mismas condiciones de prueba no difieren en gran cantidad, ya que las pruebas realizadas en ellos muestran valores similares, por el contrario los cauchos nacionales, presentan una desviación estándar del 18% en la frecuencia natural, lo que es preocupante ya que las características de estos cauchos varían mucho entre ellos.

La observación de los resultados obtenidos en las pruebas de vibración libre para los cauchos amortiguadores de la nariz del motor, tanto el original como el nacional, presentan claras diferencias, de esta forma se puede decir que dos cauchos con geometría igual no tienen el mismo comportamiento, la clave está en el compuesto usado para desarrollarlos, ya que este provee la dureza y el amortiguamiento característico para el funcionamiento del caucho.

BIBLIOGRAFÍA

- NAGDI, Khairi. Rubber as an engineering material. Guideline for users. Ed Hanser. New York (Estados Unidos): 1993.
- BOTERO, Francisco Javier. 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): 2003.
- INMAN, Daniel. Engineer vibration. New York (Estados Unidos): 1996 Ed. Prentice Hall. GENT, Alan. Engineer with rubber. Ed. Hanser. New York (Estados Unidos): 1992.
- POSADA, Jorge Mario. Diseño de un péndulo de impacto para materiales plásticos. Tipo Sharpy Medellín (Colombia): 1986.
- HARTOG, Den. Mecánica de las vibraciones. New York (Estados Unidos): 1966 Ed. McGraw-Hill.
- RIVIN, Eugene. Passive vibration isolation. More action required. New York (Estados Unidos): (Enero, 2003).
- Norma RENFE (Red ferroviaria Española). No 03.324.180 Especificaciones para articulaciones elásticas.
- BETANCUR, Sandra Catalina. Construcción ensamble y puesta a punto de un actuador de corte para una maquina cortadora de tela. Medellín (Colombia): 2004.
- SAAVEDRA, pedro. Análisis de vibraciones de maquinas rotatorias Nivel 3. Metodo de diagnostico de fallas avanzado y técnicas de reducción de vibraciones.
- Catalogo de cauchos Phoenix, 2000.
- ASTM D 1054. standard test methods for rubber properties. ASTM international. 1997. ASTM 1054-91.
- ASTM D 2632. Standard test methods for rubber properties. ASTM international. 1997. ASTM D 2632-92.
- ASTM D 2231. Standard test methods for rubber properties. ASTM international. 1997. ASTM D 2231-94.
- Metro de Medellín, Medellín (Colombia), 2003 disponible en Internet en: <http://www.Metrodemedellin.org.co/portal/>
- RAE - Real Academia de la lengua Española, Madrid (España): RAE, 2002 disponible en Internet en: <http://www.rae.es>
- Artículos de los proyectos de grado realizados por los estudiantes de ingeniería mecánica que se graduaron en el año 2003, Medellín disponible en Internet en: <http://www.eafit.edu.co/NR/rdonlyres/CB6C7A3F-5981-4A85-AE66-62457B56A963/874/Cuaderno191.pdf>
- Pommereit, fabricante del caucho amortiguador del motor de tracción, Altdorf (Alemania), disponible en internet en: <http://www.pommereit.de>
- Enciclopedia ilustrada de vibraciones mecánicas MERL, Londres (Inglaterra): 2005 disponible en internet en: http://www.merl-ltd.co.uk/2003_services/index.shtml.

EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO DE UNA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA PARA REFRIGERACIÓN EN UNA EMPRESA FLEXOGRÁFICA

JUAN SEBASTIÁN VÁSQUEZ ALZATE. jvasqu13@eafit.edu.co

JESÚS ALBERTO PÉREZ M.

Departamento de ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS

DISEÑO DE SISTEMAS TÉCNICOS

ASESOR PRINCIPAL

JESÚS ALBERTO PÉREZ M.

SECTOR BENEFICIARIO

EMPRESAS PRODUCTORAS DE
EMPAQUES FLEXIBLES

RESUMEN

En este proyecto se hace una evaluación de las condiciones en las que se encuentran algunas de las variables relacionadas en la refrigeración de equipos para la producción de empaques flexibles, para una red de refrigeración en particular de una empresa de producción de empaques flexibles.

Los temas desarrollados en el proyecto tienen que ver con hidráulica de tuberías y con transferencia de calor, en este documento solo se presenta la parte hidráulica ya que el alcance del proyecto está más enfocado a evaluar variables desde este punto de vista, pero en el proyecto se realiza una evaluación de las condiciones del aislamiento térmico que allí se tiene, sin tratar a

fondo temas térmicos, los cuales se proponen como nuevos estudios para esta empresa.

INTRODUCCIÓN

La refrigeración, proceso por el que se reduce la temperatura de un espacio determinado y se mantiene esta temperatura baja con el fin, por ejemplo, de enfriar alimentos, conservar determinadas sustancias o conseguir un ambiente agradable, permite también en la producción de empaques flexibles la consecución de los acabados ideales por medio de choque térmico de los materiales en caliente y el agua fría. Además de los acabados, la refrigeración en el proceso flexográfico tiene como función también garantizar que los dispositivos de impresión que están en contacto, como rodillos, no sufran recalentamientos excesivos que puedan deteriorar el material y otros componentes máquina (Chillers@, 2005).

Dentro del proceso de refrigeración por agua se ven involucradas una buena cantidad de áreas del conocimiento, dentro de cuales se puede encontrar flujo portuberías que es el método más común para transportar fluidos de un punto a otro, elección de materiales, accesorios, estudio de los fenómenos relacionados con fluidos y estudio y eliminación en lo posibles de las pérdidas de energía que puedan encontrarse.

La empresa en la que se realizó el estudio tiene problemas en cuanto a su proceso de refrigeración, no se sabe exactamente a que se deben las deficiencias; lo que si se sabe es que el diámetro de toda la tubería no es uniforme y según las características de una buena red, esta debe ser un ducto cerrado de sección circular y diámetro interior constante (Crane,1998,1).

Se pretende entonces encontrar cuales son las deficiencias principales en la red, determinar la causa de las deficiencias; ya sean por la configuración de la acometida o la capacidad de refrigeración de los equipos y por último proponer mejoras buscando solucionar las deficiencias encontradas.

PROCESO PRODUCTIVO DE EMPAQUES FLEXIBLES

Los siguientes son los procesos base pero se pueden obtener diferentes combinaciones en los productos de acuerdo a las especificaciones que desee el cliente.

Extrusión

La extrusión es el proceso utilizado para producir películas plásticas por medio de un sistema de soplado en el cual se utiliza una boquilla o molde circular. En este proceso se obtiene un tubular o lámina plástica que puede ser de diferentes diámetros y espesores, se pueden ofrecer en rollos de tubulares o en rollos de lámina; donde el tubular sería una especie de bolsa continua sin particiones y el rollo en lámina solo una película de plástico (Vélez y otro,1994,62-63).

Impresión

El sustrato o material en el que normalmente se imprime puede ser papel y plásticos autoadheribles, la impresión es posible desde una hasta ocho tintas incluyendo diferentes tipos de acabados como lo son barnices (de máquina, alto brillo o ultravioleta), laminación plástica y estampado de película (Litoflex@, 2005). Es un método rotativo que emplea planchas fotopoliméricas o planchas de caucho y tintas fluidas de secado rápido. El número de colores a imprimir depende del número de unidades de impresión de la máquina.

Laminación

Laminar es unir varias películas simples para lograr una sola lámina compuesta que aporte la suma de todas las propiedades de las películas plásticas que la conforman.

La función principal de la laminación es aislar la impresión de todos aquellos factores que la deterioren o puedan contaminar el producto que se va a empaquetar.

En este proceso el agua fría cumple la misma función que en impresión, evitando deformaciones en rodillos por causa de altas temperaturas en este caso causado por los líquidos pegantes y por el paso del sustrato por el túnel de secado.

Corte

Con este proceso se pretende, básicamente efectuar dos operaciones así: eliminar extremos sobrantes de una bobina, con el fin de dar medidas finales a la misma o cotar bobinas grandes pasándolas a bobinas con las medidas deseadas por el cliente.

Adicionalmente se puede rebobinar material con el fin de mejorar la tensión del rollo de material (enrollarlo con mas presión), adecuarlo para un proceso posterior, inspeccionar materiales o cambiarle el sentido del embobinado al rollo (Vélez y otro,1994,62-63).

En este proceso no interfiere la red de refrigeración ya que no se necesita enfriamiento de componentes o materiales.

COMPONENTES INVOLUCRADOS EN UNA RED DE REFRIGERACIÓN

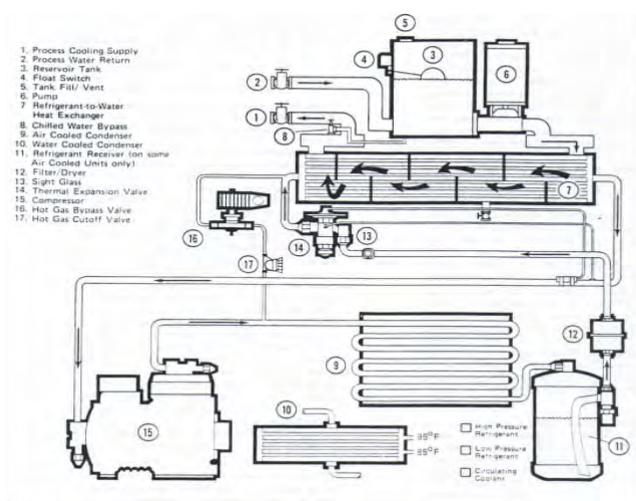
Sistema central de enfriamiento de agua (Chiller)

Es el componente vital, de este depende que el agua se encuentre con la temperatura, la presión y el caudal adecuado. Esto se logra con el mismo principio de refrigeración que tiene cualquier equipo

de acondicionamiento de aire, como se muestra en el circuito de refrigeración de la figura 1.

Es una máquina térmica que tiene como función principal bajar la temperatura del agua que llega del proceso de refrigeración de los equipos o del acueducto, además de esta función también permite generar la presión y el caudal adecuado a las demandas de los equipos o procesos de conformado de empaques. Su principio de funcionamiento se basa en el ciclo de refrigeración ya explicado.

FIGURA 1. Circuito de refrigeración de un chiller



FILTRACIÓN DE IMPUREZAS EN EL AGUA

La purificación del agua se realiza por medio de un filtro de arena. Es un método muy robusto para separar los sólidos suspendidos del agua. La filtración media consiste en una capa múltiple de la arena con una variedad en tamaño y gravedad específica. Los filtros de arena se pueden proveer en diversos tamaños y ambos pueden ser manejados manualmente o de forma totalmente automática.

ABASTECIMIENTO DE LA RED

El agua que se puede llegar a perder por fugas en la tubería, aunque es poco probable, sin embargo en el momento de tener deficiencias de cantidad de agua esta se puede reponer por medio de un tanque

conectado al acueducto que también esta conectado con la red de agua, mas exactamente con los chillers. El abastecimiento se hace automáticamente por medio de un flotador que al detectar un nivel de agua bajo permite la entrada de agua del acueducto.

DETERMINACIÓN DE LAS DEFICIENCIAS HIDRÁULICAS

Para entender el comportamiento de la red se simuló en el software *Pipe-Flo Professional* versión 7, para esto se ingresaron variables como material de tubería que es PVC, longitudes, alturas, diámetros, fluido circulante que es agua a 10°C, características de los equipos de bombeo en los chillers, accesorios. Los datos de los equipos de bombeo se deben ingresar manualmente conociendo las curvas de desempeño de las bombas, esto también aplica para cuando se tienen componentes como intercambiadores de calor y filtros en los cuales se tienen pérdidas de presión y se deben simular para obtener resultados. Los equipos de bombeo también se pueden simular mediante librerías que contiene el software, con solo ingresarle los datos característicos de las bombas.

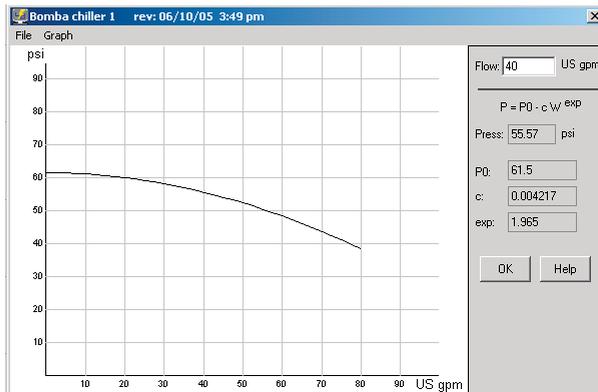
TABLA 1. Confiabilidad de resultados

Confiabilidad de los resultados			
Variable real		Variable simulada	
Caudal chillers	1y2=40gpm	Caudal chillers	1y2=40gpm
Presiones chillers	1y2=60psi	Presiones chillers	1y2=55.57psi
Caudal respaldo=	chiller 45gpm	Caudal respaldo=	chiller 45gpm
Presión respaldo=	chiller 58psi	Presión respaldo=	chiller 57.5psi

Para el caso de la red que se simuló, se ingresaron manualmente los datos de las bombas como también se eligió de una de las librerías un tipo de bomba de la cual no se tenía curvas de desempeño. Los datos simulados de las bombas resultaron estar muy cerca a los datos reales, lo cual hace que se tenga una buena confiabilidad de los resultados, como se muestra en la tabla 1.

En la figura 2 se muestra la curva de desempeño de las bombas ingresadas manualmente, los datos se obtuvieron de los manuales de los chillers. Esta ventana es proporcionada por *Pipe-Flo Professional* después de ingresarle datos de presión y caudal característicos para la bomba.

FIGURA 2. Simulación gráfica de desempeño bombas centrífugas

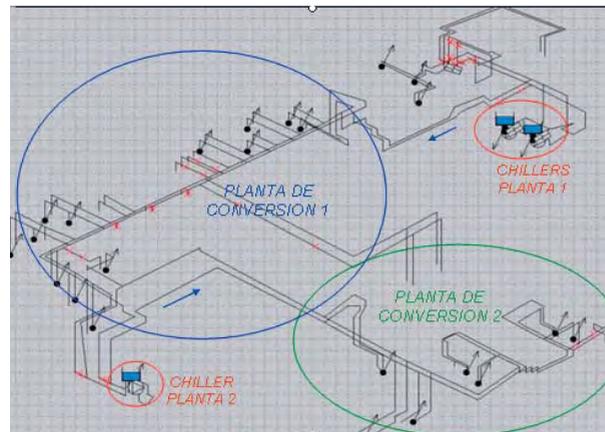


Resultados obtenidos

En la figura 3 se muestra el esquema simulado correspondiente a la red que actualmente opera en la empresa con sus respectivas bombas, demandas en máquinas componentes, tanques y restricciones de paso de flujo. Las restricciones de paso de flujo son las equis de color rojo, las cuales indican que en el momento de obtención de resultados no están en operación, estas se colocan ya que algunas de las máquinas ya no están funcionando debido a su antigüedad.

Los problemas que se encontraron fueron deficiencias en cuanto a las demandas de presión de algunas máquinas, relacionadas mas con la capacidad de los equipos de bombeo que con el diseño de la tubería, ya que halló el diámetro óptimo de la red mediante una nomografía para la aplicación de la formula de Hazen-Williams, donde se encontró como resultado un diámetro de 2" muy cerca del diámetro que se tienen que es de 2.5" y no justificó su cambio debido a que las pérdidas no sufren un cambio considerable.

FIGURA 3. Esquema de la red simulada



La presión es una variable de vital importancia ya que a mas baja presión se tiene una velocidad mayor que no permite un suficiente enfriamiento de los componentes que se necesitan refrigerar.

SOLUCIONES PROPUESTAS

Para incrementar las presiones que estaban por debajo en algunas máquinas se propuso aumentar la potencia de las bombas de los chillers de la planta 1 (figura 3) de 3 hp a 5 hp, donde con esta mejora se sobrepasaba la presión demanda por las máquinas.

Para la planta 2 se propuso colocar un chiller en paralelo con iguales características del equipo de bombeo que ya se tiene para evitar presiones descompensadas al colocar una bomba con mayor o menor capacidad. Esta propuesta mejora las deficiencias de presión en las máquinas y además permite dejar un margen de 17gpm de caudal para la llegada de nueva maquinaria, que era una de los requerimientos que hacia la empresa para tener en cuenta en las mejoras.

Con este margen se podrían satisfacer las demandas de caudal de maquinaria con características similares a las que ya se tienen pues estas tienen un consumo de 12gpm.

CONCLUSIONES

Según los resultados obtenidos en el programa *Pipe-Flo Professional* las deficiencias en la red son debidas a que la presión requerida por las máquinas de acuerdo a las recomendaciones de los fabricantes esta por debajo de lo especificado.

El incremento de la capacidad en equipos de bombeo y refrigeración se recomienda hacerlo poniendo un chiller adicional en paralelo al que respalda los dos principales con características similares al que ya se tienen y así evitar pérdidas de energía por presiones descompensadas, para aumentar las deficiencias que se tienen en cuanto a presión en las máquinas de la planta de conversión numero dos. Para las máquinas de la planta de conversión uno se recomienda aumentar la potencia de las bombas a 5hp, y como nuevo estudio se propone averiguar que tanto se estaría sacrificando la temperatura de llegada a las máquinas, ya que esto afectaría las toneladas refrigeración.

Se recomienda un estudio desde el punto de vista térmico para asegurar un balance energético entre lo que consumen las máquinas y lo que generan los chillers y así llegar a un acuerdo entre las propuestas desde el punto de vista hidráulico y desde el punto de vista térmico y optimizar el consumo energético. Además calibrar cada año los manómetros e instalar medidores de flujo volumétrico a la salida de las bombas para saber en que condiciones esta saliendo el agua de los chillers y así ingresar estos datos al programa y obtener resultados inmediatos y confiables.

BIBLIOGRAFÍA

APPLICATION ENGINEERING CORPORATION. Operating and installation instructions for portable water chillers. Elk Grove, ILL, U.S.A. 22p.

CRANE. Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías. México D.F, Mexico: Editorial McGraw-Hill, 1998. ISBN:968-451-846-3. 210p.

HYDRAULIC INSTITUTE. Engineering Data Book. Second Edition. Cleveland, Ohio, U.S.A: 1990. 207p.

MOTT, Robert L. Mecánica de fluidos aplicada, cuarta edición. Mexico D.F, Mexico: Editorial Editorial Prentice-Hall Hispanoamerica, 1996. ISBN 968-880-542-4. 579p.

VELEZ CADAVID, Carolina y otro. Estudio de la aplicación de reingeniería en el proceso de producción de una empresa de empaques flexibles. Medellín, Colombia.1994.135p. Proyecto de grado. Universidad Eafit. Escuela de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Mecánica.

CYBERGRAFÍA

Chillers@
Schaub chillers service. 6 de enero de 2005. [En línea]. [Citado el 11 de abril de 2005]. Disponible en Internet en: <http://www.chillers.com/ChillerBasicsDescriptionUses.htm>

Litoflex@
Litoflex, S.A. de C.V. [En línea]. [Citado el 13 de abril de 2005]. Disponible en Internet en: <http://www.litoflex.com.mx/flexo/>

Pipe-Flo Professional@
Engineered Software. A Flo Series program. Versión 7.

DISEÑO DE UNA PLANCHA INDUSTRIAL DE VAPOR ALIMENTADA POR GRAVEDAD

ALEJANDRO ARROYAVE LÓPEZ. aarroya3@eafit.edu.co
JAIME RODRIGO GIRALDO CARVAJAL. jgiral27@eafit.edu.co
Ing. TYRONNE ALEXIS BONNETT GONZÁLEZ
Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS

DISEÑO DE SISTEMAS TÉCNICOS

ASESOR PRINCIPAL

Ing. TYRONNE ALEXIS BONNETT GONZÁLEZ

SECTOR BENEFICIADO

INDUSTRIA DE LA CONFECCION

RESUMEN

El propósito de este proyecto es diseñar una plancha industrial de vapor alimentada por gravedad que cumpla con los requerimientos de la industria colombiana, así como la construcción de un prototipo funcional, complementado por un estudio de mercado que verifique la conveniencia o no de ofrecer el diseño en el mercado nacional. Este tipo de planchas, además de ser usadas para el acabado de las prendas nuevas, también es ampliamente usado en sastrerías, lavanderías y hoteles, entre otros tipos de empresas que trabajan con textiles ya sean nuevos o usados.

ABSTRACT

The purpose of this project is to design a gravity fed industrial steam iron that fulfills the requirements of the Colombian industry and also to build a functional prototype, complemented by a merchandising study that verifies the convenience to offer the design in the national market. This kind of irons, besides being used to

finish the process of making new clothes, is widely used in tailor's shops, laundries and hotels among other types of businesses that work with either new or used clothes.

PALABRAS CLAVE

Transferencia de calor, conducción, convección, regímenes de ebullición, temperatura, vapor.

KEY WORDS

Heat transfer, conduction, convection, boiling regimens, temperature, steam.

INTRODUCCIÓN

La plancha industrial de alimentación por gravedad es una herramienta obligatoria en cualquier taller de confección sin importar que tan pequeño sea y que además de ser usada en estos para el acabado de las prendas nuevas, también puede ser usada en sastrerías, lavanderías y hoteles, entre otros tipos de empresas que trabajan con prendas textiles ya sean nuevas o usadas, lo cual aumenta el potencial de comercialización de este producto.

Teniendo en cuenta lo anterior, y además que las planchas industriales de este tipo que se utilizan en Colombia son en su totalidad importadas de países industrializados como Corea del Sur y Japón, se hace importante cualquier intento por diseñar productos propios que permitan sustituir importaciones y beneficiar

la economía del país alimentando el mercado interno con equipos producidos nacionalmente.

TRANSFERENCIA DE CALOR

La transferencia de calor es definida como la energía en tránsito debido a una diferencia de temperaturas. Siempre que exista una diferencia de temperaturas en un cuerpo o entre cuerpos, debe ocurrir una transferencia de calor (Incropera y otro, 1996).

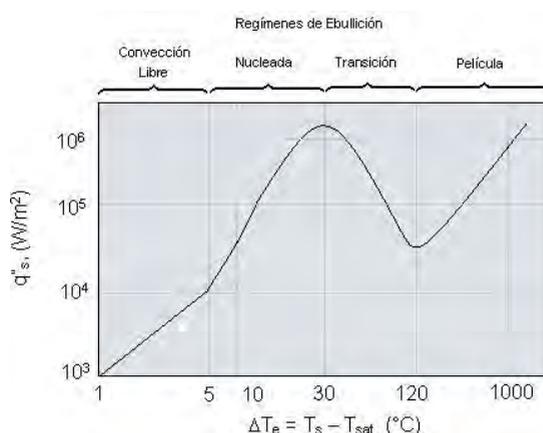
Las formas de transferencia de calor son la conducción, la convección y la radiación, siendo las dos primeras las más importantes para el desarrollo de este proyecto. Para cada una de estas formas de transferencia de calor se han desarrollado correlaciones que permiten determinar el flujo de calor transferido dependiendo de las condiciones en las que se desarrolla el fenómeno.

EBULLICIÓN

La transferencia de calor hacia un líquido hirviendo es un proceso de convección que implica un cambio de fase de líquido a vapor conocido como evaporación o ebullición. Las variables asociadas a este cambio de fase, sumadas a las asociadas a la convección, hacen que los fenómenos de transferencia de calor por ebullición sean más complejos que los de convección sin cambio de fase.

Gracias al gran número de variables asociadas a este fenómeno como las características superficiales, la tensión superficial, el calor latente de vaporización, la presión y la densidad, entre otras, sumadas a las de convección con fase líquida, no se cuenta con ecuaciones generales que describan el proceso de ebullición, ni con correlaciones generales de datos de transferencia de calor por ebullición. Sin embargo, nuevas tecnologías han permitido observar que existen diferentes regímenes de ebullición donde los mecanismos de transferencia de calor son muy distintos pero cuyos datos que se han podido correlacionar experimentalmente por separado (Kreith y otro, 2001).

FIGURA 1
Curva típica de ebullición para agua a 1 atmósfera



(Incropera y otro, 1996)

FUNCIONAMIENTO DE UNA PLANCHA

Las planchas trabajan aflojando los enlaces entre las cadenas largas de moléculas de polímero que existen en las fibras del material de los textiles. Mientras que estas moléculas están calientes, las fibras se estiran por el peso de la plancha y la fuerza ejercida por el operario y luego mantienen su nueva forma cuando se enfrían. Algunos materiales como el algodón, requieren que se les añada agua para ayudar a aflojar los lazos intermoleculares (Wikipedia@2005).

PROCESO DE DESARROLLO

Basados en la teoría expuesta anteriormente y en una lista de requerimientos que se obtuvo a partir de visitas y encuestas realizadas a varios talleres de confección, se diseñó una plancha industrial de vapor que trabaja en un rango de temperaturas entre 120 y 230°C, que son las temperaturas mínima y máxima que se recomiendan para el planchado de los distintos tipos de prendas que existen, dependiendo del material de la fibra textil que compone la tela en cuestión.

RESULTADO

El desarrollo del proyecto arrojó como resultado una plancha de 2,2 kg de peso, con un consumo de 800 W

de potencia máxima, para ser conectada a una fuente de corriente alterna de 110 voltios y con unas dimensiones de 200 milímetros de largo por 120 de ancho y 160 de alto.

FIGURA 2
Modelo de la plancha



CONCLUSIONES

El uso de resistencias de cartucho, no sólo es conveniente en cuanto a mayor facilidad en el proceso de manufactura de la base, sino que además permite que estas sean reemplazadas fácilmente en caso de que presenten una avería, lo cual es una ventaja importante con respecto a las planchas comercializadas actualmente ya que al fallar la resistencia de estas, la plancha no tiene posibilidad de arreglo y debe ser reemplazada en su totalidad.

Del análisis del costo de la plancha, se obtuvo una posible rentabilidad del 24,86%, que al compararla con las tasas promedio de rentabilidad que se manejan en el medio, que oscilan entre el 25% y el 35%, podemos concluir que es viable producir esta plancha para ofrecerla a nivel nacional.

Es importante tener en cuenta desde las primeras fases de proceso de diseño cuales son las capacidades de la industria local en cuanto a procesos de manufactura y materia prima disponible en el medio, con el fin de no verse en la obligación de rediseñar sobre la marcha.

BIBLIOGRAFÍA

INCROPERA, Frank P., DEWITT, David P. Fundamentos de Transferencia de Calor. 4 ed. Ciudad de México, México: Prentice Hall, 1999. 46 p. ISBN 970-17-0170-4.

KREITH, Frank y BOHN, Mark S. Principios de Transferencia de Calor. 6 ed. Ciudad de México, México: Thomson Learning, 2001. p. 649-663. ISBN 970-686-063-0.

Wikipedia@

WIKIPEDIA. "Plancha de Ropa". 2005. [En línea]. [Citado el 12 de marzo de 2005]. Disponible en Internet en: <http://es.wikipedia.org/wiki/Plancha>

ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN VEHÍCULO HÍBRIDO

ALEJANDRO BERMÚDEZ GARZÓN. abermud5@eafit.edu.co

SERGIO LUÍS MEJÍA VILLEGAS. smejiavi@eafit.edu.co

CÉSAR MAURICIO RIVERA HERRERA. criverah@eafit.edu.co

Ing. IVÁN ARANGO

Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS

DISEÑO DE SISTEMAS TÉCNICOS

ASESOR PRINCIPAL

Ing. IVÁN ARANGO

SECTOR BENEFICIADO

SECTOR PÚBLICO

RESUMEN

El incremento en los precios de los combustibles fósiles, ha obligado a las diferentes tecnologías a desarrollar tanto combustibles alternos como el Biodiesel o GNV, como vehículos híbridos, los cuales generan poco impacto ambiental.

El proyecto presenta una alternativa económica de transporte tipo bicicleta, donde se combinan varias fuentes de energía, tales como: mecánica, eléctrica y de combustión interna, contenidas en el vehículo híbrido.

Ilustración 1. Producto final

PALABRAS CLAVES

Diseño vehículo, vehículo híbrido, vehículo eléctrico, combustibles alternos, bicicleta, motores.

ABSTRACT

The increase in the prices of fossil fuels, has forced to the different technologies to develop so much alternating combustible as Biodiesel or GNV, as hybrid vehicles, which generate little impact environmental.

The project presents an economic alternative of transport type bicycle, where several energy forms are combined, such as: mechanic, electrical and of internal combustion, contained in the hybrid vehicle

KEY WORD

Design vehicle, hybrid vehicle, electrical vehicle, alternating fuels, bicycle, motors.

INTRODUCCIÓN

En el presente proyecto de grado se evalúa las tecnologías existentes para la construcción de un vehículo híbrido, seleccionando y adaptando algunas fuentes de energía como son baterías, motor de combustión, controlador, y motor eléctrico para corporificar un vehículo con el mejor rendimiento posible, en cuanto a la disminución de la contaminación y aumentando la eficiencia en la distancia de desplazamiento.

La optimización de los medios de transporte es una necesidad dado el alto costo de los combustibles fósiles y su carácter no renovable; además de los altos índices de contaminación que se generan de su uso.

La eficiencia del uso energético es fundamental para el buen aprovechamiento de los recursos, dado que los motores de combustión solo tienen rendimientos del alrededor del 20% y con un arreglo híbrido se pueden alcanzar eficiencias del 80%, y disminuir la contaminación ambiental hasta en un 98%.

OBJETIVO GENERAL

Construir un vehículo híbrido para el transporte de una persona, con una capacidad de carga de 80kg; para ser movilizado en la zona sur del valle de aburra con una pendiente de inclinación menor al 3% y una velocidad máxima de 60km-h

CONCEPTUALIZACION

Un vehículo híbrido utiliza más de una fuente de energía, casi siempre un motor de combustión interna y un motor eléctrico. Los vehículos híbridos se dividen en dos configuraciones, en paralelo y en serie.

La configuración en serie consiste en transformar toda la energía del motor de combustión, en energía eléctrica y de efectuar la propulsión del vehículo solamente por uno o más motores eléctricos. Ningún vínculo mecánico está entonces presente entre el motor de combustión y las ruedas.

La configuración en paralelo, por su parte, implica un vínculo mecánico entre el motor de combustión y las ruedas, como un vehículo convencional, y solamente una parte de la energía del motor de combustión se convierte en energía eléctrica en caso de ser necesario.

Con esta configuración, los dos sistemas contribuyen a la tracción cuando la solicitud de potencia es elevada, lo que permite calcular las dimensiones del sistema eléctrico para solamente una parte de la potencia de tracción.

ILUSTRACIÓN 2.
Configuración en serie

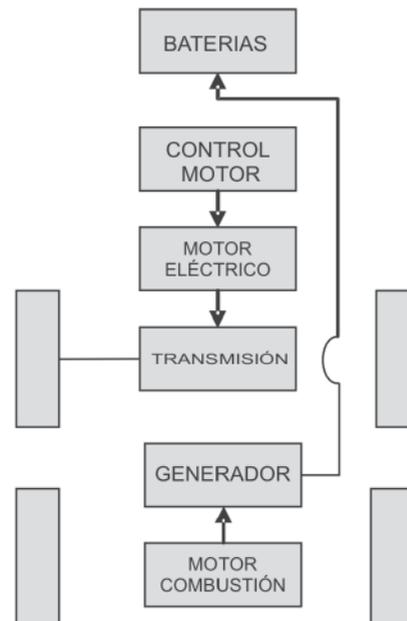
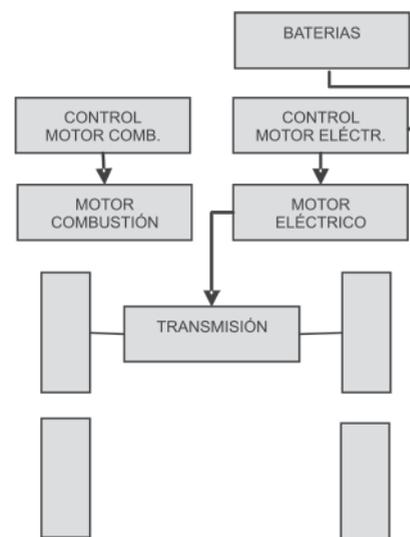


ILUSTRACIÓN 3.
Configuración en paralelo



La configuración final seleccionada es la paralela, que tiene la ventaja de seleccionar cada fuente de energía dependiendo de la necesidad, las tres transmisiones se vinculan con la rueda trasera de la bicicleta.

CIRCUITOS ELECTRÓNICOS

Los circuitos de PWM son ampliamente usados para regular la velocidad de vehículos eléctricos, se pueden construir circuitos de baja frecuencia alrededor de los 500 Hz y circuitos de alta frecuencia alrededor de 20 KHz a 30 KHz.

Los circuitos de alta frecuencia son más recomendables para este tipo de aplicación y dan mejores resultados, el circuito se compone de tres etapas fácilmente distinguibles y cuyos planos se presenta a continuación.

La etapa lógica de baja potencia se compone de un solo integrado amplificador operacional cuádruple.

El TL084 que genera una onda diente de sierra con los dos primeros comparadores, esta onda se entrega en la salida del terminal siete, y posteriormente es comparada con un nivel de voltaje establecido por el potenciómetro y el tercer operacional cuya salida es la número catorce, esta dos señales son comparadas por el último operacional el cual como producto de la comparación genera en la salida de la terminal ocho una señal de PWM.

ILUSTRACIÓN 4. Configuración final

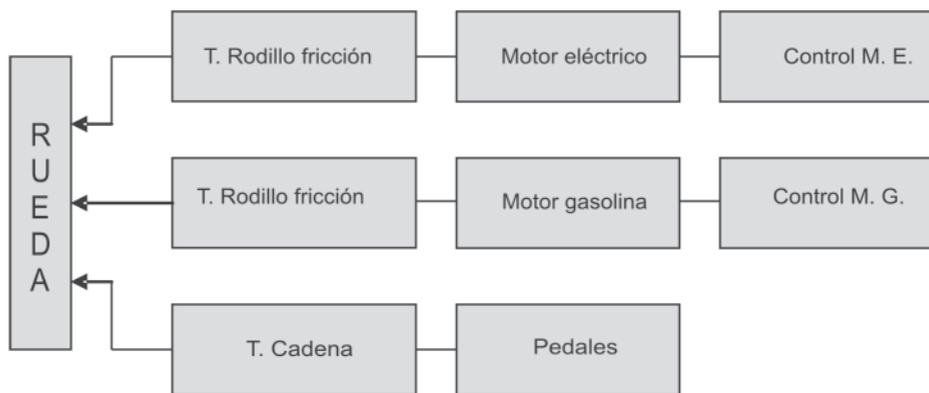
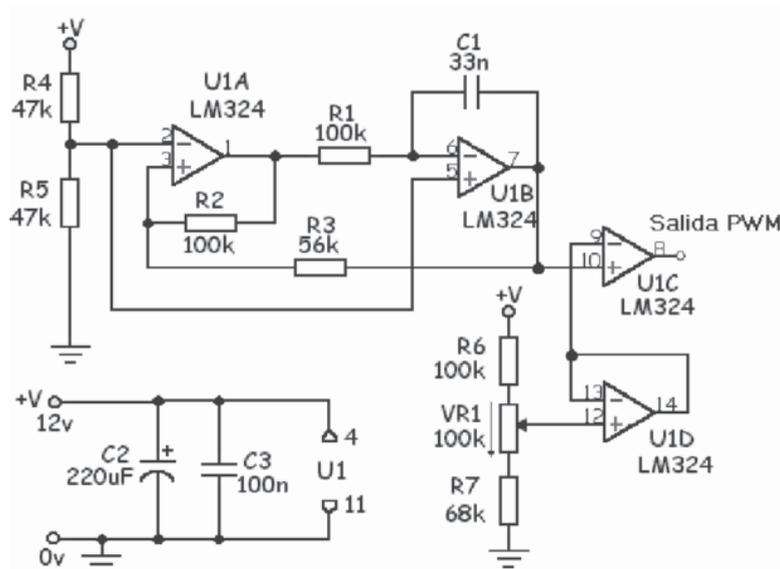
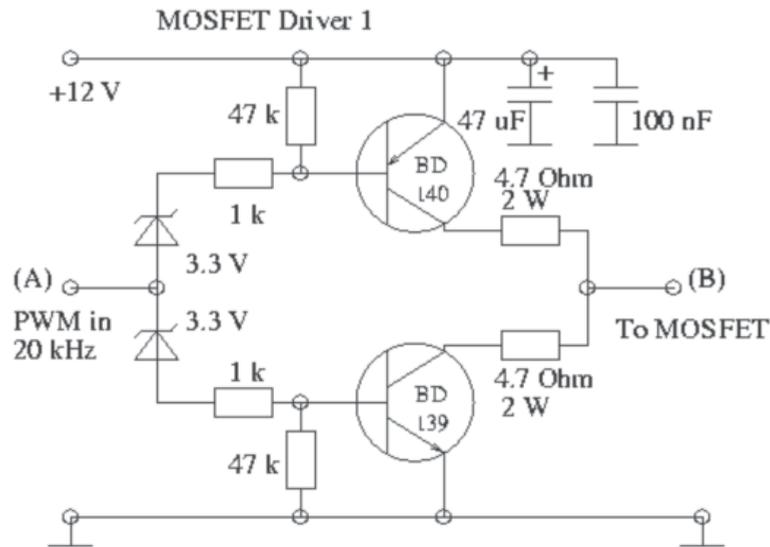


ILUSTRACIÓN 5. Generación PWM



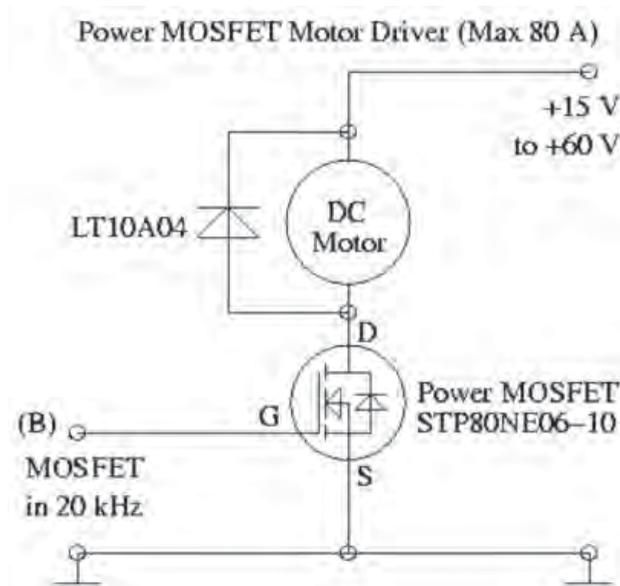
La segunda etapa es el driver para el MOSFET de potencia, esta etapa se encarga de suministrar los niveles de corriente y voltaje suficientes para hacer posible que el MOSFET de potencia se active al ritmo de los pulsos generados en el circuito de baja potencia, para esta etapa se selecciona un circuito con componentes discretos.

ILUSTRACIÓN 6. Driver mosfet



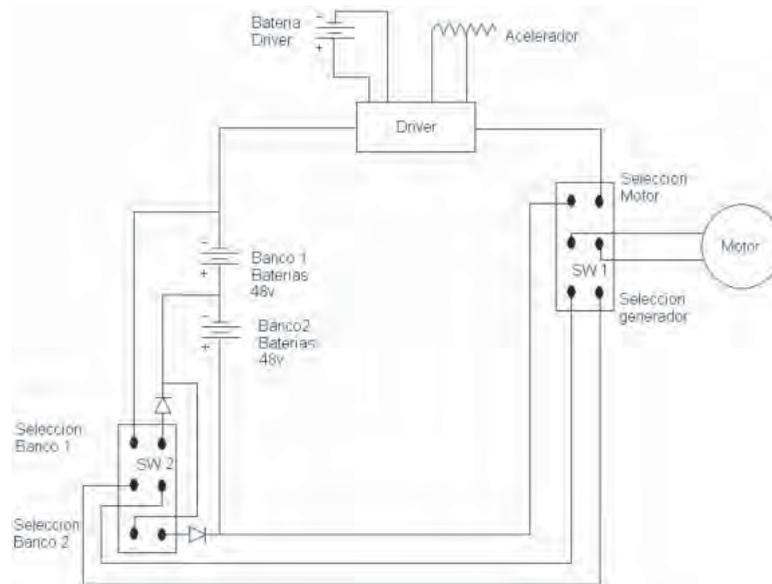
La tercera etapa es de potencia y su componente principal es un MOSFET de potencia que se encarga de reproducir los pulsos generados en la parte de baja potencia pero con los voltajes y corrientes requeridos por el motor, además el circuito incluye un diodo de alta potencia como protección del circuito contra los voltajes devueltos al suichear las bobinas del motor, estos voltajes contraelectromotrices pueden hacer que se dañen los componentes del circuito si no son controlados en la fuente, un diagrama para esta etapa se muestra en la siguiente figura.

ILUSTRACIÓN 7. Circuito potencia



Un plano general de la instalación eléctrica se muestra a continuación, en esta se pueden observar los detalles del moto-generador, funcionando como motor y funcionando como generador para la carga de las baterías.

ILUSTRACIÓN 8. Plano general eléctrico



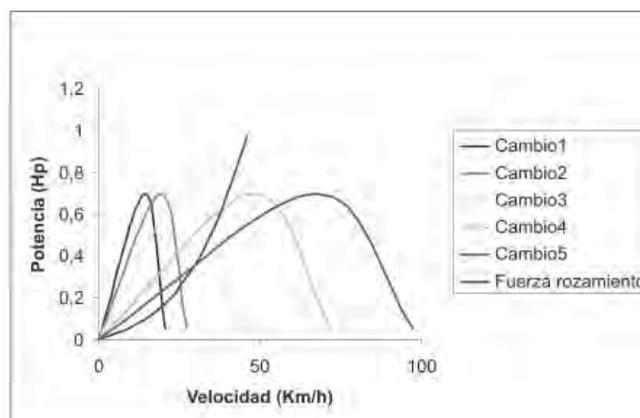
DESEMPEÑO DEL VEHÍCULO

Las pruebas de desempeño de la bicicleta se determinaron todas en terreno totalmente plano, para estas condiciones los resultados obtenidos fueron los siguientes.

Se realizaron pruebas a la bicicleta solamente con el sistema de pedales, para cinco velocidades de está, a continuación se presentan los resultados en la ilustración 9, con la curva de rozamiento calculada con anterioridad.

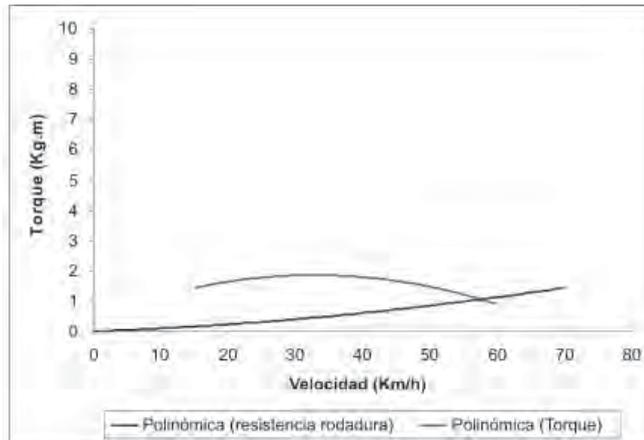
De esta gráfica se puede apreciar que, aunque en el último cambio (cambio 5) desarrollado, se logró la máxima potencia y luego comienza a disminuir, se puede seguir aumentando la velocidad de desplazamiento a menor potencia.

ILUSTRACIÓN 9. Desempeño sistema mecánico



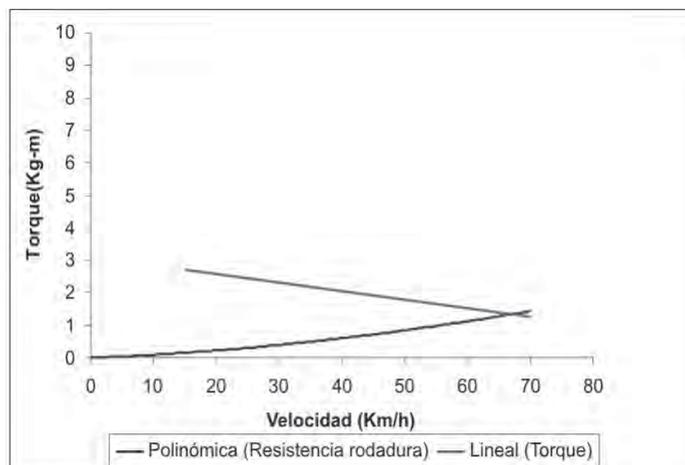
Con el motor de combustión, se presenta la siguiente figura, donde el punto de cruce de las dos graficas corresponde a la máxima velocidad posible alcanzable en una superficie plana, este es el punto donde toda la potencia generada por el motor a gasolina se consume en vencer la resistencia a la rodadura.

ILUSTRACIÓN 10. Desempeño con motor de gasolina



Con el motor eléctrico también se genera una grafica de desempeño, el cruce de curvas indica el punto de máxima velocidad alcanzada después de vencer las perdidas por rodadura, en este caso el motor eléctrico ofrece mejor arranque porque este presenta su máximo torque en el momento del arranque, esto le da un mejor desempeño al vehículo y una forma de trabajar mas pareja y sin vibraciones por las características del motor.

ILUSTRACIÓN 11. Desempeño con motor eléctrico



CONCLUSIONES

La configuración en paralelo ofrece las mejores ventajas porque se puede seleccionar el tipo de propulsión que mueve el vehículo o decidir sobre la actuación de todos los sistemas simultáneamente para obtener un aporte energético que suma todas las posibilidades de potencia que posee el vehículo.

Para sistemas pequeños y de altas potencias es fundamental aprovechar las ventajas mecánicas que ofrece las altas revoluciones, sin embargo estas necesitan de varios niveles de reducción para obtener las revoluciones de trabajo, los rodillos de fricción son una alternativa muy eficiente y aprovecha las diferencias de diámetros diferentes para simplificar de manera sustancial el acoplamiento mecánico de estas características.

La combinación híbrida seleccionada que incluye la fuerza humana es ideal para el desempeño de los sistemas de combustión interna y energía eléctrica de baja potencia seleccionados, el empleo de la fuerza humana y la inercia del cuerpo ofrecen muchas ventajas en el momento del arranque y permite a los demás sistemas contribuir al impulso después de haber iniciado el recorrido.

BIBLIOGRAFÍA

- BURKE, A.F, Hybrid/Electric vehicle design options and evaluations, SAE SP-915, p. 53-77, 1992.
- CHAPMAN, Stephen. Máquinas Eléctricas. McGraw-Hill. 1988. Bogotá Colombia, p.233, 284, 303-310, 375, 447, 481. ISBN 97-01049-47-0
- GILLESPIE, T.D.. Fundamentals of vehicle dynamics, segunda edición, Society of Automotive Engineers, 1992.
- HAMROCK B.J, JACOBSON B, SCHIMD S.R, Elementos de máquinas 1. Ed. En español. McGraw-Hill. Mexico D.C, 2000, p. 8, 261, 269. ISBN 970102799-X.
- HANSELMAN, DUANE. Brushless Permanent-Magnet Motor design. McGraw-Hill. Segunda edición. 2003. p130-152. ISBN 1932133631.

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA ELÍPTICA DADA UNA TRAYECTORIA

RUBÉN DARÍO GARCÍA MARÍN, rubeng357@yahoo.com

VÍCTOR COCK

Departamento de ingeniería mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS

DISEÑO DE SISTEMAS TÉCNICOS

ASESOR PRINCIPAL

VÍCTOR COCK

SECTOR BENEFICIADO

SECTOR DEPORTES

RESUMEN

En los últimos años, de acuerdo con los cambios en los hábitos de vida y de consumo de la población, se observa una marcada tendencia a la práctica habitual de ejercicio físico y principalmente el cardiovascular, por los positivos efectos que genera en la salud y en la calidad de vida: elimina depósitos de tejido adiposo, reduce los niveles de estrés y genera sensación de aumento de energía, entre otros.

La máquina predilecta para esta práctica es la elíptica, por involucrar todas las áreas del cuerpo durante su uso y por ser libre de impacto.

Dado que en Colombia no hay oferta nacional de este tipo de equipos, acceder a ellos implica altos costos asociados a la importación de los mismos.

Mediante este proyecto se plantea una metodología para el desarrollo de una máquina elíptica, con condiciones equiparables a las mejores del mercado y a costos asequibles.

ABSTRACT

In recent years, based on consumer behavior and lifestyle, we can see how people is more interested in exercising themselves, especially with cardiovascular machines. This practice helps to lose fat, reduces stress and increase the energy.

The best cardio machine is the Elíptica because it is impact free and it integrates every part of the body in the movement.

We do not have in Colombia in this moment local production of this equipment, therefore, to have access to it is very expensive.

Based on this necessity is the development of this project, so the Colombians can have access to a machine with high quality standars and capable to compete with the best ones.

PALABRAS CLAVE

Cardiovascular, calapie, biela, balancín, alternador, freno magnético, remos, electrodos.

1. INTRODUCCION

La máquina elíptica, hace parte de las opciones que ofrece el mercado de equipos para acondicionamiento físico, especialmente a nivel cardiovascular, y en el se ha posicionado como una de las opciones predilectas por los usuarios, por sus características de posibilitar movimientos libre de impacto e involucrar amplias áreas del cuerpo (brazos y piernas).

Son amplias las alternativas que ofrece el mercado de equipos para acondicionamiento físico, particularmente en el segmento de máquinas elípticas, y los principales atributos que generan diferencias entre ellas son: trayectoria, electrónica y acabados, siendo la trayectoria el principal factor de diferenciación. Desde el punto de vista mecánico una máquina elíptica es un calapie ubicado aproximadamente en el punto central de una biela (elemento mecánico que rota y se traslada), la cual a su vez se encuentra conectada en uno de sus extremos a una volante y en el otro a un dispositivo tipo riel, o balancín. El movimiento generado por el cuerpo de quien la usa, es transmitido a la volante y allí se convierte en velocidad angular en un eje. El mecanismo de control de la máquina es la administración de resistencia a este movimiento (aumento o disminución del mismo), el cual a su vez se constituye en la única variable a controlar.

A continuación se ilustran algunas máquinas elípticas.

FIGURA 1. Máquina PRECOR



Precor@

FIGURA 2. Máquina LIFE FITNESS



Lifefitness@

2. DESARROLLO

El diseño metódico de la máquina se inicia mediante la elaboración de una lista completa de requerimientos, entre los que es imperativo que se den los siguientes: · Establecimiento de una trayectoria de pies y manos, determinación de costo que no debería exceder la suma de cuatro millones de pesos, con el propósito de permanecer competitiva en el mercado. · Identificación de la red de proveedores de todos los insumos requeridos para su fabricación, la cual debe cumplir con criterios de facilidad en el acceso a su suministro. · Métodos de manufactura convencionales (maquinas herramientas, soldadura banco, entre otros), que no impliquen el uso de tecnología de avanzada.

El paso siguiente dentro del diseño metódico, es el análisis de la transformación que ocurre de acuerdo a la siguiente ilustración:

FIGURA 3. Caja morfológica



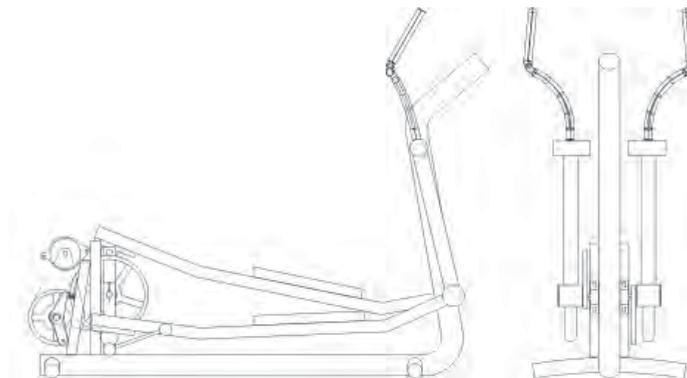
Partiendo de los requerimientos planteados y la expansión de esta transformación en estructuras funcionales, se analizan todas las posibilidades conjuntas de solución.

El producto de este análisis con sujeción a los requerimientos establecidos en primera instancia, es una estructura metálica en perfiles circulares con dobleces, en aquellas áreas donde no es posible doblar el perfil, se usan codos soldados, articulaciones montadas en rodamientos sellados, carcasas en fibra de vidrio y un alternador como freno magnético.

Los cálculos mecánicos tienen como partida las aceleraciones instantáneas que ocurren en el calapie y remos, con las aceleraciones máximas se hallan las fuerzas que actúan en toda la máquina. Algunas partes como el chasis tienen como criterio de cálculo la rigidez y las deformaciones, otras partes tienen como criterio la resistencia última con factor de seguridad.

Como resultado de todas las etapas del diseño se tiene:

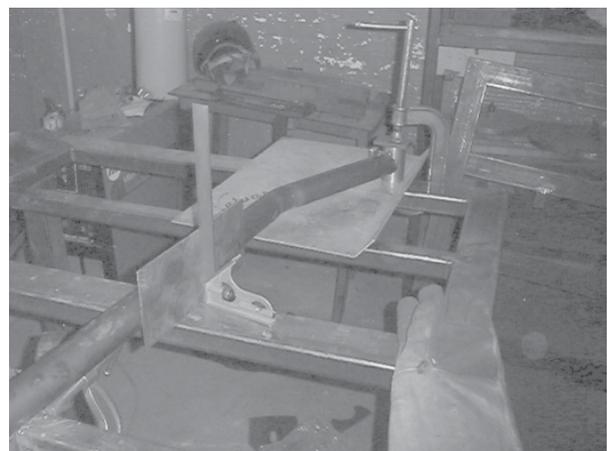
FIGURA 4. Resultado del proceso de diseño



3. FABRICACIÓN DEL PROTOTIPO

Todo el proceso de ensamble gira en torno a garantizar perpendicularidad o angularidad con una mesa de superficie muy plana, punteando la tubería y demás elementos constructivos entre si según planos y finalmente soldando y puliendo las uniones.

FIGURA 5



Algunos montajes empleados en la fabricación del prototipo.

Posterior a la pintura de de la máquina, la secuencia de actividades a desarrollar es la siguiente: ensamble de todos los componentes mecánicos, instalación del dispositivo regulador y cableado del regulador al tablero, y a su vez de los electrodos al tablero.

4. PROCESO DE FABRICACIÓN DE LAS CARCASAS

Partiendo de un diseño en 3D realizado en AutoCAD, se cortan con caladora trozos de madera MDF de 15 mm correspondientes a cortes transversales de la figura completa del modelo en 3D, con los cuales se construye el modelo, posteriormente mediante el uso de una lijadora orbital se pulen las escalas hasta dar uniformidad al modelo, el cual es utilizado para la fabricación de los moldes en fibra de vidrio.

FIGURA 6. Planos de Madera MDF

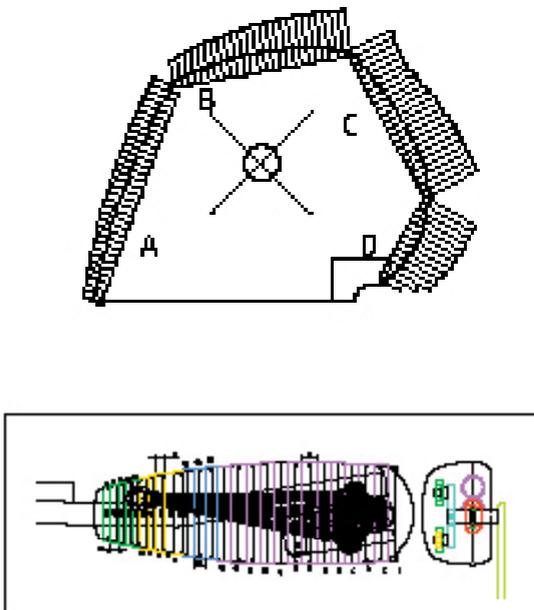


FIGURA 7
Imágenes de algunos de los Diferentes Moldes



5. ENSAMBLE FINAL DE LA MÁQUINA

Una vez las carcasas y el tablero se encuentren elaborados en su totalidad de acuerdo a lo diseñado, se procede a cubrir la máquina con estos elementos, y con las tapas de nylon. El resultado de este proceso de ilustra a continuación:

FIGURA 8. Máquina terminada



CONCLUSIONES Y COMENTARIOS

El proceso de fabricación de máquinas de este tipo, basado en diseños propios, en el mercado nacional, implica altos niveles de dificultad, dados por los siguientes factores: marcadas limitaciones para el acceso a las materias primas necesarias en términos de variedad de la oferta; precario desarrollo de la industria metal mecánica en este sector, haciendo que algunos procesos sean muy artesanales y por ende costosos en términos de tiempo y recursos económicos; y adicionalmente, pero no menos importante, los integrantes de la cadena de distribución manejan muy bajos niveles de información técnica sobre los equipos que distribuyen, limitando el acceso al conocimiento técnico de los mismos.

El proceso de manufactura de esta máquina sería más efectivo en términos de costos si se contara con la infraestructura necesaria que permitiese el uso de matrices, patrones y mano de obra para cada una de las tareas, en especial el ensamblado de la máquina.

Respecto a la manufactura utilizando materiales compuestos (fibra de vidrio), se concluye que son muchos los productos y las posibilidades de manufactura usando la fibra de vidrio, porque es de baja inversión inicial, relativamente fácil de hacer y de muy buenas propiedades mecánicas, en contraste con los altos costos iniciales que implica el uso del plástico inyectado.

A pesar de los altos costos de fabricación de estos equipos, se puede afirmar que tienen una posición competitiva favorable en el mercado Colombiano, frente a los mismos equipos importados, ya que aunque estos equipos importados tengan menores costos de producción en sus países de origen, las altas barreras arancelarias, que pueden llegar al 50%, y los costos de la cadena de distribución, de hasta el 40%, hacen que los costos de fabricación nacional lleguen al consumidor final a un precio menor que los importados. Situación inversa afrontaríamos en los mercados internacionales con relación a nuestra competitividad, ya que al enfrentarnos a las barreras arancelarias de mercados externos, nuestros altos costos de producción frente a los de otros países, nos ubicarían en una posición de desventaja.

BIBLIOGRAFÍA

- BAUMEISTER Theodore. Manual del Ingeniero Mecánico. 8 a edición en inglés y 2ª en español. México: Mc GRAW HILL, 1993.
- BEER Ferdinand, JOHNSTON Russell, Jr. Mecánica de Materiales. 2ª edición. Santafé de Bogotá: Mc GRAW HILL, 1993.
- BÖHM Eduardo y MARTINEZ Rodolfo. Metodología de Diseño: Concepción de Productos Nuevos. Medellín: 1977, 122 p.
- G Pahl, W Beitz. Engineering Design: A Systematic Approach. 1 a edición. New York: The Design Council 1984.
- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Normas Colombianas para la Presentación de Tesis de Grado. 1 revisión. Bogotá D.E.: ICONTEC, 1987, 132.
- Life Fitness@
Página Web de equipos cardiovasculares y de pesas para gimnasio y hogar (Estados Unidos).
<http://www.lifefitness.com>
- Nautilus@
Página Web de equipos cardiovasculares y de pesas para gimnasio y hogar (Estados Unidos).
<http://www.nautilus.com>
- Nordic Track@
Página Web de equipos cardiovasculares para gimnasio y hogar (Estados Unidos).
<http://www.nordictrack.com>
Norma ISO, Icontec – Icfes, 1307.
- Precor@
Página Web de equipos cardiovasculares para gimnasio y hogar (Estados Unidos).
<http://www.precor.com>
- RODRIGUEZ M. Gerardo. Manual de Diseño Industrial: Curso Básico. 2 a edición. México: Ediciones G. Pili, S.A. de CV., 165 p.

SHIGLEY Joseph Edward, MISCHKE Charles. Diseño en Ingeniería Mecánica. 4 a edición en español. México: Mc GRAW HILL, 1994.

SIMESA, Siderúrgica de Medellín. Guía para los Ingenieros, Calculistas y Constructores de Estructuras de Concreto. 11ª edición. Medellín: Maranatha Editores, 1992, 151 p.

SIMESA. Perfiles Tubulares Estructurales: datos técnicos de productos.

Techno Gym@

Página Web de equipos cardiovasculares y de pesas para gimnasio y hogar (Estados Unidos).

<http://www.technogym.com>

ANÁLISIS DE ESFUERZOS HERTZIANOS DE ELEMENTOS DE MÁQUINAS EN MATLAB

JAIRO MAURICIO CASTRO GUZMÁN
Ing. JORGE RESTREPO OCHOA
Departamento de ingeniería mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS

DISEÑO DE SISTEMAS TÉCNICOS

ASESOR PRINCIPAL

Ing. JORGE RESTREPO OCHOA

SECTOR BENEFICIADO

Estudiantes diseñadores de máquinas o elementos de máquinas

RESUMEN

En la actualidad es frecuente encontrar en el área de ingeniería, fallas en los elementos de máquinas causados por la incidencia de los esfuerzos hertzianos entre superficies en contacto, los cuales son difíciles de cuantificar rápidamente por desconocimiento de las teorías hertzianas para superficies en contacto; y la complicación y tiempo requerido para hallar los esfuerzos y deflexiones sufridas por los cuerpos cuando se aplica una carga.

La realización del proyecto parte de la necesidad de conocer y evaluar dentro de altos rangos de precisión, la repercusión de los esfuerzos hertzianos en las superficies de algunos elementos de máquinas, provocados por las fuerzas de contacto que actúan sobre estos, cuando se encuentran en interacción dinámica o estática con otros elementos durante su normal funcionamiento.

Con el fin de conocer la magnitud de los esfuerzos y deformaciones en las superficies en contacto, se elaboró un programa en MATLAB, que permita determinar de manera general la incidencia de los esfuerzos hertzianos en elementos de máquinas que presenten contacto superficial, con base en los modelos matemáticos planteados en los textos de diseño de máquinas, a fin de contar con una herramienta precisa, que permitan realizar un diagnóstico apropiado de las causas que originan las fallas de estos elementos y realizar las labores correctivas correspondientes, con el fin de disminuir el desgaste, la fricción, la adhesión, lubricación y fractura de estos.

ABSTRACT

At the present time it is frequent to find in the engineering area, faults in the elements of machines caused by the incidence of the coaxial efforts between surfaces in contact, which are difficult to quantify quickly by ignorance of the coaxial theories for surfaces in contact; and the complication and required time to find the efforts and deflections undergone by the bodies when a load is applied.

The accomplishment of the project leaves from the necessity to know and to evaluate within the high ranks of precision, the repercussion of the coaxial efforts in the surfaces of some elements of machines, caused by

the contact forces that act on these, when they are in dynamic or static interaction with other elements during his normal operation.

With the purpose of to know magnitude efforts and deformations in surfaces in contact, I elaborate program in MATLAB, that allows to determine of general way the incidence of the coaxial efforts in elements of maquinas that present/display superficial contact, with base in the raised mathematical models in texts of design of maquinas, in order to tell on a precise tool, that they allow to make I diagnose appropriate of the causes that originate the faults of these elements and to make the corresponding workings corrective, with the purpose of diminishing the wearing down, the friction, the adhesion, lubrication and fractures of these.

PALABRAS CLAVES

Teoría de Hertz, Area de contacto, Modelo matemático de Hertz, Elementos GAP.

KEYWORDS

Teoria of Hertz, Area of contact, Model matemátic of Hertz, Element GAP.

1. INTRODUCCIÓN

El estudio de las tensiones causadas por el contacto entre cuerpos elásticos es importante en el diseño de vías de tren, rodamientos de bolas y rodillos, juntas de expansión de estructuras de acero, etc.

Debido a que las tensiones que se desarrollan en el **área de contacto** pueden alcanzar el límite elástico del material, provocando en la superficie grietas, picaduras, hendiduras que pueden terminar en la fractura de la pieza o elemento de maquina.

A raíz de la presencia de estos fenómenos en las superficies de los elementos de maquinas, **Hertz** en 1881 desarrolló sobre la base de resultados experimentales la teoría matemática sobre tensiones y deformaciones producidas por la presión entre cuerpos

curvos. De acuerdo con esta teoría la máxima tensión de compresión ocurre en el centro de las superficies de contacto y la máxima tensión cortante ocurre en el interior de los cuerpos a compresión.

La aplicación del **modelo matemático de Hertz**, para conocer los esfuerzos principales, esfuerzos cortantes y deflexión entre cuerpos en contacto, son de gran importancia para el diseño y análisis de fallas en elementos de maquinas, debido a la información que estos datos pueden suministrar al ingeniero o diseñador de maquinaria, a fin de definir o reconsiderar la geometría, tipo de material o carga aplicada a los cuerpos en contacto superficial.

2. ASPECTOS BÁSICOS DE LA TEORÍA DE CONTACTO

El cálculo de los esfuerzos y deformaciones entre cuerpos en contacto, requiere una análisis previo que permita recolectar información indispensable en el planteamiento y desarrollo del modelo matemático de Hertz, con el fin de poder obtener resultados acertados que permitan tomar decisiones tendientes a corregir los efectos causados por la interacción dinámica y estática de los cuerpos en contacto.

2.1 Tipo de material de los cuerpos en contacto

Uno de los aspectos importantes en calculo de los esfuerzos y deformaciones producidas por la interacción de dos cuerpos en contacto bajo una carga, es el tipo de material con el que están construidos, debido a la información que proporciona sobre las **propiedades mecánicas de cada material**.

La principal información consiste en conocer los módulos elásticos y coeficientes de poisson requeridos por el modelo de calculo planteado por hertz, y que describen la homogeneidad, isotropía y elasticidad de los materiales empleados.

2.2 Forma de las superficies analizadas

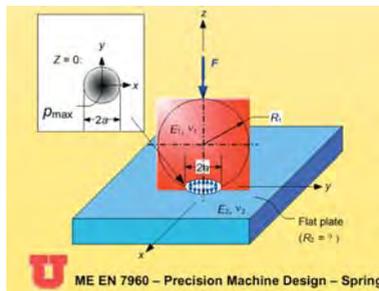
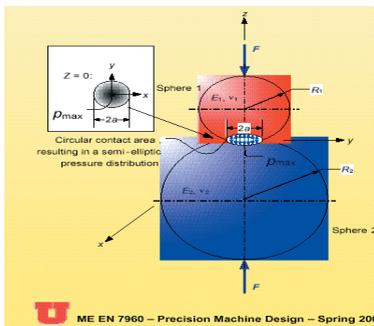
La aplicación del modelo matemático de hertz, requiere que se defina adecuadamente la geometría de las

superficies analizadas, a fin hacer un uso correcto de las ecuaciones descritas en su teoría.

El calculo de los esfuerzos hertzianos y las deformaciones de los cuerpos en contacto, requieren un planteamiento separado de acuerdo a la forma geométrica de cada cuerpo.

Cuando se consideran superficies curvas, Hertz lo analiza como “**contacto en un punto**”, debido a que este se presenta en un plano tangente común a las superficies en un punto de contacto y la carga aplicada es normal al plano tangente y en la misma dirección del eje perpendicular a dicho plano (ver figura 1). Este modelo de calculo también se aplica cuando interactúa una superficie curva con una superficie plana (ver figura 1).

FIGURA 1. Esfuerzos de contacto entre superficies esféricas

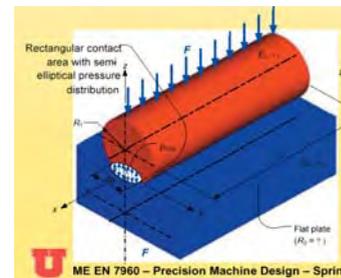
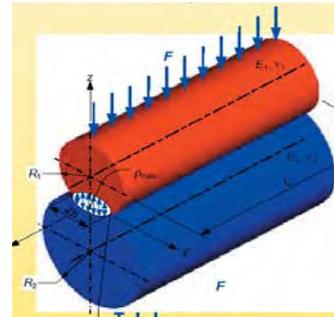


Precision Machine Desing

El otro planteamiento propuesto por Hertz, es aplicado a superficies cilíndricas, donde el contacto se produce a lo largo de la línea de contacto entre los dos cuerpos, recibiendo el nombre de “**contacto lineal**”. En este caso

es importante tener en cuenta que la carga aplicada, se distribuye a lo largo de la línea de contacto entre los dos cuerpos (ver figura 2). Este planteamiento también es aplicado al contacto entre una superficie cilíndrica y una plana.

FIGURA 2. Esfuerzos de contacto entre superficies cilíndricas



Precision Machine Desing

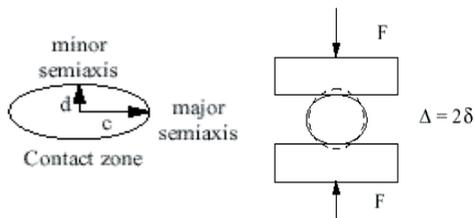
2.3 Área de contacto

Una de las características importantes a tener en cuenta cuando se analizan los esfuerzos de contacto entre cuerpos, es la región elíptica que se forma entre ellos producto de la deformación superficial bajo la acción de una carga.

Las dimensiones de esta área de contacto (ver figura 3), es uno de los aspectos importantes a determinar con el modelo de calculo, ya que sus dimensiones dependen tanto de las propiedades mecánicas de los materiales de los cuerpos en contacto, como de las dimensiones geométricas de los mismos. Estas dimensiones a su vez son determinantes en la cuantificación de los esfuerzos hertzianos, y participan activamente en las ecuaciones

formuladas por Hertz para calcular las deformaciones en cada una de las superficies (ver figura 3).

FIGURA 3. Área de región de contacto elíptico



3. PROGRAMA EN MATLAB

El análisis de esfuerzos de contacto en MATLAB, permite obtener los esfuerzos principales en la dirección [X,Y,Z]; la máxima deformación en cada uno de los cuerpos y los esfuerzos cortantes en el área de contacto.

Programa en MATLAB

```

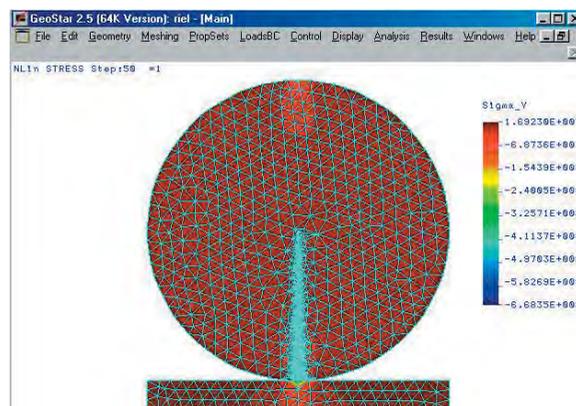
Ingrese el coeficiente de poisson para cuerpo 1: 0.33
Ingrese el coeficiente de poisson para cuerpo 2: 0.33
Ingrese el modulo de elasticidad para cuerpo 1: 69e9
Ingrese el modulo de elasticidad para cuerpo 2: 69e9
Ingrese la carga aplicada a los cuerpos en contacto: 3000.156
Ingrese la longitud de los cilindros en contacto: 0.16
Ingrese el radio para el cuerpo 1: 0.0508
Ingrese el radio para el cuerpo 2: 0
Ingrese el coeficiente de fricción entre los cuerpos si hay F tangencial: 0

La longitud [mm] del semi eje mayor del area de contacto es [mm]: 0.36625e+005
Presión en el area de contacto es [Npa]: 2.42595e+007
El esfuerzo principal en dirección del eje X es [Npa]: 1.57598e+007
El esfuerzo principal en dirección del eje Y es [Npa]: -2.35084e+007
El esfuerzo principal en dirección del eje Z es [Npa]: 2.42595e+007
El maximo esfuerzo cortante es [Npa]: 2.27706e+006
El esfuerzo cortante octaédrico es [Npa]: 6.55008e+006
La maxima deflexión en la línea de contacto es [mm]: 7.50771e-006
  
```

Point and line contact between surfaces & Kinematic coupling design; Slocum Alexander. H; 1994

4. MODELACIÓN EN COSMOS DE CONTACTO ENTRE SUPERFICIES

Con el fin de corroborar los datos obtenidos por el programa en MATLAB, se modelaron ejemplos reales en COSMOS/M, para establecer los rangos de precisión arrojados por el programa y a su vez exponer la forma de modelar y aplicar los **elementos GAP**, en el análisis de problemas de contacto en 2D y 3D en COSMOS/M.



Programa COSMOS/M

5. BIBLIOGRAFÍA

5.1 Libros

BEER, Fernand & RUSSEL, Johnston. Mecánica de materiales. 2 ed. Barcelona, España: McGraw Hill, 1990. 160 p. ISBN 968-600-127-X.

DOUTSCHMAN, Aaron D. Diseño de maquinas. 1 ed. México: Compañía editorial continental, 1985. 585-605 p. ISBN 968-26-0600-4

NORTON, L. R. Diseño de maquinas. , 1ed. México: Editorial Prentice Hall, 1999 480 p.

MOTT, Robert L. Diseño de elementos de maquinas. 2 ed. México: Prentice Hall, 1992. Sec. 11-13. 430 p. ISBN 0-675-2289-3

TIMOSHENKO, S. P y GOODIER, J. N. Theory of elasticity. 3ed. Barcelona: España: McGraw Hill, 1991. Sec. 109 p. ISBN 0-07-056888-X

SHIGLEY, J.E. y MISCHKE, L.D. Diseño en ingeniería mecánica. 5 ed. España: Mc Graw Hill, 1990. 145 p. ISBN 0-06-056968

FAIRES, J.M. Diseño de elementos de maquinas. 4 ed. España: Montaner y Simón, 1970. 47-49 p. ISBN 867-351-507-X

ROARK, Raimond J y otros. Formulas for Stress and Strain. 5 ed. New York: McGraw Hill Book Company, 1982. p 513-529, ISBN 0-07-0530319

BORES, Arthur P y otros. Advances Mechanics of Materials. 3 ed. New York: Jhon Wiley and Sons, 1978. p 581-627, ISBN 0-471-08892-7

ORTHWEIN, William C. Diseño de componentes de Máquinas. 1 ed. México: Ed. Continental S. A, 1996. p 109-113, ISBN 968-26-1257-8

ALONSO, Marcelo y FINN, Eduard. Física Mecánica. Bogotá: Fondo Interamericacano, 1970. ISBN 24-04-31502-0

EISBERG, Robert y LERNER, Lawrence S. Física, Fundamentos y aplicaciones. Bogotá: Mc. Graw Hill, 1983. ISBN 50-03-55008-1

RESNICK, Robert y HALLIDAY, David. Física para estudiantes de Ciencias e Ingenierías. 13 ed. Barcelona: C.E.C.S.A, 1969. ISBN 60-03-50266-2

SEARS, Francis W y ZEMANSKY, Mark W. Física. Madrid: Aguilar S.A., 1979. 1010 p. ISBN 84-03-20203-2

5.2 Fuentes Electrónicas

X. Lu, D. Pugh, and J. Scheetz. General Solution for Hertz Contact Loading. [Monografía en línea]. 1 ed. Pasadena (California): G. E. Development, 1999. Disponible en:<<http://www.crd.ge.com/cooltechnologies/pdf/1999crd170.pdf>>

SLOCUM Alexander. Point and line contact between surfaces & Kinematic coupling design. [Monografía en línea]. 2 ed. New York: Utha University, 1994. Disponible en:<<http://www.mech.utah.edu/me7960/lectures/ContactStresses.pdf>>

DEEG Emil W. New Algorithms for Calculating Hertzian Stresses, Deformations, and Contact Zone Parameters. AMP Journal of Technology Vol. 2 November, 1992. Disponible en :< <http://www.amp.com/productos/technology/2jot2.pdf>>

DIACONU Nicolae, Lorena Tomescu, Ion Crudu. Theoretical model for estimating the stress distribution within the superficial layer, for two cylinders contact. [Monografía en línea]. 2 ed. New York :Research Center, 1994. Disponible en:<<http://www.om.ugal.ro/fasc%20%20-20tribologie/2002/pdf/2002>>

KOGUR Lior. The analysis of contact stress on meshed teeth's flanks along the path of contact for a tooth pair. [Monografía en línea]. New York : Highway Engineering,2001. Disponible en:<<http://facta.junis.ni.ac.yu/facta/macar200/pdf>>

IMPLEMENTACIÓN COMPUTACIONAL USANDO EL MÉTODO DE COLOCACIÓN CON FUNCIONES DE BASE RADIAL PARA EL MODELO DE STOKES EN 2D DE FLUIDOS NEWTONIANOS CON APLICACIONES EN FLUJOS DE POLÍMEROS

CARLOS EMILIO ROLDÁN POSADA. croidanp@eafit.edu.co
Ing. Esp. OMAR AUGUSTO ESTRADA
Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS

DISEÑO DE SISTEMAS TÉCNICOS

ASESOR PRINCIPAL

Ing. Esp. OMAR AUGUSTO ESTRADA

EMPRESA

INSTITUTO DE CAPACITACIÓN E INVESTIGACIÓN DEL PLÁSTICO Y DEL CAUCHO – ICIPC.

RESUMEN

Durante los últimos diez años las tendencias en mecánica computacional se han enfocado en problemas más demandantes que requieren la habilidad de tratar con altas deformaciones, materiales avanzados con comportamientos no lineales, geometrías más complejas, discontinuidades y singularidades. Estas tendencias se pueden observar en la simulación de procesos de manufactura, por ejemplo, en la predicción del flujo de fluidos, en particular, dentro del área de procesamiento de polímeros.

A pesar de que se han desarrollado técnicas de mallas adaptativas, o procedimientos de re-enmallado para

ajustarse a estos tipos de problemas emergentes, se cree que la estrategia más viable para trabajarlos es mediante lo que se conoce como los métodos libres de malla. Estos métodos eliminan parcial o completamente la concepción tradicional del dominio computacional discretizado en una malla, y se soportan en el principio de partículas distribuidas en el espacio, y en el trabajo con esquemas Eulerianos o Lagrangianos para los problemas de campo.

El presente trabajo comienza haciendo un breve estudio de los modelos computacionales típicos en CFD, distinguiendo los métodos basados en malla de los métodos que obvian el uso de ésta, se describen sus detalles principales de implementación, y ventajas y desventajas entre sí.

Posteriormente, como núcleo del trabajo, para un flujo viscoso-laminar e isotérmico, en 2D, de un fluido Newtoniano e incompresible, que se modela mediante la aproximación de Stokes, se expone el desarrollo de un procedimiento de implementación de un modelo computacional, basado en el Método de Colocación con Funciones de Base Radial, como alternativa de solución numérica a ecuaciones en derivadas parciales.

Finalmente se lleva a cabo una serie de validaciones numéricas del programa RBFCM frente a casos que poseen solución analítica, y casos típicos de validación en CFD tales como el flujo en una cavidad (Cavity Flow) y el flujo de presión y arrastre, enmarcados en situaciones de procesamiento con flujo de polímero fundido, tales como el flujo en la zona de dosificación de un husillo de extrusión.

Para la comparación de los resultados se exponen también aquellos entregados por otros métodos numéricos basados en malla tales como ANSYS-FEM, y BEMFlow-BEM.

Se concluye sobre la potencialidad del método RBFCM para resolver problemas de fenómenos de transporte, basado en los excelentes niveles de aproximación obtenidos, y en los trabajos reportados en la literatura por otros investigadores.

ABSTRACT

Over the past ten years, the trend in computational mechanics has been to focus on increasingly demanding problems that require the ability to treat large deformations, advanced materials, complex geometry, non-linear material behaviour, discontinuities and singularities. This trend may be seen in the simulation of manufacturing processes, for example, in the simulation of fluid flow, particularly in the polymer processing industry.

Although adaptive techniques and remeshing strategies have been developed for these classes of problems, the most viable strategy for dealing with the emerging class of simulation problems is believed to lie in the so-called mesh free methods. These methods eliminate some or all of the traditional mesh-based view of the computational domain and rely on a particle (either Lagrangian or Eulerian) view of the field problem.

The present work starts by making a brief review of the commonly used numerical methods in CFD, distinguishing mesh-based methods from mesh-less methods; their main implementation details are described, as well as their relative advantages and disadvantages.

Afterwards, as the main focus of the work, for the simulation of a viscous-laminar and isothermal flow of a Newtonian and incompressible fluid in 2D, modelled by the Stokes approximation, it is presented the development of an implementation procedure of a computational model, based on the Radial Basis Function Collocation Method RBFCM, as a mesh-less alternative to numerically solve partial differential equations.

Finally, a set of numerical validations of the RBFCM program are made against cases that have analytic solution, as well as with typical cases used to validate CFD software, such as the cavity flow and the pressure and drag flow, as seen in polymer processing applications such as the flow in an extrusion screw.

For the comparison of results, those delivered by other mesh-based numerical methods, such as ANSYS-FEM and BEMflow-BEM are presented.

The work is concluded by acknowledging the potential of RBFCM to solve transport phenomena problems, based on the excellent approximation levels obtained in the herein results, as well as with the work presented by other researchers.

PALABRAS CLAVE

RBFCM, RBF, funciones de base radial, ecuaciones diferenciales parciales, métodos numéricos, métodos sin malla, fluidos Newtonianos, Stokes.

KEY WORDS

RBFCM, RBF, radial basis functions, partial differential equations, numerical methods, mesh-less methods, mesh-free methods, Newtonian fluids, Stokes.

ARTÍCULO

Desde su introducción alrededor de 1970, el Método de Colocación con Funciones de Base Radial (RBFCM) bajo la connotación de ser un método sin malla, ha atraído la atención de matemáticos trabajando en el área

de la teoría de la aproximación. Hasta ahora una gran cantidad de científicos e investigadores han descubierto sus méritos al trabajar con datos multidimensionales y obtener modelos matemáticos de alta calidad a partir de muestras de datos. De esta manera, el interés de la comunidad científica, con este método, parece estar enfocado en tres tipos de aplicaciones en ingeniería: primero, en la identificación y aproximación matemática de sistemas; segundo, como solución numérica a ecuaciones diferenciales parciales gobernantes mediante técnicas de colocación; y tercero, a la caracterización y modelación por medio de computación gráfica y geométrica de las superficies de objetos así como a la reconstrucción digital de formas. La segunda aplicación es la de interés en el presente trabajo.

Se considera un modelo matemático basado en dos ecuaciones diferenciales de balance, las cuales son: la ecuación de conservación de momentum, y la ecuación de continuidad. Éstas son posteriormente simplificadas, como lo plantea el modelo de Stokes para considerar el flujo de fluido Newtoniano, viscoso-laminar, incompresible e isotérmico. El modelo computacional desarrollado a partir de éste se aplica particularmente para el análisis y simulación del flujo de polímero fundido a través de algunos sistemas continuos de procesamiento, donde se puede encontrar una ventana de operación newtoniana en el comportamiento del polímero.

El desarrollo que se obtiene del presente trabajo es un componente de integración tecnológica en el proyecto de investigación que actualmente se lleva a cabo en el ICIPC en su grupo de Investigación Aplicada en Polímeros, registrado y reconocido por Colciencias como la "Línea de modelación y simulación de procesos de transformación de polímeros". El proyecto del cual el presente hace parte, busca generar una herramienta computacional que permita simular el comportamiento de las variables de estado del flujo de fluido polimérico en tres dimensiones a través de un cabezal de extrusión para perfilera, que acople las ecuaciones de balance de energía, movimiento y continuidad, y que considere la disipación viscosa, y el comportamiento no-newtoniano y viscoelástico de los polímeros¹².

¹² "Desarrollo de modelo computacional para la simulación del flujo de polímeros termoplásticos en un cabezal para la producción de

Modelo Matemático

Las ecuaciones de continuidad y cantidad de movimiento simplificadas de acuerdo con el modelo de Stokes, son respectivamente:

$$(\nabla \cdot \mathbf{v}) = 0 \quad (1)$$

$$-\nabla p + \eta (\nabla^2 \mathbf{v}) = 0 \quad (2)$$

Donde:

- \mathbf{v} : El vector de velocidad.
- p : La presión hidrostática del fluido.
- η : La viscosidad dinámica del fluido.

El sistema descrito por las anteriores ecuaciones, es un problema de valor de frontera para velocidad y presión, cuyas condiciones en la frontera pueden ser las siguientes:

- a) En superficies no permeables, la velocidad del fluido adyacente a la superficie es igual a la velocidad de ésta, es decir, no hay deslizamiento entre el fluido y la pared, ni movimiento normal relativo a ésta. En esta situación quedan determinadas todas las componentes de velocidad como condiciones de tipo Dirichlet.
- b) En regiones permeables del contorno del dominio donde se produce entrada o salida del fluido, se deben especificar dos de las tres variables presentes (v_x, v_y, p) .

En congruencia con el último criterio, si se tiene una frontera a través de la cual hay flujo de fluido, el problema queda bien puesto al definirse las componentes v_x, v_y de velocidad como un perfil en la frontera.

perfiles" Propuesta de Investigación del Instituto de Capacitación e Investigación del Plástico y del Caucho a Colciencias, aprobada en la Convocatoria nacional para el Concurso de Proyectos de Desarrollo Científico y Tecnológico. Medellín - Colombia - Junio 17 de 2002. Código 2262-05-12432. Contrato 387-2002.

Por otro lado si, para la misma frontera permeable del flujo, lo que se conoce es el valor de la presión, se debe entablar un sistema de ecuaciones que aseguren la validez de los principios de conservación en este lugar como lo demuestran GRESHO y SANI:

- i. Una condición de von Neumann para velocidad que se establece como la componente normal de la ecuación de cantidad de movimiento en la frontera.
- ii. La ecuación de continuidad evaluada en la frontera.
- iii. La condición de Dirichlet de presión.

Solución numérica mediante RBFCM

Interpolación con RBF

Sea $\Xi = \{x_1, x_2, \dots, x_N\} \in \Omega \subset \mathbf{R}^n$ un conjunto de puntos discretos pertenecientes a un dominio Ω en un espacio dimensional n ; y sea un conjunto de Funciones de Base Radial RBF:

$$\phi_j(r_j) \equiv \phi_j(\|x_i - x_j\|_2) \in \mathbf{R}, \quad (3)$$

$$j, i = 1, \dots, N$$

Donde $r_j = \|\cdot\|_2$ es la norma (distancia) Euclidiana entre dos puntos. Estas funciones se emplean para ser evaluadas o "colocadas" en los nodos del conjunto discreto Ξ .

Dados unos valores conocidos de una función $F(x)$ evaluada en los puntos de colocación Ξ , o sea, $F_\Xi = \{y_1, y_2, \dots, y_N\} \in \mathbf{R}$, la expresión de interpolación con funciones de base radial se define como:

$$F(x) = \sum_{j=1}^N \alpha_j \phi_j(r). \quad (4)$$

Y se obtiene al resolver el sistema de N ecuaciones lineales para los coeficientes de interpolación α_j :

$$\sum_{j=1}^N \alpha_j \phi_j(r_j) = y_i, \quad i = 1, \dots, N \quad (5)$$

En la construcción del sistema matricial para calcular los coeficientes de interpolación se utilizan los siguientes elementos:

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} \phi_1(r_{11}) & \dots & \phi_N(r_{1N}) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \phi_1(r_{N1}) & \dots & \phi_N(r_{NN}) \end{bmatrix} \in \mathbf{R}^{N \times N}, \quad (6)$$

$$\mathbf{a} = [\alpha_1 \quad \dots \quad \alpha_N] \in \mathbf{R}^N,$$

$$\mathbf{b} = [y_1 \quad \dots \quad y_N] \in \mathbf{R}^N$$

Se puede, entonces, escribir el sistema en la ecuación (5) como sigue:

$$\mathbf{A}\mathbf{a} = \mathbf{b}, \quad (7)$$

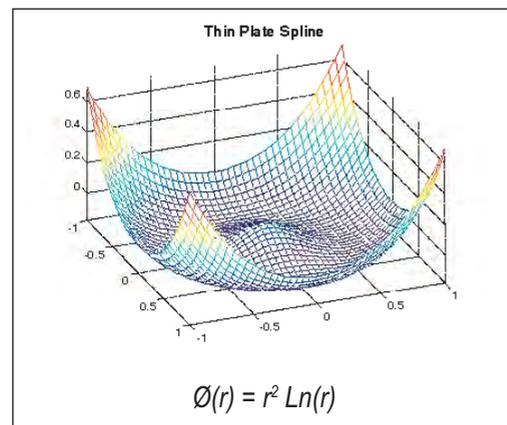
Y resolverlo para encontrar el vector \mathbf{a} de coeficientes.

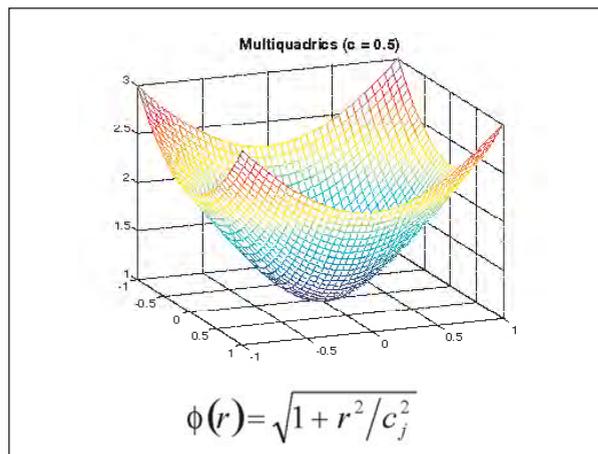
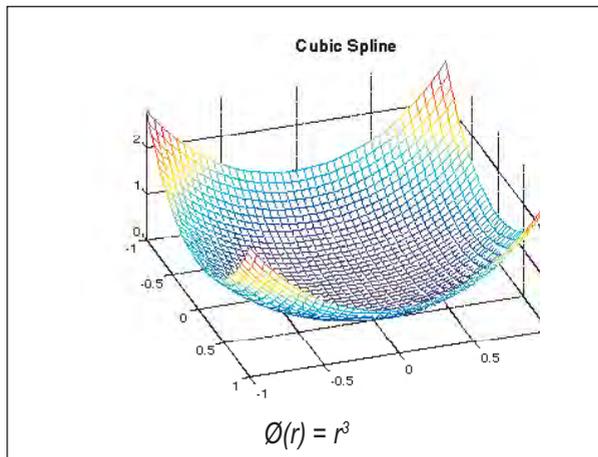
De manera semejante, es posible determinar las derivadas de la función de interpolación en los nodos Ξ empleando el mismo conjunto de coeficientes de interpolación calculado, siempre y cuando la función de interpolación presente continuidad en el orden necesario:

$$F'(x) = \sum_{j=1}^N \alpha_j \phi'_j(r) \quad (8)$$

$$F''(x) = \sum_{j=1}^N \alpha_j \phi''_j(r)$$

Las siguientes son algunas RBF comúnmente empleadas en diferentes áreas de interés.





Solución a ecuaciones diferenciales parciales (EDP) por colocación de RBF

El procedimiento que se presenta a continuación, es conocido como el método asimétrico de Kansa y se lleva a cabo para solucionar ecuaciones diferenciales mediante la colocación con funciones de base radial de soporte global. Éste se puede aplicar para ecuaciones y sistemas de ecuaciones elípticas, parabólicas o hiperbólicas realizando algunas manipulaciones apropiadas.

Partiendo de una variable de estado u del sistema, representada mediante una función definida en el dominio cerrado $\bar{\Omega} \subset \mathbf{R}^n$, y dados unos operadores diferenciales lineales L y B para el interior Ω y la frontera Γ respectivamente, se supone que se tiene un problema de valor de frontera bien puesto escrito de la

$$\begin{aligned} Lu(x) &= s(x) & \text{en } \Omega \subset \mathbf{R}^n \\ Bu(x)|_{\Gamma} &= f(x) & \text{en } \Gamma \subset \mathbf{R}^n \end{aligned} \quad (7)$$

siguiente forma:

Donde las funciones $s, f : \mathbf{R}^n \rightarrow \mathbf{R}$ son información conocida del sistema.

Se define un conjunto discreto de N nodos distribuidos en el dominio de interés, con M nodos en la frontera, así:

$$\Xi = \left\{ \begin{array}{l} (x_i)_{i=1, N-M} \subset \Omega, \\ (x_i)_{i=N-M, N} \subset \Gamma \end{array} \right\} \in \bar{\Omega} = \quad (8)$$

$$\Omega \cup \Gamma \subset \mathbf{R}^n$$

Y se define

$$\begin{aligned} u_h(x) &= \sum_{j=1}^N \alpha_j \phi_{u,j}(x), \\ x &\in \bar{\Omega} = \Omega \cup \Gamma \end{aligned} \quad (9)$$

Donde $\phi_{u,j}$ es la función de base radial escogida para solucionar el campo de la variable de estado u .

Luego, sustituyendo la solución u_h en la ecuación diferencial y haciendo colocación de ésta en los nodos Ξ , se obtiene el sistema:

$$\begin{aligned} Lu_h(x_i) &= \sum_{j=1}^N \alpha_j L\phi_{u,j}(x) = s(x_i), \\ i &= 1, \dots, N-M \\ Bu_h(x_i) &= \sum_{j=1}^N \alpha_j B\phi_{u,j}(x) = f(x_i), \\ i &= N-M+1, \dots, N \end{aligned} \quad (10)$$

La construcción de las matrices se realiza de la siguiente manera:

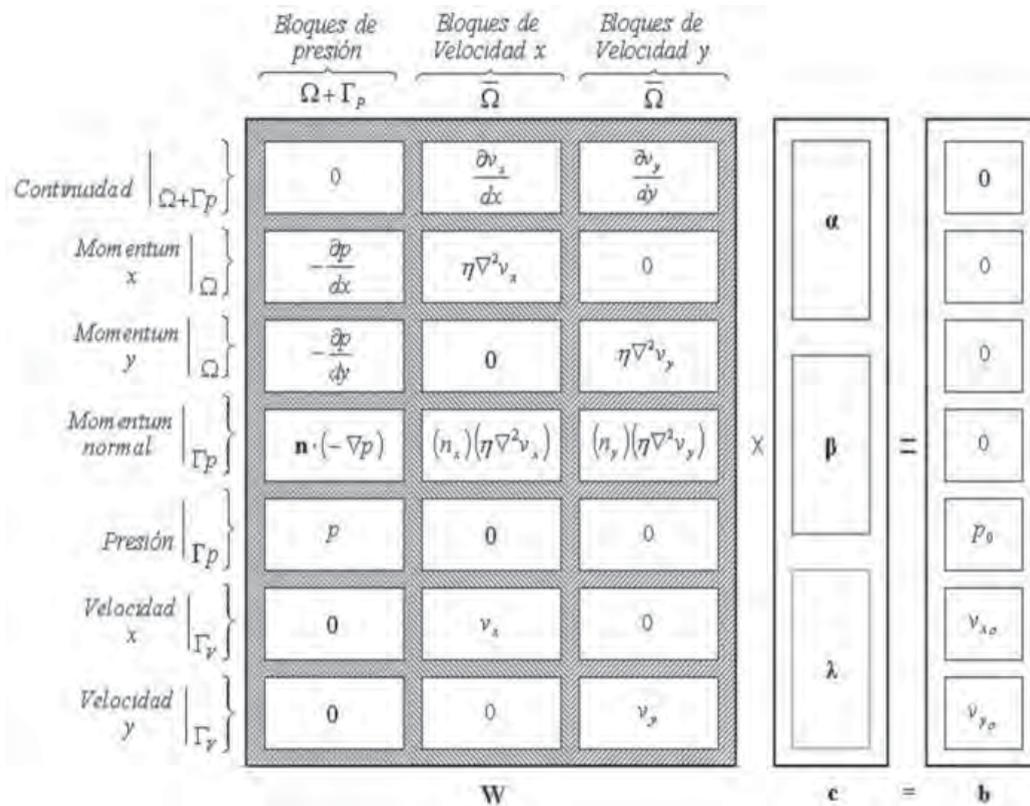
$$\begin{aligned}
 \mathbf{G}_{u,L} &= \begin{bmatrix} L\phi_{u,1}(r_{1,1}) & \cdots & L\phi_{u,N}(r_{1,N}) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ L\phi_{u,1}(r_{N-M,1}) & \cdots & L\phi_{u,N}(r_{N-M,N}) \end{bmatrix} \in \mathbf{R}^{(N-M) \times (N)}, \\
 \mathbf{G}_{u,B} &= \begin{bmatrix} B\phi_{u,1}(r_{N-M+1,1}) & \cdots & B\phi_{u,N}(r_{N-M+1,N}) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ B\phi_{u,1}(r_{N,1}) & \cdots & B\phi_{u,N}(r_{N,N}) \end{bmatrix} \in \mathbf{R}^{M \times N}, \\
 \mathbf{W} &= \begin{bmatrix} \mathbf{G}_{u,L} \\ \mathbf{G}_{u,B} \end{bmatrix} \in \mathbf{R}^{N \times N}, \\
 \mathbf{b} &= [s_u(x_1) \cdots s_u(x_{N-M}) \ f_u(x_{N-M+1}) \cdots f_u(x_N)]^T \in \mathbf{R}^N
 \end{aligned} \tag{11}$$

El sistema, entonces, se escribe en forma matricial:

$$\mathbf{W}\alpha = \mathbf{b} \tag{12}$$

Aplicación de RBFCM al modelo de Stokes

ILUSTRACIÓN 1. Esquema del sistema matricial RBFCM para el modelo de Stokes



Para encontrar las funciones $p(\mathbf{x})_h$, $v_x(\mathbf{x})_h$ y $v_y(\mathbf{x})_h$ que aproximan los campos que solucionan el sistema de manera conservativa se plantea el siguiente esquema de interpolación, en el cual, para un punto en el interior del dominio discreto, el valor evaluado en el campo corresponde a la solución aproximada; en tanto que la información conocida del problema, que se establece en las condiciones de frontera, permanece en la solución final.

$$p(\mathbf{x}_i) \approx p(\mathbf{x})_h = \sum_{j=1}^N \alpha_j \phi_1(r_j) \quad (10)$$

$$v_x(\mathbf{x}_i) \approx v_x(\mathbf{x})_h = \sum_{j=1}^N \beta_j \phi_2(r_j) \quad (11)$$

$$v_y(\mathbf{x}_i) \approx v_y(\mathbf{x})_h = \sum_{j=1}^N \lambda_j \phi_3(r_j) \quad (12)$$

Donde $\mathbf{x}_i, \dots, \mathbf{x}_j \in \Xi \subset \Omega \in \mathbf{R}^2$. En este esquema, para definir ϕ_u , se recurre a tres funciones en base radial ϕ_1 , ϕ_2 y ϕ_3 ; α_j , β_j y λ_j son los coeficientes de interpolación respectivos para el campo de presión y los campos de velocidad; y r_j es la distancia Euclidiana entre dos puntos \mathbf{x}_i y \mathbf{x}_j .

Análisis de casos y presentación de resultados

En el presente desarrollo se expone una serie de validaciones clasificadas dentro de cinco problemas, la primera y más importante, una validación frente un modelo de solución que describe analíticamente una solución conservativa a las EDPs en cuestión. Para este caso se obtienen unas desviaciones de la aproximación para los campos de velocidad que no superan el 0.5% promedio, y para el campo de presión con una desviación promedio menor a 1.4%.

Análisis de Flujo en zona de dosificación de husillos

La zona de dosificación en una extrusora (Ilustración 2), se utiliza para construir la presión necesaria que el polímero fundido requiere para poder pasar a través del cabezal.

Debido al movimiento relativo entre la pared del cilindro y el husillo (que tiene un canal inclinado respecto a su eje), se genera un flujo del polímero fundido que se describe principalmente en dos componentes (Ilustración 3), y el cual se puede visualizar si hipotéticamente se desenvuelve el canal del husillo y se analiza el flujo longitudinal (en el plano \mathcal{F}) y el flujo transversal al canal (en el plano \mathcal{Y}) como fenómenos independientes.

En este último caso lo que se tiene es la representación dos dimensional de un flujo entre placas paralelas infinitas con movimiento relativo entre sí, y cuya placa superior se mueve con una velocidad v_z . Para este flujo de presión y arrastre existe el siguiente modelo de solución analítica.

$$v_z = -\frac{1}{2\eta} \left(\frac{\Delta P}{Z_p} \right) y^2 + \frac{V_z}{H_p} y + \frac{H_p}{2\eta} \left(\frac{\Delta P}{Z_p} \right) y \quad (13)$$

ILUSTRACIÓN 2. Esquema del sistema de un husillo de extrusión con flujo de polímero fundido en la zona de dosificación

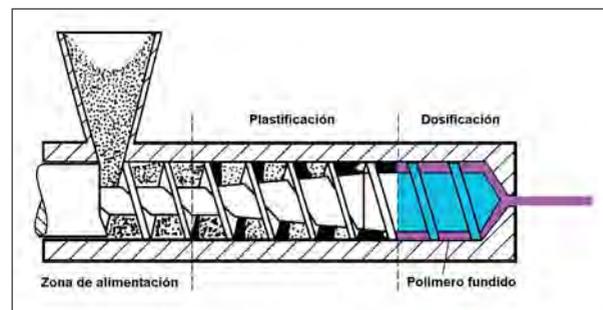


ILUSTRACIÓN 3. Flujo en un canal hipotéticamente desenvuelto

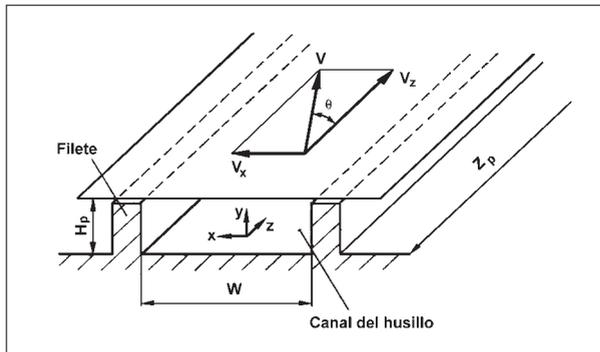


ILUSTRACIÓN 4. Flujo de presión y arrastre

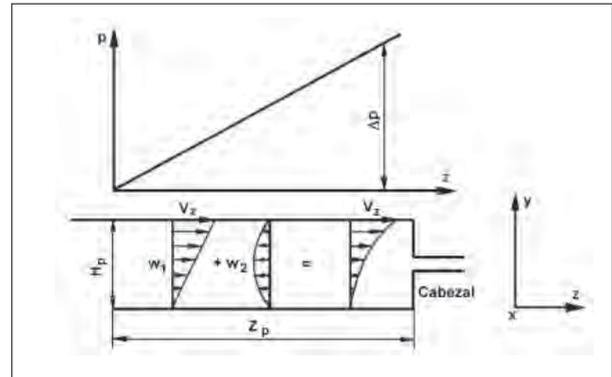


ILUSTRACIÓN 5. Flujo transversal

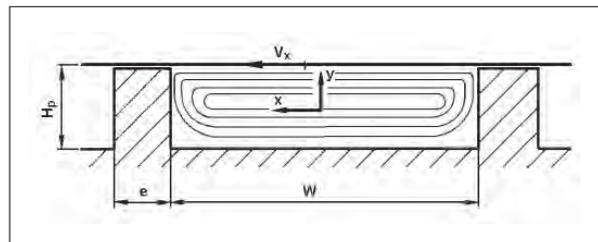
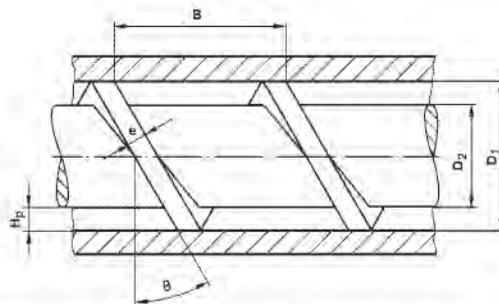


ILUSTRACIÓN 6. Dimensiones del sistema



Diámetro	=	50 mm	0.05 m
Paso	=	50 mm	0.05 m
Ángulo de paso	=	17.66 °	17.66 °
Espesor del filete	=	5 mm	0.005 m
Altura del filete	=	4 mm	0.004 m
Relación	=	5 -	5 -
Ancho del canal	=	42.64 mm	0.04264 m
Longitud del canal	=	824.08 mm	0.824085 m

ILUSTRACIÓN 7. Parámetros de procesamiento por caso

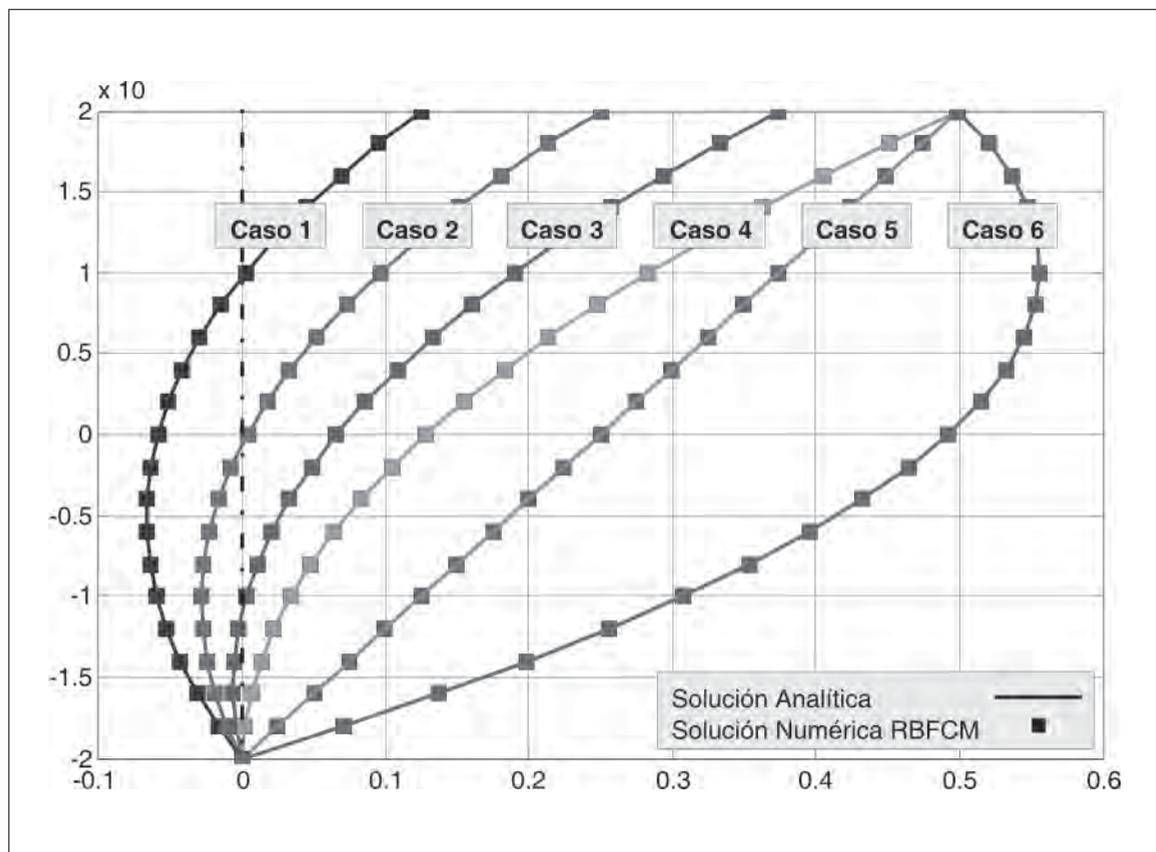
	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5	Caso 6	Unidades
Velocidad de rotación	50	100	150	200	200	200	RPM
Presión entrada	0	0	0	0	0	0.971	bar
Presión salida	0.485	0.485	0.485	0.485	0	0	bar

Para el caso de flujo transversal al canal (en el plano xy), se observa un patrón de flujo conocido como *Cavity Flow* o flujo en una cavidad. Éste se presenta cuando, en una cavidad rectangular se tiene condición de no deslizamiento en todas las fronteras, donde una de éstas posee una velocidad determinada y las demás son fijas

Resultados

A partir de los parámetros de procesamiento que se presentan en la Ilustración 7, se entablan diferentes problemas de valor de frontera con condiciones de variaciones de presión y velocidad prescritas en las fronteras, para ser validados. Los resultados obtenidos son los siguientes.

ILUSTRACIÓN 8. Resultados de velocidad para cada caso de flujo de presión y arrastre



Dentro de los resultados reportados en la Ilustración 8, y la Tabla 1, se puede observar que para el problema de flujo sometido a presión y arrastre, el método numérico de Colocación con Funciones de Base Radial RBFCM presenta un excelente nivel de aproximación respecto a la solución analítica. Esto se puede apreciar en los niveles de error porcentuales y máximos, al realizar una comparación con los resultados punto a punto entre cada solución.

TABLA 1. Errores porcentuales de aproximación punto a punto para la solución RBFCM respecto a la solución analítica en cada caso, del flujo de presión y arrastre

	Error porcentual promedio	Error porcentual máximo
Caso 1	0.000000051	0.000005215
Caso 2	0.000000207	0.000014025
Caso 3	0.000000233	0.000006931
Caso 4	0.000000091	0.000000617
Caso 5	0.000000019	0.000000020
Caso 6	0.000000006	0.000000020

Resultados para el flujo transversal (Cavity flow) en comparación con FEM ANSYS y BEMFlow

ILUSTRACIÓN 9. Campo vectorial de velocidad y contorno cualitativo de presión en el flujo transversal de canal del husillo obtenido con RBFCM

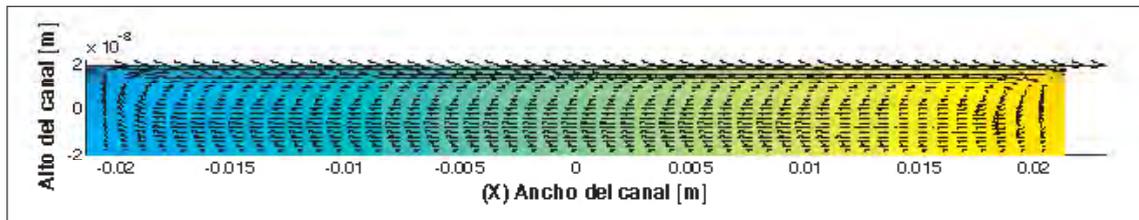


ILUSTRACIÓN 10. Componente de velocidad en x para corte en $y = 0$ en el canal del husillo

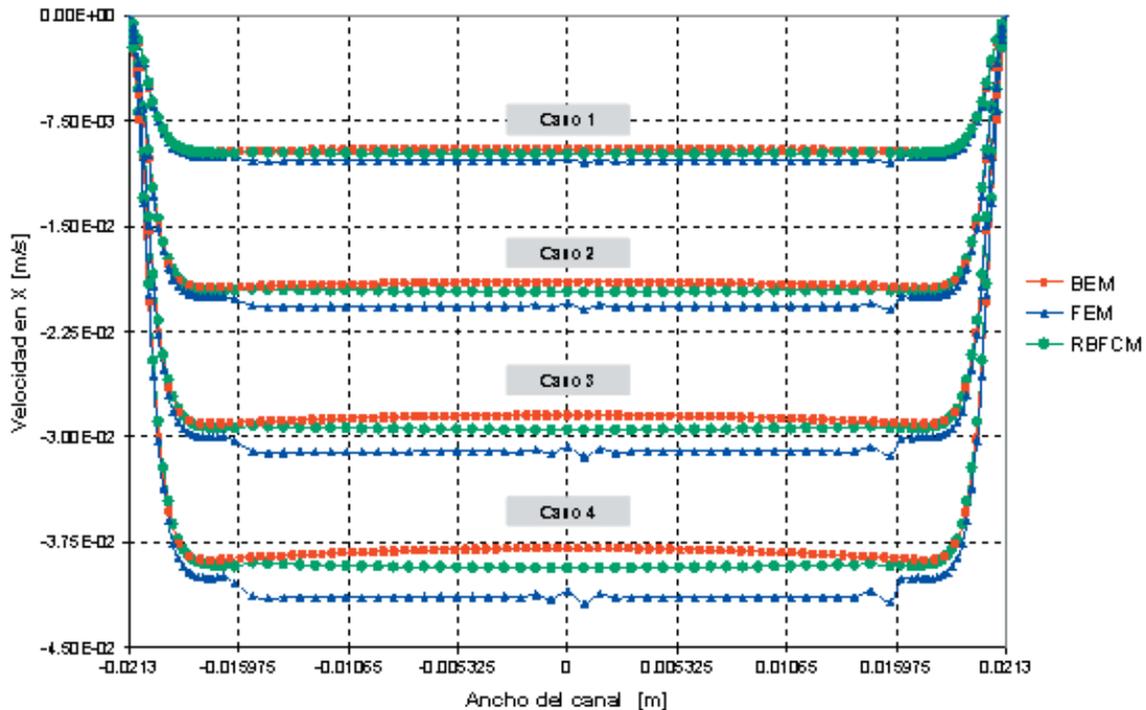


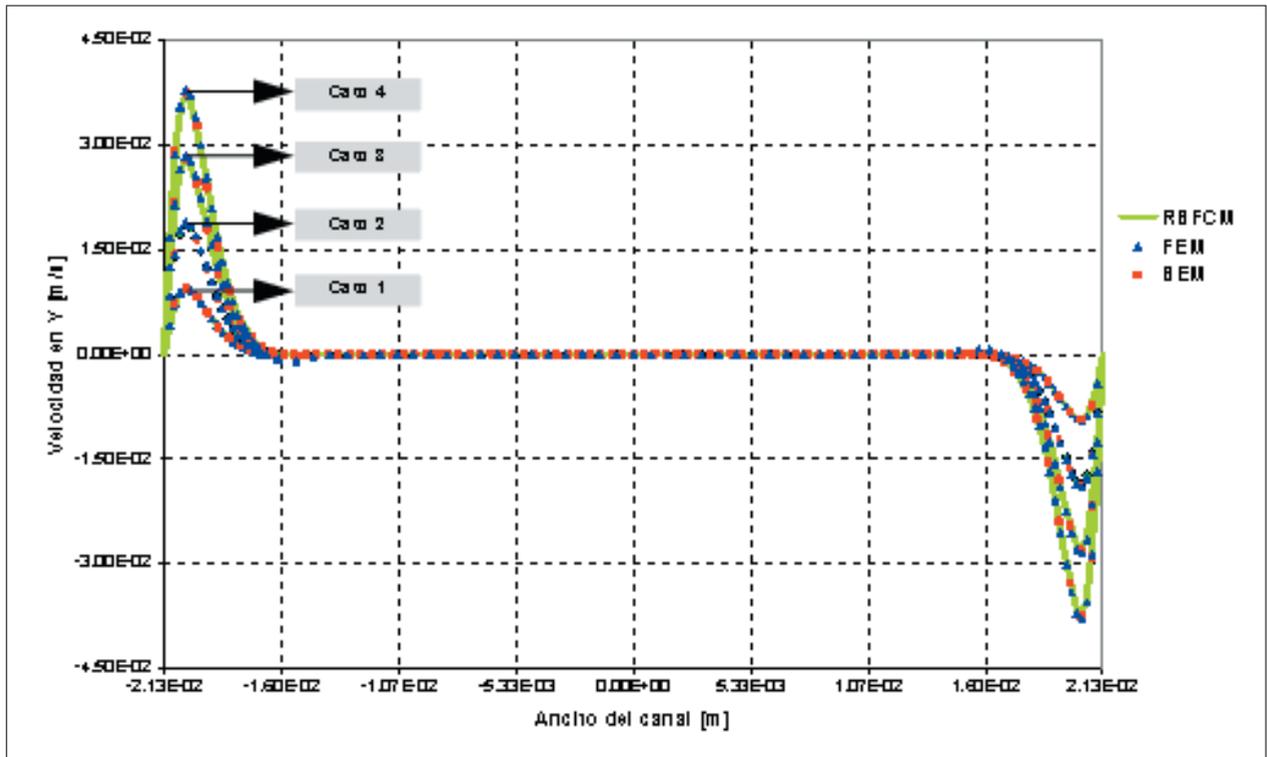
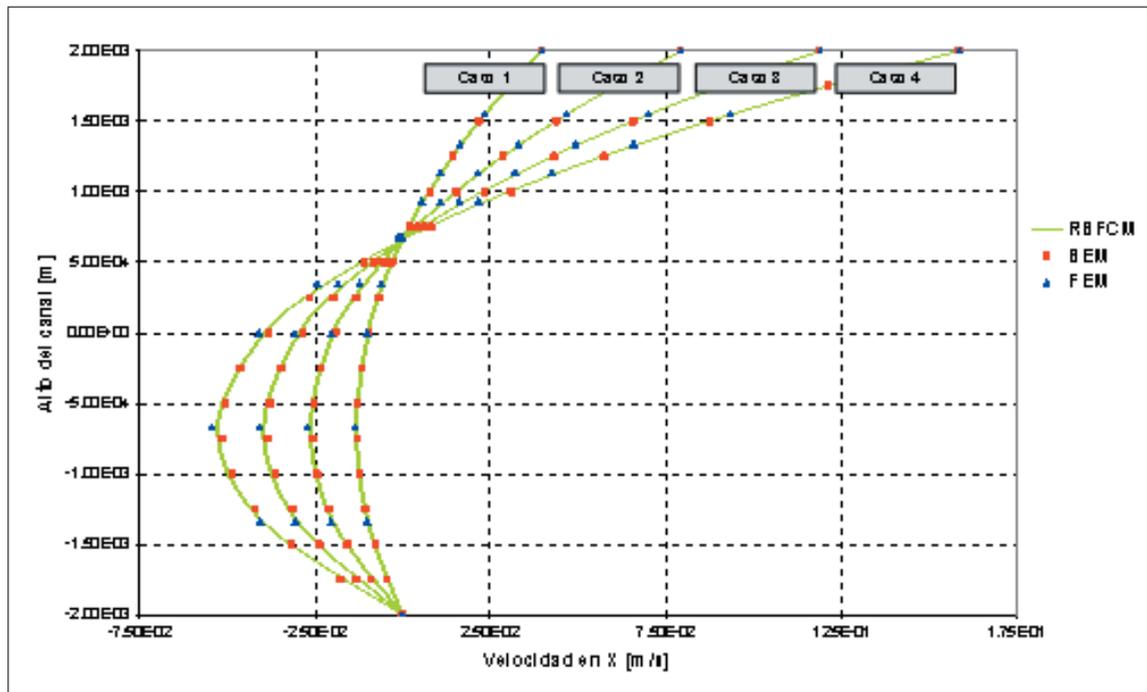
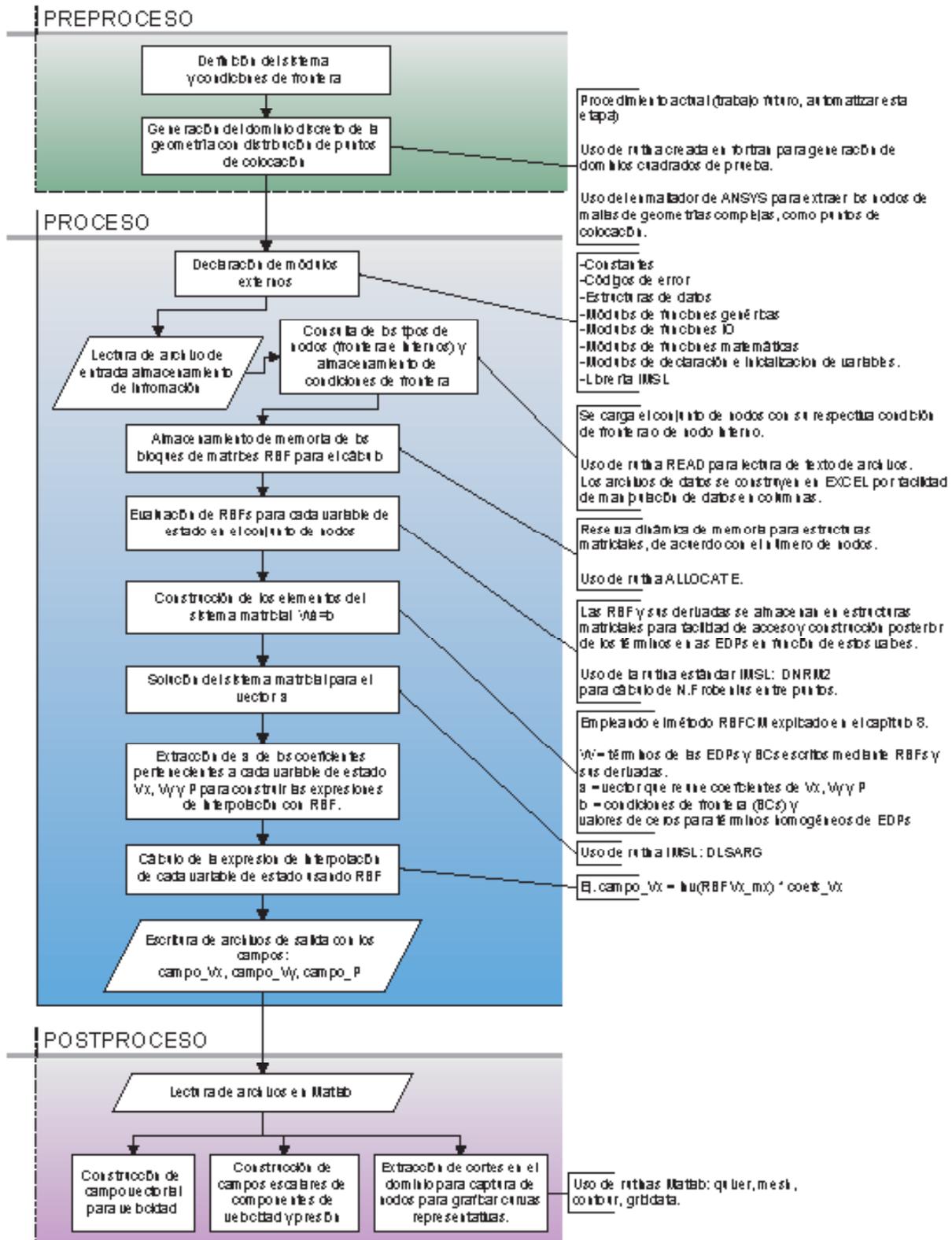
ILUSTRACIÓN 11. Componente de velocidad en y para corte en $y = 0$ en el canal del husilloILUSTRACIÓN 12. Componente de velocidad en x para corte en $x = 0$ en el canal del husillo

Diagrama de flujo de la implementación computacional en Visual FORTRAN



Para el caso de flujo en una cavidad (flujo transversal), el cual no posee una solución analítica para el tipo de fenómeno que se pretende estudiar, al realizar un análisis comparativo entre otros dos métodos numéricos, los cuales son el Método de Elementos Finitos FEM en ANSYS, y el Método de Elementos de Frontera BEM en BEMFlow 2D, se puede apreciar que la aproximación que da RBFCM se ubica entre los perfiles de aproximación de los anteriores. De esto se puede concluir que para el tipo de flujo en una cavidad, el modelo computacional RBFCM es capaz de arrojar resultados similares y tan buenos como los que pueden arrojar BEM y FEM para las mismas condiciones.

EVALUACIÓN GLOBAL Y CONCLUSIONES

1. Se ha presentado y discutido una solución numérica computacional en dos dimensiones basada en el Método de Colocación con Funciones de Base Radial RBFCM, para el modelo matemático de las ecuaciones de conservación de cantidad de movimiento y conservación de masa, acopladas y simplificadas para flujos de fluidos Newtonianos, isotérmicos, incompresibles, laminares y estacionarios. Este modelo, se aplicó en el análisis y simulación de varios tipos de fluidos poliméricos que se encuentran en el área del procesamiento de estos materiales, asumiendo que se trabajan en un rango de comportamiento Newtoniano.
2. De acuerdo con los resultados obtenidos en el presente desarrollo, así como con los que se encuentran publicados en la literatura, se puede considerar al Método de Colocación con Funciones de Base Radial RBFCM como una técnica numérica con gran potencial para resolver ecuaciones diferenciales parciales en el campo de los fenómenos de transporte, tanto para problemas lineales como el que se trató aquí, como también para algunos problemas no lineales.
3. La experiencia adquirida en la solución de los diferentes problemas de validación, mostró que las mejores funciones radiales utilizadas para interpolar los campos de presión y sus derivadas, son la *Thin Plate Spline* y la *Multiquadrics*, donde, para esta última se manejó el parámetro c variando desde 0.1 a 0.5, a pesar de que un estudio a profundidad para optimizar dicho parámetro de forma no se llevó a cabo como parte del presente proyecto.
4. Las mejores funciones radiales para la interpolación del campo de velocidad y la representación de sus primeras y segundas derivadas se debe a la *Polyharmonic Spline* y a la *Thin Plate Spline*, en estos casos, un mayor orden de la función radial ofrece una mejor aproximación al campo de derivadas de la velocidad pero afecta el condicionamiento de la matriz del sistema, por lo que se debe hacer una adecuada selección de dicho orden.
5. Los flujos a través de cabezales de extrusión son básicamente flujos debidos a gradientes de presión, los cuales se probaron en el contexto del presente trabajo y se validaron sus aproximaciones en geometrías simples con muy buenos resultados.
6. En el presente desarrollo se emplearon las Funciones de Base Radial en la realización de dos tareas, la primera en la etapa de proceso, específicamente en la solución de ecuaciones diferenciales parciales; y la segunda, en la etapa de post proceso para la construcción de las superficies interpoladas de los campos solución en un conjunto determinado de puntos en el dominio.
7. Se ha podido comprobar que, al igual que los métodos numéricos basados en malla, la calidad de la aproximación mediante RBFCM de los campos de las variables de estado en un sistema, depende del nivel de discretización y la manera como se distribuyen los puntos de colocación en el dominio. Adicionalmente, se resalta que dicha distribución se debe basar en la manera como se presentan las variaciones en los campos solución y por tanto se debe manejar un procedimiento iterativo para la discretización del dominio en la simulación de problemas con geometrías y gradientes de las variables que no sean triviales de estimar a priori.

8. Debido a su relativa simpleza de formulación e implementación, el presente método no solo reviste interés en la solución de problemas industriales concernientes al flujo de fluidos, en este caso en la simulación del flujo de carácter Newtoniano de polímeros, sino que también puede ser de valiosa utilidad en el área académica e investigativa para abordar problemas no triviales de flujos y lograr una mejor comprensión de estos.
9. El producto de este trabajo ha tenido utilidad inmediata como componente esencial del proyecto de investigación ICIPC-Colciencias, el cual a su vez se justifica por ser una herramienta de aplicación industrial y de soporte en las actividades de diseño y análisis en el área del procesamiento de polímeros.
10. El desarrollo llevado a cabo en este proyecto de grado se ha dado a conocer internacionalmente, en Colloquium Internacional de Procesamiento de Polímeros del Madison Group en Wisconsin EEUU, en Abril del 2005, organizado por el Profesor Tim Osswald.

BIBLIOGRAFÍA

Libros

- [1]. AGASSANT, J. F.; AVENAS, P.; SERGENT, J.-Ph.; CARREAU, P. J. *Polymer Processing, Principles and Modeling*. Hanser Publishers, New York, USA, 1991.
- [2]. BIRD, R Byron; WARREN E; Stewart. LIGTHFOOT, Edwin N. *Transport Phenomena*. Second Edition. John Wiley & Sons, USA, 2002.
- [3]. BURDEN, Richard L.; FAIRES, Douglas J. *Análisis Numérico*. 7^a. Edición. Editorial Thompson Learning. México, 2002.
- [4]. CHEJNE, Farid Janna; VELÁSQUEZ, Juan Esteban. *Fenómenos de Transporte y de transferencia, un enfoque termodinámico*. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas, Medellín, Colombia, 2004.
- [5]. CHORIN, Alexandre J.; MARSDEN, Jerrold E. A *Mathematical Introduction to Fluid Mechanics*. 3rd Edition, Springer, New York, USA, 2000.
- [6]. FERZIGER, Joel H.; PERIC, Milovan. *Computational Methods for Fluid Dynamics*. Springer, New York, USA, 1997.
- [7]. FLOREZ, Whady F. *Nonlinear Flow using Dual Reciprocity*. Topics in Engineering. Vol. 38. WIT Press. 1st Edition. December 1995.
- [8]. GARCÍA, Manuel Julio. *Lecture Notes on Numerical Análisis*. Department of Mechanical Engineering. EAFIT University, Medellín Colombia. July 2003.
- [9]. HERNANDEZ-ORTIZ, Juan Pablo. *Memorias de curso: Modelación Matemática en Procesamiento de Polímeros*. En ICIPC. Medellín, Colombia. Marzo 2004.
- [10]. JOHNSON, Richard W. (Editor). *The Handbook of fluid dynamics*. CRC Press, USA, 1998.
- [11]. MICHAELI, W. *Extrusion Dies*. Hanser Publishers, Munich, Germany, 1992.
- [12]. NARANJO, Alberto; NORIEGA, Maria del Pilar; SIERRA, Juan Diego; SANZ Juan Rodrigo. *Extrusion Processing Data*. Plastics Pocket Power, Hanser. 2001.
- [13]. OSSWALD, Tim; MENGES, Georg. *Materials Science of Polymers for Engineers*. Hanser Publishers. New York, USA. 1996.
- [14]. PITTMAN, J. F. *Finite Elements for Field Problems*. En: TUCKER III *Computer Modeling for Polymer Processing*. Hanser Publishers, New York, USA, 1989, Pg 238-331
- [15]. RAUWENDAAL, Chris. *Polymer Extrusion*. 3rd Edition. Hanser Publishers, New York, USA, 1994.
- [16]. ROACHE, Patrick J. *Computational Fluid Dynamics*. Hermosa Publishers. Mexico. 1972.

- [17].STREET, Robert L. *Elementary Fluid Mechanics*. 7th Edition, Wiley & Sons, USA, 1995.
- [18].TADMOR, Zehev; GOGOS, Costas. *Principles of Polymer Processing*. John Wiley and Sons – SPE. USA, 1979.
- [19].TUCKER III, Charles L. *Computer Modeling for Polymer Processing*. Hanser Publishers, New York, USA, 1989.
- [20].VLACHOUPULOS, J. *Recent Progress and Future Challenges in Computer-Aided Polymer Processing and Design*. ATV-Semapp Meeting, Denmark, 1999.
- [21].BUHMANN, M. D. *Radial Basis Functions*. Mathematical Institute, Justus Liebig University, Germany. Cambridge University Press, Acta Numerica, 2000. p.1-38.
- [22].BUHMANN, M. D. *A new class of radial basis functions with compact support*. Mathematics of computation. Vol. 70. p.307-318. 2001.
- [23].CHEN, C. S.; HON, Y. C.; SCHABACK, R. A. *Scientific Computing with Radial Basis Functions*. Draft version 0.0. Institut für Numerische und Angewandte Mathematik der Universität Göttingen. 37083 Göttingen, Deutschland. September 2003
- [24].CHEN, Wen. *New RBF Collocation schemes and their applications*. International Workshop Meshfree Methods for Partial Differential Equations. 2001
- [25].ESTRADA, Omar A.; NORIEGA, Maria del Pilar; LÓPEZ, Iván D. *Solución de la ecuación de energía en 2D usando el método de colocación con funciones de base radial y su aplicación en el procesamiento de polímeros*. Instituto de Capacitación e Investigación del Plástico y del Caucho ICIPC. Medellín, Colombia. 2004, ANTEC SPE - Society of Plastics Engineers, 2005.
- [26].FASSHAUER, Gregory E. *On the numerical solution of differential equations with radial basis functions*. Department of applied mathematics. Illinois Institute of Technology. Chicago, USA. 2000.
- [27].FRANKE, C. SCHABACK, R. *Solving partial differential equations by Collocation using Radial Basis Functions*. 1998.
- [28].FRANKE, C. *Scattered data interpolation: test of some methods*. Mathematics of Computation. 48, p.181-200. 1982.
- [29].GRESHO, Philip M.; SANI, Robert L. *On pressure boundary conditions for the incompressible Navier-Stokes equations*. International Journal for Numerical Methods in Fluids. 1987, 7, p.1111-1145.
- [30].ISKE, Armin. *Optimal distribution of centers for radial basis function methods*. Techn. Univ. München, Fak. f. Math. 2002.
- [31].KANSA, Edward J. *Motivation for using Radial Basis Functions to solve PDEs*. Lawrence Livermore National Laboratory and Embry-Riddle Aeronautical University. Oakland CA. U.S.A. Aug 1999.
- [32].KANSA, Edward J. *Multiquadrics - A Scattered data approximation scheme with applications to computational fluid dynamics I. Surface approximations and partial derivatives estimates*. Computers and Mathematics with applications, Elsevier. 1990, vol. 19, No.8/9, p.127-145.
- [33].KANSA, Edward J. *Multiquadrics - A Scattered data approximation scheme with applications to computational fluid dynamics II. Solutions to parabolic, hyperbolic and elliptic partial differential equations*. Computers and Mathematics with applications, Elsevier. 1990, vol. 19, No.8/9, p.147-161.
- [34].KARAGEORGHIS, Andreas; CHEN, C. S.; et. al. *A matrix decomposition RBF algorithm. Part I: Approximation of functions and their derivatives*. Las Vegas - Nevada, USA. 2004. (Próximo a ser publicado).

[35].MOUAT, C. T.; BEATSON, R. K. *RBF Collocation*. University of Canterbury, Private Bag 4800, Christchurch, New Zealand. Report number: UCDMS 2002/3. February 2002.

[36].NI, Alexander. *Pressure boundary conditions for the vorticity – velocity formulation of Navier-Stokes equations*, ABB Management Ltd, Research Center. Elsevier. Engineering analysis with boundary elements 1998, 22, p.33-40.

[37].OSSWALD, T. A. BAUR, E. *BEM in Plastics Processing*. Kunststoffe plast europe. 1999, vol. 89, No. 2, p.16.

[38].PATANKAR, S. V. *Numerical Heat Transfer and Fluid Flow*. Ed. Hemisphere New York. 1980.

[39].PÉREZ Caseiras, Carlos. *Desarrollo de métodos de volúmenes finitos para la resolución de las ecuaciones de Navier-Stokes*. Tesis doctoral presentada en el Centro Politécnico Superior de la Universidad de Zaragoza. Octubre 1994.

[40].ROLDAN, Carlos E.; ESTRADA, Omar A.; LOPEZ, Iván D. ICIPC – Instituto de Capacitación e Investigación del Plástico y del Caucho, Informe de investigación: *Evaluación de diferentes funciones de base radial para la aproximación de los campos de las primeras y segundas derivadas a partir de funciones de prueba*. Mayo 27 de 2005. Documento Público en el ICIPC, próximo a ser publicado en la biblioteca de la Universidad EAFIT.

[41].VÁSQUEZ, Eliana M; RUIZ, Oscar (adviser). *Surface Reconstruction*. B.Sc. Undergraduate project, Computer Science, EAFIT University, Medellín Colombia, 2003.

[42].ZERROUKAT, M.; POWER, H.; CHEN, C. S. *A numerical method for heat transfer problems using collocation and radial basis functions*. International Journal for Numerical Methods in Engineering. 1998; 42: p.1263-1278.

INTERNET

[43]. ANSYS - Flotran. *Software comercial de análisis y simulación en CFD*. <http://www.ansys.com/> Diciembre 2004.

[44]. BEM FLOW. The Madison Group. *Software comercial de análisis y simulación en CFD, basado en el Método de Elementos de Frontera*. <http://www.madisongroup.com>

[45]. COSMOS FloWorks. *Software comercial de análisis y simulación en CFD*. <http://www.solidworks.com/pages/products/cosmos/cosmosfloworks.html> Febrero 2005.

[46]. FLUENT POLYFLOW. *Software comercial de análisis y simulación en CFD y con aplicaciones para el diseño de cabezales de extrusión y flujo de polímeros*. <http://www.fluent.com/software/polyflow/extru.htm> Diciembre 2004.

MEJORAMIENTO ORGANIZACIONAL MEDIANTE LA IMPLANTACIÓN DE LA FILOSOFÍA DE 5S: CASO MICROPLAST S.A.

MARGARITA MARÍA JARAMILLO BOTERO
JUAN PABLO AGUDELO
Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS

MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

ASESOR PRINCIPAL

JUAN PABLO AGUDELO, EAFIT

EMPRESA

MICROPLAST S.A.

RESUMEN

El siguiente artículo construido utilizando la metodología Eisenhardt, describe y analiza el proceso de implementación de la empresa MICROPLAST y hace un recuento cronológico del cambio organizacional logrado en dicha compañía.

El proceso de implantación se analiza a la luz de la visión de los sistemas de gestión de la compañía, para lo cual, las 5S tienen que ser planteadas como una metodología con procedimientos, estándares, organizaciones y normas para que sea reconocida dentro de la empresa como un sistema de calidad que aporte a los demás sistemas de gestión y que sea una base fundamental para el desarrollo o apoyo a la empresa.

Las 5S no se pueden visualizar como actividades puntuales que se realicen esporádicamente dentro de una planta, ya que para un sistema de calidad es de

vital importancia poder, en cualquier momento, verificar resultados y confrontarlos con una metodología de trabajo. Siguiendo este esquema, la metodología de 5S debe estar lista, en cualquier momento en que se haga una auditoría, para mostrar procedimientos, resultados, seguimiento y planes de acción tomados frente a las áreas de oportunidad observadas.

Para lograr lo anterior, se requiere una metodología de trabajo que permita el diseño de la estrategia a implementar, su desarrollo e implantación de una manera coherente y lógica para el cumplimiento de los objetivos propuestos.

ABSTRACT

The subsequent article was made using the Eisenhardt methodology; it describes and analyzes the process of implementation followed at MICROPLAST summarizing chronologically the organizational transformation completed by such company.

The implantation process is analyzed throughout the company's vision related to management systems, therefore 5S must be set as a methodology including procedures, standards, organizations, and norms, in order to be acknowledged inside the company as a quality system capable of contributing to other management systems as an essential foundation for the development and support of the company.

5S should not be considered as isolated activities completed at irregular intervals. Since 5S is of high importance for a quality system in order to verify results and confront them with a particular task methodology at any point and time, 5S must be prepared to assume an auditory at any time in order to show procedures, results, pursuits and plans of action taken.

To achieve what has been previously described, a methodology is required to allow a strategy design, implementation, development, and implantation in a coherent and logical manner in order to achieve the proposed goals.

PALABRAS CLAVES

5S, mejoramiento, metodología Eisenhardt, MICROPLAST.

CONTEXTO DE LA EMPRESA

Orientada a la satisfacción del cliente y con procesos en los cuales se combinan un excelente equipo humano y la tecnología de punta, MICROPLAST es una empresa convertidora de empaques flexibles fundada en los años 50 y especializada en sectores tan importantes y exigentes como alimentos e higiene.

Con sede en Medellín, Colombia, al lado de las principales compañías nacionales en los sectores de su especialidad, la empresa ha cumplido una importante trayectoria que hoy la ubica como una de las líderes en el mercado, con una amplia gama de materiales que se adaptan a los diferentes requerimientos de empaque, llegando a diversos mercados del mundo entero, a través de exportaciones directas e indirectas.

Excelente recurso humano, calidad, servicio, tecnología, investigación y un claro compromiso con la comunidad y el medio ambiente, marcan la diferencia en una empresa líder, completamente flexible al cambio y dispuesta a mantener el ritmo que exige un mercado globalizado, a fin de brindar siempre la mejor opción de empaque.

En la actualidad, MICROPLAST S.A. es una empresa líder en la producción de empaques flexibles en el medio, se especializa en empaques que permitan generar mayor valor agregado, es decir, responder a mayores exigencias; por esto se inclina hacia los mercados alimenticios y de productos de higiene, adicionalmente, buscan clientes en el negocio alimenticio que pertenezca a la gama alta, es decir, que tengan un alto grado de industrialización.

Las distintas necesidades que presentan los clientes para la elaboración de un empaque para un determinado producto, lleva a que este pueda pasar por diferentes procesos. Los procesos que se realizan en MICROPLAST S.A. son: Preprensa Digital, Extrusión, Impresión, Laminación, Recubrimientos, Manufactura de Bolsas.

FOTO 1. Proceso de impresión



Fuente: Procesos: Procesos [en línea]. 2003 [citado en febrero de 2005]. Disponible en Internet: <http://www.microplast.com.co> - sección procesos

La empresa tiene actualmente políticas de calidad y ambientales que le apuntan a cumplir con normas y certificaciones tales como: ISO9000, ISO14000, AIB y

Buenas Prácticas de Manufactura, que ayudan a cumplir con el compromiso con el medio ambiente y a asegurarle al cliente empaques reproducibles, higiénicos y con altos estándares de calidad.

Al ser una empresa altamente competitiva, MICROPLAST es una empresa líder en exportaciones, convirtiéndose así en una empresa de categoría mundial, por lo que una filosofía como las 5S se vuelve una herramienta útil para ayudar a cumplir con todos los objetivos y filosofías corporativas.

Las políticas de calidad y ambiental que proponen las normas en las que actualmente la empresa se encuentra certificada tienen exigencias muy claras en cuanto a organización, orden y aseo y la necesidad del programa de las 5S en planta surge precisamente de estas exigencias, ya que por si solas, las normas no tienen como asegurar estos aspectos, ellas solo exigen y documentan los procesos y muestran los puntos en los que se debe sostener y mejorar.

Algunas características importantes para nombrar acerca de la empresa son las siguientes:

- No existe la figura de supervisores. En un rango jerárquico de abajo para arriba existen los siguientes perfiles: ayudantes de operario, operarios, promotores de calidad, practicantes, asistentes de producción, mantenimiento, y calidad, jefes de producción, mantenimiento y calidad y gerencia técnica y demás cargos administrativos y gerencias.
- Se utiliza mucho la mano de obra de practicantes para llevar a cabo proyectos.

MISIÓN

“Suminramos empaques flexibles a la medida de los productos y necesidades de nuestros clientes. Competimos con productos de calidad certificada a precios competitivos y agregamos valor con servicios de asesoría comercial y técnica.

Trabajamos con ética y responsabilidad social por el crecimiento de la compañía, la satisfacción de nuestros clientes, la rentabilidad de nuestros accionistas, el desarrollo integral de nuestro personal y la protección del medio ambiente.”

VISIÓN

“Seremos reconocidos como una empresa eficiente, innovadora y enfocada al cliente, basada en tecnología de avanzada y talento humano con conocimiento especializado y alto compromiso en sus resultados.”

FUERZA LABORAL

La empresa cuenta en la actualidad con 234 empleados de los cuales 50 son del área administrativa y los restantes están distribuidos entre personal operador de máquinas, ayudante y personal de procesos soporte tales como logística de entrada y salida.

EL PROCESO DE CAMBIO

Drivers

El proceso de implementación de 5S como estrategia de mejoramiento organizacional, vino dado por la necesidad de llevar el nivel de organización, orden y limpieza de la planta a un nivel cultural, donde se pudiera asegurar que era parte de la cultura de las personas, ya que se vio esto como un problema que a menos de que las personas no tuvieran la intención de mejorar no iba a cambiar a menos de que se utilizaran métodos correctivos como memorandos o inclusive la terminación de contratos de las personas, lo cual no tendría el efecto buscado que es crear lugares de trabajo armoniosos, seguros y que buscaran la disminución de pérdidas de todo tipo.

El proceso de implantación surge de la gerencia en el año 2001, pero tuvo muchos inconvenientes iniciales ya que fue visto como algo que un practicante de mantenimiento podría montar y que su seguimiento fuese a través de practicantes que cambiaban cada semestre.

Los resultados iniciales de esta metodología eran que cada semestre se le cambiaba las reglas del juego a los operarios ya que cada practicante vivía el siguiente proceso: le tomaba aproximadamente 2 meses en conocer la planta, los operarios, la metodología, las máquinas; en los siguientes 2 ó 3 meses realizaba su trabajo que involucraba hacer mejoras al sistema y en ese punto se acababa su semestre de práctica por lo que era probable que no tuviera la oportunidad de cosechar resultados sobre lo que se había hecho en el semestre; luego venía el próximo practicante, cosechaba resultados y cambiaba la metodología para adaptarla mejor a la realidad.

Con esta metodología, lograr resultados y procedimientos confiables era imposible debido a que cada semestre los operarios tenían que adoptar a una persona nueva, con ideas nuevas, que cambiaba la manera en que concebían el proceso.

En el año 2003, la gerencia toma la decisión de vincular un practicante como Líder del proceso de implantación de la metodología, lográndose obtener resultados por un período de tiempo superior a los anteriores, y generando la metodología que actualmente se usa y que se probó como óptima por lo resultados obtenidos.

La continuidad del proyecto, llegado al punto en que dejó de ser un proyecto para convertirse en un sistema dentro de los procesos de la compañía, vino apalancada por los resultados obtenidos durante el año 2004, los cuales generaron un impacto tal en la organización que la gerencia decidió llevar las 5S al nivel tal de que los procesos de la compañía se debían apoyar en el sistema y participar activamente de él. Los resultados que mas impacto generaron a nivel administrativo fueron los obtenidos durante las auditorias del ICONTEC y las realizadas por los principales clientes de la compañía como su principal proveedor.

ETAPAS DEL CAMBIO

Inicio

El proceso se inicia con el pronunciamiento de la gerencia hacia el departamento de Mantenimiento, donde se toma la iniciativa de empezar como zona piloto con el Taller de Mantenimiento. Este proceso toma un período de tiempo bastante largo debido al problema mencionado anteriormente en el cual se cambiaba la persona encargada cada 6 meses.

Después del segundo año de trabajo, la gerencia toma la decisión de emplear un practicante y darle continuidad a su trabajo hasta que se graduara, momento en el cual fue contratado como ingeniero para coordinar todas las labores de implementación, desarrollo y seguimiento de las 5S y enfrentar la migración hacia el TPM como reto profesional.

Fue a finales del 2003 que se tuvo las conclusiones finales que llevaron a implementar un nuevo modelo de trabajo en 5S para el año 2004 y estas fueron:

- Para el modelo organizacional de la compañía donde no se tienen supervisores, nombrar personas de planta como líderes de sección sin darles ningún tipo de poder, o remuneración generó mas efectos negativos que positivos, este modelo solo sería útil en una organización que tuviera una cultura organizacional avanzada, después de las 5S, se podría pensar en este esquema para el trabajo con TPM.
- No se podía continuar cambiando las reglas del juego, y se debía establecer prontamente un modelo efectivo y seguro para recobrar la confianza perdida de los operarios.
- El involucramiento de los mandos medios en la evaluación de 5S (reemplazando el trabajo de los anteriores líderes de planta) fue la clave del éxito de la metodología.
- Se debía plantear objetivos claros a lograr y un sistema de medición que permitiera hacerle seguimiento a esos objetivos.}

Transición

De la metodología que se tenía antes del 2004 se hicieron modificaciones en las zonas escogidas como pequeños equipos de trabajo, se conformó un comité de 5S con funciones claras como participantes activos en la evaluación de la gestión de la metodología y se crearon 9 criterios nuevos y diferentes a los anteriormente utilizados (24).

Se hizo un trabajo arduo de capacitación persona por persona, a nivel de lograr generar conciencia en lo que se pretendía buscar con la implantación de la metodología. En este punto, el Líder de las 5S pasó la mayor parte de su tiempo viviendo las experiencias de la planta, y conociendo de boca de los operarios su visión acerca de como querían un lugar de trabajo ideal y motivando la búsqueda de ese ideal.

A medida que la sensibilización y el trabajo en planta avanzaron, los resultados en planta empezaron a ser notorios, lo cual motivó a todas las personas de la empresa, tanto administrativos como operarios, a continuar esfuerzos para lograr las metas propuestas.

Durante el año 2004, después de haber lanzado la metodología a implementar en febrero, no hubo necesidad mas que de hacer algunos detalles para pulir los criterios, pero se logró la meta principal que era conseguir una metodología confiable, que llevara a resultados tangibles, que generara confianza y expectativa tanto en planta como en oficinas y que impresionara a clientes.

Consolidación

La consolidación del proceso se ha hecho paulatinamente a través del tiempo. La fácil evidencia de resultados motiva a que el trabajo en equipo se intensifique y hace que se logre que la gerencia este altamente involucrada en el trabajo.

El proceso ha adquirido movilidad propia, al punto que los operarios mismos se encargan de trabajar y empujar a quienes se quedan en el camino y que todo el personal de la compañía habla de las 5S no como algo que hacía

mantenimiento o el líder de 5S sino como propio de sus funciones.

Cada vez se acercan mas empresas a la compañía buscando asesoría en lo relacionado a las 5S y la gerencia toma la decisión de incluir las 5S como un valor agregado a adicionar al portafolio de productos para clientes.

El cambio organizacional fue tan impactante, que la gerencia tuvo suficientes razones para mas adelante concluir que se debía emigrar al TPM y es hacia allí donde los esfuerzos del 2005 deben ser enfocados.

Resultados obtenidos

A parte de los logros obtenidos en los aspectos de organización, orden y limpieza evidenciados por el incremento en los indicadores de 5S, existen otros logros, presentados en informe a gerencia durante diciembre del 2004, y que muestran éxito en la gestión, estos se enumeran a continuación:

1. Cultura de las personas
2. Estructuración de la metodología con resultados positivos frente a logros en planta y a nivel de cultura organizacional
3. Aumento del nivel de la planta de 1.5 en febrero a 3.69 en noviembre del 2004.
4. Optimización del espacio en planta (ej. Movimiento de máquinas, demarcación de zonas de tintas y materias primas de las máquinas)
5. Logros obtenidos en la auditoria del ICONTEC, en la cual se obtuvo una mención especial como un aspecto a felicitar de la gestión de la compañía.
6. Logros y menciones obtenidas en las auditorías y/o visitas de clientes tales como: Noel, Johnson & Johnson, Procter & Gamble, Dulces de Colombia (quienes solicitaron asistencia técnica en el tema 5S), Nacional de Chocolates, Casa Luker (también solicitaron asistencia técnica), Suratep – Suramericana de Seguros, Noel Costa Rica, entre otras.

7 Apoyo en la acreditación de los laboratorios de Metrología e Instrumentación.

Los puntos anteriores muestran que el impacto en la organización es bastante positivo considerando que el sistema es visto como un valor agregado y un punto fuerte dentro del esquema organizacional.

Obstáculos y estrategias para manejarlos

Algunos de los obstáculos encontrados fueron:

- La falta de liderazgo de los líderes de planta fue crucial para la metodología debido a que no se lograba evidenciar áreas de oportunidad, lo que conllevaba a pobres resultados.
- Existía conocimiento medio por parte de las personas que lideraban el proyecto, por lo que se hizo necesario concentrar esfuerzos en reforzar conocimientos tanto a nivel de bibliografía como a nivel de visitas a otras empresas para aprender de sus experiencias de implantación.
- Se encontró mucha resistencia al cambio por parte del personal de planta con mayor antigüedad, al igual que por parte de algunas personas del área administrativa que veían la metodología como algo más que hacer aparte de sus funciones normales y no como un cambio cultural.
- El manejo del liderazgo del proyecto con practicantes fue el factor que causó un atraso significativo en la implantación, debido a que tomó casi 3 años en comprender que todo proyecto necesita estabilidad en su nivel superior para asegurar continuidad, resultados, y confianza en su implantación.

LECCIONES APRENDIDAS

- Es necesario generar conciencia en la gerencia por asignar recursos permanentes, que cumplan un cierto perfil definido y que sean los principales convencidos del proyecto.

- Se debe tener conciencia de que este tipo de proyecto involucra la inversión de recursos, tanto humanos como físicos, por lo tanto, la gerencia debe estar conciente que su gente estará dedicándole tiempo a las 5S y que se deberán hacer inversiones de dinero en cosas que ellos podrían ver como "no agregan valor", pero que son cruciales para agregarle valor a los puestos de trabajo de las personas, tales como estanterías, carros, mesas, pintura, modificaciones a las máquinas, entre otras.
- Se debe tener muy claras las respuestas a las siguientes preguntas: que, como, donde, cuando, de la metodología 5S; es decir, definir muy bien las variables de como se va a implementar y evaluar; donde se evaluará, es decir, generación de pequeños equipos de trabajo; quien evaluará, es decir, la creación del Comité de 5S, y así se tendrá un modelo de trabajo concreto y claro para todas las personas de la organización.
- Los indicadores de gestión del proyecto deben ser claros, y lograr medir el nivel de avance de los pequeños equipos de trabajo de manera certera para poder crear planes de acción a partir de ellos.
- Los planes de acción generados a partir de los indicadores deben ser periódicos, tener seguimiento y asegurar que todas las partes implicadas trabajen para lograr el mejoramiento continuo.

CONCLUSIONES

En cuanto al diagnóstico general de la compañía:

1. Se percibe una historia de apoyo de la gerencia que se fue transformado con el tiempo, ya que inicialmente se trabajaba con practicantes que cambiaban cada 6 meses, por lo tanto no se lograba obtener una estabilidad en la metodología. La tendencia actual es trabajar con una misma persona encargada del proyecto lo que le está dando un nivel de estabilidad y credibilidad que se percibe en la compañía.
2. El nivel general de aseo básico de la empresa es bueno, es decir, es una empresa bastante limpia

en lo superficial, pero cuando se entra a mirar en lo profundo se encuentra áreas de oportunidad bastante importantes debido a que son aspectos que las normas AIB y BPM castigan fuertemente como por ejemplo la presencia de polvo, regueros de aceite, derrame de sustancia químicas especiales, contenedores sin identificar, obstaculización de vías de evacuación, daños menores en máquinas, falta de lubricación, entre otros.

3. En cuanto al involucramiento del personal de planta en la cultura organizacional que se busca, se encontró un nivel de aceptación medio-alto, es decir, se encontró una gran parte de los operarios entusiasmados con la idea de aprender nuevos caminos, pero se encontró renuencia con otra parte de ellos, que son quienes opinan que llevan una cantidad de años haciendo las actividades y que no necesitan aprender.
4. Se debe mejorar el clima organizacional de la planta, debido a que los operarios se acostumbraron a trabajar con las herramientas que tienen, de manera que adaptan canecas o mesas inestables para hacer actividades que representan un riesgo para la salud y resulta imposible prevenir pequeños fallos sino están dotados de elementos suficientes para llevar a cabo sus funciones.
5. Se debe hacer un fuerte énfasis en el aseo de las máquinas debido a que hay muchos lugares de difícil acceso, donde se acumula polvo, grasa y demás fuentes de contaminación y existe muy poca cultura en cuanto a la importancia de corregir estas fuentes de contaminación.
6. Se debe trabajar mucho en el nivel de compromiso de los mandos medios, debido a que se percibe las 5S como la actividad de un practicante y no el compromiso de toda la organización.

Considerando los anteriores punto, y lo observado a través del proyecto, la implementación de una filosofía de mejoramiento organizacional como las 5S resulta una manera efectiva, económica y accesible de elevar el clima organizacional y de crear cultura de organización, orden y limpieza que necesita la empresa para ser competitiva y generar valor agregado a sus clientes.

El nivel de compromiso de la compañía en todos sus niveles con la filosofía es de vital importancia que sea alto, por que no solo se debe apoyar y empujar el proyecto, sino que también son las directivas y los mandos medios quienes deben dar mas ejemplo y retroalimentar las acciones observadas en la planta. Es por esto, que resulta de vital importancia que todos los miembros de la organización estén capacitados en todos los temas concernientes a la filosofía de las 5S.

Se debe aprovechar la experiencia y conocimiento de otras empresas, ya que la teoría lleva a conclusiones que si se aprovecha el conocimiento de otras personas puede llevar a no cometer errores, como por ejemplo subestimar el poder que tiene en la teoría el rol del supervisor, el cual, en el caso de MICROPLAST se tuvo que reemplazar por un modelo adaptado a la realidad de la compañía, que fue el darle nuevos roles a los miembros del comité de 5S.

La mayoría de áreas de oportunidad encontradas en la empresa son de carácter humano y técnico, por lo tanto, la capacitación permanente y el trabajo en la cultura de las personas, logran resultados tangibles y fácilmente visibles para los clientes internos (directivas, mandos medios, y demás compañeros de planta) y externos (principales clientes de la compañía que trabajan en el sector alimenticio) de la metodología.

Las metas, objetivos de la implantación deben ser muy claros, concretos y logrables para no generar desconfianza, deserción o cualquier otra actitud que perjudique los propósitos iniciales de la compañía.

El inicio de la planeación de la metodología, debe ser a manera de preguntas, es decir, se debe cuestionar para que se está haciendo esto, que se desea lograr, como se desea lograr, y al responderse estas preguntas, lograra tener una visión del como lograr implementar un modelo de mejoramiento organizacional basado en logros medibles, es decir, con indicadores.

Citando al gerente de la compañía, "lo que no se mide, no se mejora", es por esto que no solo se debe incorporar a

la metodología un modelo de medición, sino que también se debe tener un sistema de seguimiento que evalúe constantemente las diferentes zonas, en los diferentes criterios y que evidencie la realidad como planes de acción para mejorar.

Se debe trabajar también en incentivar las acciones positivas, es decir, así como se reconoce y evidencia las áreas de oportunidad, se debe felicitar y promulgar las acciones positivas que demuestren gestión y actitud positiva frente a la filosofía por parte del personal.

Se debe crear conciencia en la gerencia y mandos medios acerca de la importancia y lo inevitable de la inversión de recursos en el proyecto, ya que es una realidad que si se le exige a las personas organizar, limpiar y además de eso mejorar los sistemas, esto va a requerir que se doten las máquinas y las diferentes zonas con mesas, estanterías, carros para rodillos o elementos de apoyo, modificaciones de guardas, pintura de máquinas y pisos, entre otros y esto tiene costos elevados.

En cuanto al impacto en la organización de la metodología:

1. Los resultados obtenidos a través de la implementación de 5S favorecen la organización en cuanto a que se convierte en fortaleza a la hora de una auditoría el tener un sistema con esquemas de seguimiento, planes de acción de mejoramiento y retroalimentación, lo cual para un auditor se convierten en prueba de una buena gestión.
2. En las auditorías que anualmente hace el ICONTEC a las empresas para ratificar su status de certificadas en las diferentes normas, el programa de las 5S salen como una fortaleza de la compañía y como un punto a favor de la gestión interna que se hace en los aspectos de calidad y ambientales.
3. En las auditorías a proveedores que hacen anualmente los diferentes clientes que tiene la compañía ha sido resaltada la organización, orden y limpieza de la planta y esto gracias al trabajo de la metodología de las 5S. Esto eventualmente se puede traducir en

que gracias a los avances hechos en planta con la metodología, se ha contribuido a que la empresa sea considerada uno de los proveedores más importantes de varios clientes por el valor agregado que tiene MICROPLAST en cuanto a limpieza que muchos de los principales competidores no tienen.

4. El ambiente o clima organizacional se ha visto drásticamente modificado por la filosofía de las 5S, ya que todas las personas han absorbido la filosofía y han aprendido a que siempre pueden existir mejores opciones a las que se tienen y se ha perdido el miedo al cambio que puede ser uno de los principales obstáculos de la metodología.
5. Se han logrado percibir mejoras que impactan el clima organizacional en cuanto a que se han hecho mejores distribuciones del espacio en la planta, optimizando así el área de acción que tienen definidas las diferentes zonas; esto conlleva a la disminución de tiempos por búsqueda de espacio que antes no estaba asignado, por exceso de movimientos innecesarios, entre otros.

En cuanto a las variables a definir tales como perfiles de las personas involucradas, recursos necesarios, zona piloto:

1. Debe ser muy claro que la persona encargada de la implementación de 5S en planta debe cumplir las siguientes competencias: comunicación efectiva, orientación al logro, trabajo en equipo, desarrollo y mantenimiento de relaciones, vitalidad, recursividad, juicio, organización, agradabilidad, comunicación verbal y escrita, orden y limpieza, atención al detalle, pensamiento analítico, persuasión, liderazgo y direccionamiento de personal, capacidad de negociación. Al cumplir con estas competencias se asegura que esta persona está en capacidad de planear, organizar, crear y liderar un proceso de implementación de una metodología de mejoramiento organizacional, partiendo de la base que su principal función será vender ideas y la metodología a las personas. La información acerca de las competencias corporativas se pueden ampliar en el anexo D.

2. Las personas que participen del Comité de 5S deben tener un rango superior en la escala de poder de la compañía, es decir, debe estar conformado por mandos medios o directivos. La literatura dice que debe estar formado por grupos interdisciplinarios, pero en la experiencia de la compañía esto solo funciona cuando se haya llegado a un nivel superior de cultura organizacional, pero mientras se inicia un programa como estos, debe hacer figura de mando para que se logren objetivos.
3. La gerencia debe tener muy claro que la implementación de una metodología de mejoramiento organizacional como esta implica la inversión de tiempo del personal del comité de 5S que en su mayoría está conformado por los ingenieros de planta y jefes de sección.

BIBLIOGRAFÍA

- ALVAREZ LAVERDE, Humberto. Estrategia de las "5S". Manual electrónico producido por Advanced Productive Solutions, S.L, Barcelona – España. 2003. Nota: Libro disponible para la empresa MICROPLAST S.A. a través de acceso con clave privada ya que es un manual electrónico.
- SUZUKI, Tokutaro. TPM para industrias de Proceso. Japan Institute of Plant Maintenance. Versión en español TGP – Hoshin. Madrid – España. 1995. ISBN: 84-87022-18-9.
- TSUCHIYE, Seiji. Mantenimiento de la Calidad. Producido por Productivity Press y traducido por TGP – Hoshin. Madrid - España. 1995. ISBN: 84-87022-16-2.
- HIRANO, Hiroyuki, El JIT Revolución en las fabricas. Tecnologías de Gerencia y Producción S.A. Madrid – España. 1990. ISBN: 84-87022-62-6.
- NAKAJIMA, Seiichi. Introducción al TPM. Madrid: Tecnologías de gerencia y
- Producción S.A., 1993. 127 p. ISBN 84-87022-10-3.
- NAKAJIMA, Seiichi. Programa de desarrollo del TPM: Implantación de
- Mantenimiento productivo total. Madrid: Tecnologías de producción y gerencia
- S.A. 1991. 423 p. ISBN 84-87022-82-0

SELECCIÓN DE LAS VARIABLES QUE TIENEN RELACIÓN DE CAUSALIDAD DIRECTA O ESTRUCTURAL CON LA IMPLANTACIÓN DEL TPM: REVISIÓN DEL CASO SOFASA S.A.

JUAN JOSÉ RESTREPO ARISTIZÁBAL. jrestr38@eafit.edu.co.

DANIEL GAVIRIA DUQUE. dgaviri2@eafit.edu.co

Ing. GUSTAVO VILLEGAS LÓPEZ,
Departamento de Ingeniería mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS

MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

ASESOR PRINCIPAL

Ing. GUSTAVO VILLEGAS LÓPEZ

SECTOR BENEFICIADO

SECTOR AUTOMOTRIZ

RESUMEN

El proyecto de investigación institucional (PY0420), que se encuentra en etapa de desarrollo, busca la aplicación de la metodología propia de una investigación descriptiva de tipo longitudinal, para estudiar las estrategias usadas durante la implantación del TPM en SOFASA S.A.

La presente investigación determina fases, acciones y relaciones causales según la durabilidad, orden y repetición de los eventos pasados, mediante un monitoreo amplio de la vida de la organización, reconocida en el medio por su avance en la implantación de TPM.

El monitoreo, mediante mediciones repetidas de un mismo fenómeno, tienen como finalidad mostrar la evolución en el comportamiento de las variables observadas, involucradas en el proceso de cambio.

PALABRAS CLAVES

Mantenimiento Productivo Total (TPM), Sistema de Producción Renault (SPR), Layer, Sistema de Producción Toyota (SPT), Liderazgo, Aprendizaje.

ABSTRACT

The project of institutional investigation (PY0420), that is in development stage, looks for the application of the own methodology of a descriptive investigation of longitudinal type, in order to study the strategies used during the implantation of TPM in SOFASA S.A.

The present investigation determines phases, actions and causal relations according to the durability, order and repetition of the passed events, through a wide monitoring of the life organization, recognized in by its advance in the implantation of TPM.

Monitoring, through repeated measurements of a same phenomenon, have the purpose of showing the behavior variables involved in the change process.

KEY WORDS

Total Productive Maintenance (TPM), Renault Production System (RPS), Layers, Toyota of Production System (TPS), Leadership, Apprenticeship.

1. INTRODUCCIÓN

Los empresarios, a través de los años, han manejado sus negocios trazándose sólo metas limitadas, que les han impedido ver más allá de sus necesidades inmediatas, es decir, planean únicamente a corto plazo; lo que conlleva a no alcanzar niveles óptimos de calidad y por lo tanto a obtener una baja rentabilidad en sus negocios.

El secreto de las compañías de mayor éxito en el mundo radica en poseer estándares de calidad altos, tanto para sus productos como para sus empleados; por lo tanto el TPM¹³ es una filosofía que debe ser aplicada a todos los niveles jerárquicos en una organización, y esta implica un proceso de mejoramiento continuo que no tiene final.

El proceso de mejora continua, permite visualizar un horizonte más amplio, donde se buscará siempre la excelencia y la innovación que llevará a la compañía aumentar su competitividad, disminuir los costos, orientando los esfuerzos a satisfacer las necesidades y superar las expectativas de los clientes.

En la implantación del TPM se necesita un verdadero líder para asegurar la participación de todos los miembros que pertenecen a la evolución del cambio e involucrándose en todos los procesos de la cadena productiva. Para ello él debe adquirir compromisos profundos, ya que es el principal responsable de la ejecución del proceso y la más importante fuerza impulsadora de la empresa.

La evolución del concepto de calidad, involucra los métodos y la organización misma. De ser una función de control aplicada al final de los procesos, fue convertida en un instrumento preventivo, aplicado a lo largo de la cadena de producción, que forman todos estos procesos, llegando a ser hoy una verdadera herramienta de gestión empresarial.

¹³ Siglas para Mantenimiento Productivo Total.

2. MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL (TPM)

El TPM surgió en Japón como un sistema destinado a lograr la eliminación de las seis grandes pérdidas de los equipos, a los efectos de poder hacer factible la producción "Justo a tiempo (JIT)", la cual tiene como objetivos primordiales la eliminación sistemática de desperdicios.

Estas seis grandes pérdidas se hallan directa o indirectamente relacionadas con los equipos dando lugar a reducciones en la eficiencia del sistema productivo en tres aspectos fundamentales:

- Tiempos muertos o paro del sistema productivo.
- Funcionamiento a velocidad inferior a la capacidad de los equipos.
- Productos defectuosos o malfuncionamiento de las operaciones en un equipo.

El resultado final que se persigue con la implementación del TPM es lograr un conjunto de equipos e instalaciones productivas más eficaces, una reducción de las inversiones necesarias en ellos y un aumento de la flexibilidad del sistema productivo.

La aplicación del TPM garantiza a las empresas resultados en cuanto a la mejora de la productividad de los equipos, mejoras corporativas, mayor capacitación del personal y transformación del puesto de trabajo.

Entre los objetivos principales y fundamentales del TPM se tienen:

- Reducción de averías en los equipos.
- Reducción del tiempo de espera y de preparación de los equipos.
- Utilización eficaz de los equipos existentes.
- Control de la precisión de las herramientas y equipos.

- Promoción y conservación de los recursos naturales y economía de energéticos.
- Formación y entrenamiento del personal.

3. HISTORIA DE LA IMPLANTACION DEL TPM EN SOFASA S.A.

La implementación de Kaizen se comenzó configurando un grupo dedicado a éste y coordinado directamente por recursos humanos. Sus trabajos comenzaron inicialmente en la planta, con temas como el mejoramiento continuo y la eliminación de pérdidas.

El sistema de operación empleaba la dialéctica directamente en planta, con los grupos conformados, se analizaba permanente la operación haciendo que cada problema que se detectaba fuera analizado, documentado incluyendo quien lo detectó, la fecha de su detección y el responsable de solucionarlo con fecha límite de solución, y posteriormente se actualizaba con la fecha real de ejecución; con este desarrollo se establecieron las UET (Unidades específicas de trabajo) y las salas Kaizen en cada taller, conformados por operarios de cada taller cuya finalidad era organizar y arreglar los problemas presentados en cada taller.

Inicialmente se comenzó con dos unidades específicas de trabajo UET y en la actualidad hay 22 UET, que continúan de una forma conversacional solucionando los problemas de calidad y eficiencia que día a día se les presentan en cada taller.

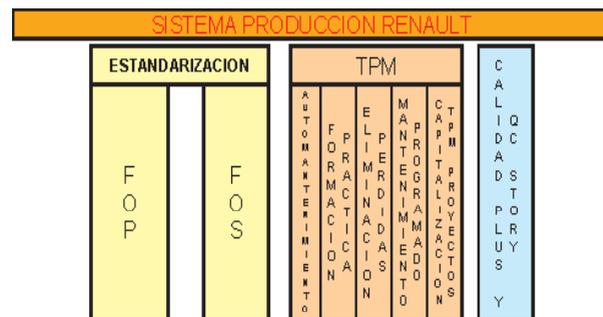
Finalmente el TPM es introducido como tal y legitimado cuando la casa matriz de Renault le sugiere a SOFASA comenzar con su implantación dados los buenos resultados obtenidos en otras plantas ubicadas en Europa (ensambladores de Renault) donde se ha utilizado la herramienta.

Posteriormente en el año 2002 con la entrada de Nissan (Alianza Renault – Nissan), se integra todo (Calidad total, SPT, TPM) en el Sistema producción Renault (SPR), en el cual se comienza a hablar de productividad, disminución de tiempos estándar. Se brinda un mayor énfasis en la productividad y eficiencia

total de la organización, buscando asegurar la calidad que demandan los clientes, alcanzar un alto indicador de uso de sus recursos mediante la reducción y eliminación de las pérdidas.

El enfoque fundamental de SPR se funda en dos variables principales: El pilotaje por la calidad, y la búsqueda del mejor ciclo de producción.

FIGURA 1. Pilares del SPR



4. INDICADORES QUE MÁS INFLUYERON EN LA IMPLANTACIÓN DEL TPM EN SOFASA S.A.

Las tres épocas identificadas hasta fecha, tienen como comienzo el año de 1989. A cada época se le ha asignado un nombre, que es el reflejo de lo acontecido en la compañía.

- ÉPOCA DE CAMBIO, comprendida entre los años de 1989 y 1994.
- ÉPOCA DE TRANSFORMACIÓN, está época abarca los años de 1995 y 2002.
- ÉPOCA DE GLOBALIZACIÓN, iniciando en el año de 2003 y continuando hasta la fecha.

La constante evolución de los agentes del entorno hace que en cada época se definan los enfoques, los lineamientos por los cuales va transcurrir la organización, adoptando estrategias, cuyas herramientas permitan afrontar con éxito los retos que imponga el medio en determinado tiempo y sirvan de base para las futuras estrategias.

El enfoque que adopta la compañía en cada época, es la visión que tiene la parte dirigente de la organización para asumir el cumplimiento de las necesidades que imponga el ambiente con ayuda de estrategias y éstas (estrategias y/o herramientas) a su vez permitan lograr con mejores resultados las transiciones del cambio.

Sobre una estrategia que adopte la compañía se van montando otras (estrategia o herramientas) con el transcurrir del tiempo, entendiéndose por esto el concepto de capa (layers).

Para entender se muestra la siguiente ilustración.

FIGURA 2
Concepto de capa (Layer)



5. VARIABLES QUE MÁS INFLUYERON EN LA IMPLANTACIÓN DEL TPM

El proceso de cambio abarca todas las actividades dirigidas a ayudar a la organización para que adopte exitosamente nuevas actitudes, nuevas tecnologías y nuevas formas de producción. El manejo del cambio, permite la transformación de la estrategia, los procesos, la tecnología y las personas para reorientar la organización al logro de sus objetivos, maximizar su desempeño y asegurar el mejoramiento continuo en un ambiente de trabajo siempre cambiante.

Un proceso de cambio ocurre de forma muy eficiente si todos están comprometidos con él, para esto, no pueden ser “atropelladas” (personas de la organización) por el proceso, como si fueran algo lejano del mismo.

El cambio ocurre a través de las personas. Y, para que se considere a las personas como parte del proceso de

cambio es necesario conocer sus valores, sus creencias, sus comportamientos.

La empresa y las personas cambian continuamente. En la organización, algunos cambios ocurren por las oportunidades que surgen, mientras que otros son proyectados o determinados por la dirigencia. El término desarrollo es aplicado cuando el cambio es intencional y proyectado.

El mejor camino para el establecimiento del TPM, es iniciar por el montaje de las bases de hábitos fundamentales, el resto es simplemente completar y construir sobre lo que ya se ha trabajado. Estos son estados de madurez sobre los que se monta el TPM y que no provienen de un trabajo de implantación de cero, sino que vienen de un trabajo histórico de montaje lento en el tiempo.

El éxito del TPM no está en los programas mismos sino en las habilidades humanas que se establecen a partir de ellos. Las mismas bases humanas y de buenos hábitos de trabajo se establecen conjuntamente con los programas de calidad, productividad y seguridad. De manera que una empresa con un buen trabajo de establecimiento previo en alguno de estos casos tiene sentadas las bases para un establecimiento fácil, casi por transición evolutiva hacia el modelo del TPM sin necesidad de que haya un rompimiento o un cambio sustancial.

En SOFASA, la teoría del cambio continuo a tenido éxito montando los programas de calidad, seguridad y productividad; no se encuentran mayores dificultades para montar el TPM y los pilares sobre los cuales está instalado, debido a la constante capacitación del todo el personal de la organización.

Metodológicamente se debe investigar por las experiencias anteriores, la secuencia de experiencias, con el fin de crear las bases humanas, sociales y técnicas de toda la infraestructura que da cuenta de la evolución y la riqueza colectiva acumulada de la empresa sobre la cual se establecen los nuevos cambios. Este principio

da buena cuenta de la rata de innovación, medida en el espacio y tiempo entre la intervención primera y el apareamiento del cambio, o de otra manera desde el inicio del proceso con la etapa de retórica inicial, hasta el apareamiento de los primeros indicios de realidad. Las variables más significativas que soportan el cambio para la implantación del TPM son las que a continuación se describen.

• EL LIDERAZGO

El liderazgo se define como el papel que juega el jefe en el proceso de iniciación y consolidación del proceso de cambio.

Se asume que los líderes son personas pragmáticas que adaptan su estilo a las necesidades de dirección del proceso. No se desconoce el hecho de que también se presentan situaciones en las cuales el proceso de cambio debe acomodarse al estilo del líder. Dado que en esta investigación se asume que el manejo de los procesos de cambio del TPM están a cargo de mandos medios o altos con dependencia superior (por lo autoritario del inicio del proceso) es más razonable esperar que los líderes designados para el manejo del proceso del TPM son personas que tienden a acomodar su estilo a las necesidades del proceso.

El estilo de liderazgo es instrumental para el éxito del proceso y por lo tanto es un medio con influencia directa en los niveles de participación y involucramiento de las personas en el proceso.

Cuando la presidencia (vicepresidencia) decidió la implantación del TPM, se designó al Ingeniero Juan Carlos Uribe para que liderara el proceso del cambio; este líder fue capacitado en la planta de Renault en Palencia España, donde está muy bien montada esta herramienta.

Luego de liderar este proceso por más de dos años, Juan Carlos fue ascendido a Jefe de mantenimiento por lo cual se nombró a un nuevo líder para que continuara con el proceso. El encargado de recibirle fue el Ingeniero Mauricio Jailler; este guía también se formó en la planta de España, recibiendo asistencia del Instituto

Tecnológico Renault más otras capacitaciones externas en el tema. En la actualidad el nuevo líder es la Ingeniera Marytzabel Aguirre.

El proceso de la transmisión de la información de la implantación de TPM en SOFASA ha sido únicamente conversacional, esto ayuda a que cada persona comente los obstáculos que ha tenido con la aplicación de la herramienta, corrigiéndolos rápidamente; también se han creado sistemas de información masiva tales como carteleros y charlas en los talleres.

El líder TPM en SOFASA es como un hermano mayor, es el que está pendiente de lo que pasa en la casa (SOFASA), específicamente en el área de mantenimiento porque es el responsable de guiar a sus encargados para el buen funcionamiento de la herramienta; es el que incentiva a los operarios a que las metas establecidas se cumplan dentro del periodo de tiempo determinado, es el delegado de llevar los Indicadores de gestión, y darlos a conocer en las carteleros informativos y a otras áreas de interés.

• EL APRENDIZAJE

La capacitación es el vehículo principal para la segunda etapa del proceso de cambio en el TPM. Alrededor del proceso de capacitación suceden todos los eventos del segundo momento del proceso de cambio hacia el TPM. Se supone que es el proceso a través del cual se logran los cambios de conductas y se identifica la dinámica a través de la cual se logran dichos cambios. El efecto de sensibilización logrado en la primera etapa del proceso se capitaliza en el diseño y desarrollo adecuado del proceso de capacitación, reforzado, obviamente con los demás elementos del proceso de aprendizaje organizacional como son la motivación, el liderazgo, el reconocimiento, el establecimiento de estándares y exigencias de desempeño, el establecimiento de procesos de administración del desempeño, el establecimiento de sistemas de trabajo autónomos, etc.

El TPM, está basado en el adecuado entrenamiento de toda la gente que se involucra y se hacen partícipes de la nueva gestión de la producción.

Los trabajadores en todas las áreas de SOFASA comprenden la importancia de compartir su experiencia y habilidad con otros compañeros, contribuyendo a crear ambientes de liderazgo. Cuando los trabajadores tengan menos que ver con la limpieza, lubricación, inspección, arreglo y ajuste del equipo, podrán desempeñar tareas que demandan un nivel más elevado de conocimiento técnico (para el caso de planta) También podrán cumplir con el importante Mantenimiento preventivo que ahora, con tecnologías cada vez más avanzadas, ayudan a evitar fallas y pérdidas de producción. (Reflejadas en los indicadores).

Los estatutos de misión y visión deben contener conceptos que son abordados por campañas dirigidas a todo el personal de la organización. Para SOFASA algunas de sus campañas son:

- Nuestra gente es el recurso más valioso de esta empresa.
- Todos los empleados somos responsables del éxito de la empresa.

La gerencia, en cualquiera que sea su punto de evolución en el proceso, debe estar lista para completar su movimiento de cambio desde "poder por medio de autoridad" hasta "respeto y admiración a base de verdadero liderazgo". Las descripciones de los puestos, al menos para la gente de nuevo ingreso debe también reflejar la nueva cultura.

Esta es una persona clave en el éxito de cualquier implementación. Este coordinador tiene a su cargo el crear una buena imagen para las nuevas filosofías. Su misión no se limita a entrenar a los grupos de implementación, también debe educar y capacitar a todo el personal en la planta. Se debe convertir en un verdadero experto en esta cultura y explicarla a todo el que lo quiera oír. El líder debe desarrollar un buen sistema de difusión del progreso del sistema.

6. EVOLUCION DEL LIDERAZGO Y EL APRENDIZAJE

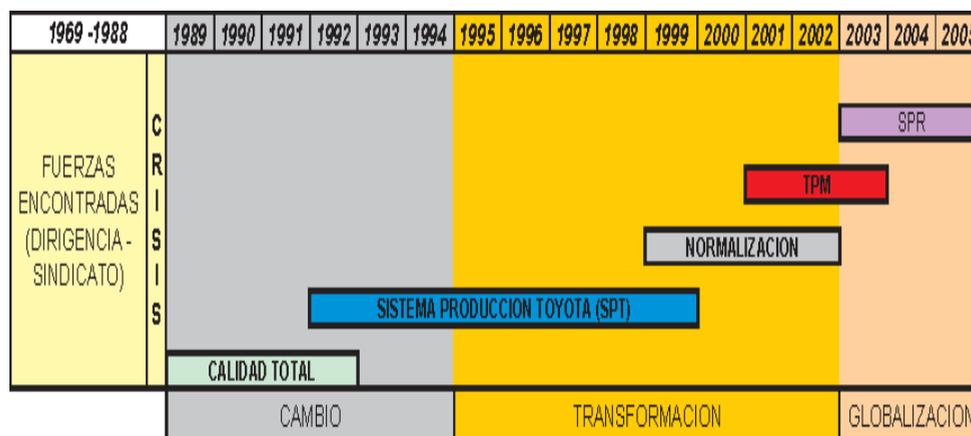
El significado de la palabra evolución, se asocia al concepto de cambios a lo largo del tiempo; dichos cambios ocurren por eventos relacionadas directamente con lo acontecido en el medio.

Estos eventos están enmarcados por características propias de los distintos periodos que se reconozcan.

El caso de SOFASA, además de las épocas ya conocidas (Cambio, Transformación y Globalización) se antepone a ellas una época de fuerzas encontradas (Dirigencia – Sindicato), generando una crisis y donde el único camino a seguir era un cambio radical.

La siguiente ilustración se muestra las diferentes épocas en la historia de la organización, y los lapsos de tiempo en los cuales se habla como tal de las diferentes estrategias.

GRAFICA 3. Épocas y estrategias



CONCLUSIONES

La información reunida de la historia de la compañía, se identificaron las diferentes plataformas de mejoramiento que han servido como base para la implantación del TPM y la influencia en el manejo de éstas por los diferentes tipos de producción, introducidos por Toyota y Renault.

La casa matriz de Toyota al estar presente desde el comienzo del cambio, direcciona a la organización hacia los modelos japoneses, donde las innovaciones (cambio brusco y radical) solo se dieron al inicio del proceso, siguiendo, con pequeños cambios continuos; en base a lo anterior se trabajó el concepto de capa en este estudio.

Las variables encontradas en este estudio, que tuvieron mayor influencia en la implantación de TPM en SOFASA fueron el liderazgo y el aprendizaje; éstas van unidas al proceso de cambio vivido en la organización, por la relación de las personas involucradas en la tarea de establecer el TPM

En este estudio se mostró la evolución de las variables desde la época en que la Compañía tenía un ambiente laboral caótico, donde sus empleados no contaban con sentido de pertenencia con la organización. A partir de este momento la empresa inició la implantación de sistemas de calidad y productividad formulados desde la concepción de los diferentes enfoques que asume la compañía, para ser competitivos el sector automotriz internacional.

Una dificultad encontrada en este proyecto en lo referente a la implantación del TPM en SOFASA, es el cambio en la dirección (cambio de líder) en la fase de introducción. Las necesidades del líder son el papel fundamental para diseñar la metodología de implantación.

El TPM en SOFASA, visto en este proyecto, ha sido el vínculo de acercamiento de los sistemas de producción Toyota y Renault, logrando que el personal de la organización “no observe” cambios exagerados, formadores de inseguridades que entorpezcan el proceso de implantación del nuevo sistema.

BIBLIOGRAFÍA

Referencias Tomadas de Libros

ARISTIZÁBAL, Sergio. Dirección y sistematización del mantenimiento. Medellín, Colombia: Universidad Eafit, 1989.

DOUNCE, Enrique. La productividad en el mantenimiento industrial. Ciudad de México, México: Compañía editorial Continental, 1998. ISBN 9682610893

KOTTER, John P. Líder del cambio. Ciudad de México, México: McGrawHill. 1997. ISBN 0875847471

LOAIZA, Maria Isabel. Implantación de TPM en SOFASA analizado bajo el modelo de la JIPM. Medellín, Colombia, 2004. (45p.) Tesis de Maestría (MBA). Universidad Eafit. Escuela de Administración

MORA, Luis. Diseño para la medición de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad de equipos en mantenimiento industrial: Informe final. Medellín, Colombia: Universidad Eafit, 2004. 123p

PELÁEZ, Luis Fernando. Efectividad operacional en una empresa ensambladora de vehículos. Medellín, Colombia, 2004. (74p.) Tesis de Maestría (MBA). Universidad Eafit. Escuela de Administración.

ROBBINS, Stephen. Comportamiento Organizacional. México, México: Editorial Prentice Hall, 1999. ISBN 0131914359

SENGE, Peter. La Danza del Cambio. Bogotá, Colombia: Norma, 2000. 497p. ISBN 958-04-5494-9

SHIROSE, Kunio. TPM for workshop leaders, Portland, Usa: Productivity press Inc, 1992. ISBN 0915299925

SOUR, Jean Paul. El mantenimiento fuente de beneficios. Madrid, España: Ediciones Díaz de Santos, 1992. ISBN 8479780215

SUZUKI, Tokutarō. Nuevas directrices para el TPM. Madrid, España: Tecnologías de gerencia y producción, 1998. ISBN 84-87022-40.

_____. TPM in Process industries. Portland, Usa : Productivity press Inc, 1996. ISNB 1563270366

VELEZ, Alfonso. Memorias de investigación: Elaboración de un instrumento para el estudio de los procesos de cambio asociados con la implantación del TPM en Colombia. Medellín. Colombia, 2004. Universidad Eafit.

VILLEGAS, Gustavo Adolfo. Relación entre los resultados de la empresa y la gestión de su sistema social. Un estudio en empresas prestadoras de servicio de mantenimiento automotriz en Medellín - Colombia. Proyecto de grado en Doctorado. Universidad Politécnica de Valencia. 1999.

WEICK, Kart. The social psychology of organizing. Pittsburgh, Usa: McGraw-Hill, 1979. ISBN 0075548089

REVISTAS

NOTISOFASA: Sofasa adopta el SPR. / SOFASA. No 105, (mar.-abr., 2003). Medellín, Colombia. pag 10-11

_____: el plan 555 es la evolución del concepto "Autoguía", ensamblamos futuro, con la fuerza de todos. / SOFASA. No 104. (ene.-feb., 2003). Medellín, Colombia. pag 10-11.

_____: Sistema de gestión ambiental. / SOFASA. No 98. (ene.-feb., 2002). Medellín, Colombia. pag 12.

_____: SIS, buenas ideas fácil implantación. / SOFASA. No 93. (mar.-abr., 2001). Medellín, Colombia. pag 8.

_____: Llego la hora del cambio. / SOFASA. No 80. (abr.,1999). Medellín, Colombia. pag10.

_____: Mejoramiento siempre en marcha. / SOFASA. (abr., 1992). Medellín, Colombia. pag 6-7

_____: Aplicación del autocontrol y el mantenimiento de primer nivel en fabricación. / SOFASA. (dic., 1992). Medellín, Colombia. 1992. pag 4

_____: Hacemos las cosas bien desde la primera vez. / SOFASA. (nov., 1990). Medellín, Colombia. pag 11-12.

INTERNET

Aramayo@

¿Por qué fracasan la mayoría de los programas de calidad total? [En línea]. [Citado 15 de septiembre de 2003] disponible en Internet: < http://www.quality-consultant.com/calidad/calidad_202.htm>

González@

El liderazgo en las organizaciones. [En línea] [Citado 9 de Marzo de 1999]. Disponible en Internet: < <http://ec.scouts-es.net/gs16/lid02.htm>>

Gramsh@

Mantenición Productiva Total [En línea]. [citado 5 de Abril de 2002] disponible en Internet: <<http://www.mantencion.com/articles.htm>>

Jarpa@

Motivación y satisfacción. [Citado el 30 de Mayo de 2000]. Disponible en Internet: <http://www.apsique.com/tiki-indexphp?page=labomoty_satis>

Marquez@

Competitividad en las organizaciones [En línea]. 1999 [citado 2 de Abril de 2002] disponible en Internet: <<http://www.monografias.com>>

ANÁLISIS DE LOS ESFUERZOS EN LA INTERFASE VÍA VEHÍCULO USANDO ELEMENTOS FINITOS

JUAN DAVID OCAMPO DE LOS RÍOS. jocampod@eafit.edu.co
Dr. JORGE LUIS RESTREPO OCHOA
Departamento de Ingeniería Mecánica

ÁREA DE ÉNFASIS

MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

ASESOR PRINCIPAL

Dr. JORGE LUIS RESTREPO OCHOA

EMPRESA

UNIVERSIDAD EAFIT – ÁREA DE DISEÑO

RESUMEN

El análisis de la conicidad equivalente y de los esfuerzos en la vía es un factor bastante importante cuando se habla de la seguridad y el confort.

Existen diferentes métodos para la determinación de la conicidad equivalente pero no son de fácil implementación; los elementos finitos, además de permitir conocer los esfuerzos en diferentes puntos de la interfase vía-vehículo, permiten igualmente establecer un método que tenga en cuenta las consideraciones de la norma UIC-519 para la determinación de la conicidad equivalente en una vía férrea.

La conicidad equivalente depende directamente de la geometría de las superficies que están interactuando entre sí, en este caso la rueda y el riel; además, este término está directamente asociado con los esfuerzos y la zona de contacto.

En este trabajo se determina la conicidad equivalente para un ejemplo de la norma UIC-519 y para un conjunto eje rueda montado en una vía férrea.

ABSTRACT

The analysis of the equivalent conicity and the stress in the way is a important factor when it is spoken of the security and the comfort.

Different methods for the determination for the equivalent conicity exist but they are not of easy implementation, the finite elements, besides to allow to know the stress in different points from the interphase way-vehicle, also allow to establish a method that considers the considerations of the norm UIC-519 for the determination of the equivalent conicity in a railroad.

The equivalent coning depends directly on the geometry of the surfaces that are interacting to each other, in this case the wheel and the rail; in addition, this term is directly associate with the stress and the zone of contact.

In this work the equivalent conicity for an example of the norm UIC-519 is determined and for a couple of wheel-axle mounted in a railroad.

PALABRAS CLAVE

Elementos finitos, conicidad equivalente, Norma UIC-519.

KEY WORDS

Finite elements, equivalent conicity, UIC-519 code.

INTRODUCCIÓN

La Universidad Eafit se encuentra actualmente desarrollando un proyecto de investigación, denominado “Sistema Portátil de Diagnóstico (SPD)”, el cual permitirá medir, analizar, pronosticar e interpretar comportamientos dinámicos de los vehículos de pasajeros, como base para el mejoramiento de planes de mantenimiento en vehículos y vías férreas.

Durante el desarrollo de este proyecto se ha visto la necesidad de obtener un modelo computacional con el cual se puedan identificar los esfuerzos, deformaciones y fuerzas de contacto en la interfase vía vehículo.

Utilizando un programa comercial de elementos finitos, se hizo una programación que permite simular los efectos de la interacción vía-vehículo para los diferentes perfiles existentes en la vía, teniendo en cuenta variables como el desgaste, el peralte de la vía y la intensidad de las fuerzas. Adicionalmente, se implementó un método para determinar la conicidad equivalente del sistema utilizando elementos finitos.

ARTÍCULO

Hablar del análisis de todos los esfuerzos existentes en una vía férrea sería hablar de un tema bastante extenso, por esto en este trabajo se mostrará el desarrollo del método para la determinación de la conicidad equivalente y asociado a esto los esfuerzos de contacto, los cuales son los que ocasionan el desgaste principal en la vía y en las ruedas.

En el desarrollo de este artículo se definirá la conicidad equivalente, se dará una aproximación al contacto en el área de la mecánica y finalmente se explicara brevemente el método de los elementos finitos aplicados al problema.

La Conicidad equivalente se explica como cuando un eje montado con ruedas del mismo diámetro y perfil, se encuentra en el centro de una vía con rieles de la misma forma de cabeza y la misma inclinación de instalación, las ruedas tocan con los respectivos rieles en puntos de contacto. Los diámetros de rueda respectivos –radios de rodadura- son iguales en la rueda derecha y en la izquierda. Según lo anterior, el eje montado debe marchar exactamente derecho, siempre que esté colocado en ángulo recto con el eje longitudinal de la vía. Al no cumplirse una de las condiciones mencionadas, es decir, los perfiles de rueda y la igualdad de los rieles a derecha e izquierda, debido al desgaste o a que no exista una posición centrada del eje montado en la vía, resultan, en la mayoría de los casos, puntos de contacto cuyos correspondientes radios de rodadura muestran valores diferentes en ambas ruedas. Al rodar, el eje montado sobre el riel describirá un trayecto sinuoso debido a los radios de rodaje de diferente magnitud. De aquí surge el término conicidad equivalente.

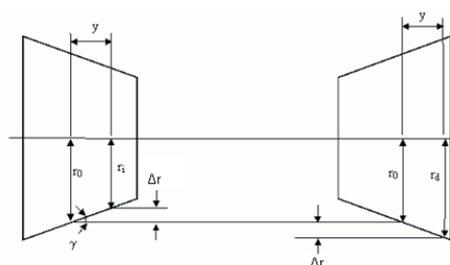
El movimiento cinemático del conjunto eje-rueda libre, cuando no se considera la inercia, y está en marcha sobre la vía, es descrito por la siguiente ecuación diferencial:

$$y + \frac{V^2}{er_0} \Delta r = 0$$

Donde, y es el desplazamiento del conjunto eje-rueda en dirección lateral a la vía, V es la velocidad del vehículo, e es la distancia entre puntos de contacto, r_0 es el radio de la rueda cuando el conjunto eje-rueda, está centrado sobre la vía y Δr es la diferencia de radios de rodamiento de la rueda derecha y la izquierda ($r_2 - r_1$).

En el caso de un conjunto eje-rueda, en el cuál la rueda presenta un perfil cónico de ángulo (γ):

FIGURA 1. Conicidad equivalente



De la grafica anterior se puede deducir que:

$$\left(\frac{\Delta r / 2}{y} \right) = \tan \gamma$$

Despejando Δr de la ecuación anterior:

$$\Delta r = 2y \tan \gamma$$

A partir de la conicidad equivalente se produce un movimiento sinuoso con longitud de onda λ , que fue descrita por Klingel, y es mostrado en la siguiente ecuación.

$$\lambda = 2\pi \sqrt{\frac{e_0}{2 \tan \gamma}}$$

Cuando las ruedas no tienen un perfil cónico, los métodos de linealización pueden ser usados en una ecuación diferencial lineal y ser aplicados, reemplazando $\tan(\gamma)$ por $\tan(\gamma_e)$; esto es llamado "conicidad equivalente".

Por definición, la conicidad equivalente es igual a la $\tan(\gamma_e)$ del ángulo cónico formado por el conjunto eje-rueda con las ruedas cónicas, cuyos movimientos laterales tienen la misma longitud de onda cinemática como la obtenida por el conjunto eje-rueda.

Para los cálculos de la conicidad equivalente según la norma UIC 519, se deben tener en cuenta las siguientes suposiciones:

- Ambos (la rueda y el riel) son considerados rígidos.
- Una rueda es simétrica en revolución.
- Un riel teórico es recto, y es representado por un perfil simple.
- Un riel real se define con, por lo menos, 11 perfiles regularmente espaciados, apartados cerca de 100m de la línea de sección; La conicidad se obtiene tomando el promedio de sus conicidades individuales, y la desviación estándar también debería ser indicada.

- La rueda no penetra dentro del riel, sólo se consideran los puntos de contacto.
- No se tiene en cuenta la rotación del sistema en el eje de la vía (rotación en un eje paralelo a la vía), producido por el movimiento lateral del sistema.
- En el punto de contacto, los planos tangentes al riel y la rueda son paralelos.

La teoría de los esfuerzos de contacto es una teoría muy bien fundamentada con una gran evidencia experimental ampliamente usada en la ingeniería. El cálculo de las acciones que tienen lugar cuando dos cuerpos están en contacto, es un problema clásico que en el marco de la Elasticidad Lineal fue resuelto por Hertz, como se sabe a finales del siglo pasado. (Ver Castro)

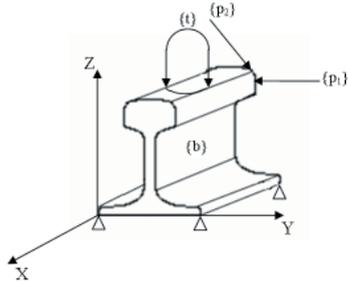
Para esta teoría se sigue la línea de Timoshenko, que el carril y la rueda se asimilan a dos cuerpos cuya superficie de contacto esférica. Si dichos cuerpos no ejercen ninguna presión entre si, su contacto se reducirá a un punto. No es éste el caso de la rueda y el riel, en el que aquélla actúa comprimiéndolo con una fuerza igual a la carga que soporta. En esta situación el contacto entre ambos elementos se convierte en una elipse de semejes.

La solución por elementos finitos es un método iterativo que va considerando diferentes condiciones de frontera, las cuales en cuanto a las fuerzas y restricciones del problema serán fijas, pero en cuanto al contacto en la interfase vía-vehículo irán cambiando, ya que se van asumiendo diferentes zonas contactos, hasta que exista una coincidencia entre los contactos y el equilibrio estático, el método será descrito con mas detalle a continuación.

La teoría de la elasticidad trata los conceptos fundamentales, definiciones y ecuaciones utilizadas en el análisis de tensiones y deformaciones. Estos fundamentos se utilizan en la resolución de problemas por métodos clásicos o mediante elementos finitos. La teoría de la elasticidad establece las condiciones que debe satisfacer la solución exacta y además ayuda

a establecer el rango de aplicabilidad de soluciones aproximadas. Se utilizará un sistema de coordenadas cartesiano para la explicación de este modelo ya que es el más usual.

FIGURA 2. Cuerpo elástico y fuerzas actuantes



Las fuerzas que actúan sobre un cuerpo elástico cualquiera, para este caso un riel (Figura 2) se pueden subdividir en volumétricas, superficiales y puntuales. Las fuerzas volumétricas se definen como fuerzas por unidad de volumen (por ejemplo las gravitatorias, las debidas a aceleraciones, etc.) y se pueden definir mediante un vector de funciones que se denomina $\{b\}$. Y sus unidades serán de fuerza por unidad de volumen. También pueden actuar fuerzas por unidad de superficie. Al vector que define tales fuerzas que se denomina $\{t\}$. Las fuerzas puntuales son una simplificación de las fuerzas superficiales que actúan en una superficie muy pequeña a efectos del análisis que se quiere realizar. Al vector que define todas las fuerzas puntuales aplicadas que se denominan $\{t\}$.

Bajo la acción de estas fuerzas y considerando las condiciones de soporte (contorno), el cuerpo elástico se deformará, desplazándose cada uno de sus puntos. Al vector que define los desplazamientos de cada uno de los puntos del cuerpo elástico se denominará $\{u\}$, y en el caso tridimensional tendrá tres componentes, $\{u\} = [u_x, u_y, u_z]$, funciones de las coordenadas, según la dirección de los tres ejes coordenados.

El problema por lo tanto consiste en calcular los desplazamientos de todos los puntos del cuerpo elástico, así como otras magnitudes como pueden ser las tensiones y deformaciones que aparecen.

A continuación se resumirán las relaciones fundamentales de la teoría de la elasticidad.

Deformaciones y desplazamientos

La relación entre deformaciones y desplazamientos es básica en la formulación de elementos finitos de problemas de análisis de tensiones. En esta sección se consideran las relaciones deformaciones – desplazamientos en coordenadas cartesianas.

Resumiendo los resultados, en tres dimensiones se tienen las siguientes relaciones entre deformaciones y desplazamientos.

$$\begin{aligned}\varepsilon_x &= \frac{\partial u_x}{\partial x} \\ \varepsilon_y &= \frac{\partial u_y}{\partial y} \\ \varepsilon_z &= \frac{\partial u_z}{\partial z} \\ \gamma_{xy} &= \frac{\partial u_x}{\partial y} + \frac{\partial u_y}{\partial x} \\ \gamma_{yz} &= \frac{\partial u_y}{\partial z} + \frac{\partial u_z}{\partial y} \\ \gamma_{zx} &= \frac{\partial u_z}{\partial x} + \frac{\partial u_x}{\partial z}\end{aligned}$$

Relaciones tensiones deformaciones

El método de los elementos finitos puede tratar fácilmente con propiedades de material general y con cargas mecánicas y térmicas.

No considerando el efecto de los cambios de temperatura, la relación tensión – deformación isoterma del tipo más general, admitiendo comportamiento elástico lineal, es:

$$\{\sigma\} = [D] \cdot \{\varepsilon\}$$

Donde $\{\sigma\}$ y $\{\varepsilon\}$ son los vectores de tensiones y deformaciones respectivamente:

$$\{\sigma\} = \begin{bmatrix} \sigma_x & \sigma_y & \sigma_z & \tau_x & \tau_y & \tau_z \end{bmatrix}$$

$$\{\varepsilon\} = \begin{bmatrix} \varepsilon_x & \varepsilon_y & \varepsilon_z & \gamma_x & \gamma_y & \gamma_z \end{bmatrix}$$

Y donde $[D]$ es una matriz simétrica de rigideces de material o de elasticidad. En el caso más general de anisotropía $[D]$ contienen 21 coeficientes independientes, considerando que ambas matrices son simétricas. La ecuación expresa la ley de Hooke: "Las tensiones son directamente proporcionales a las deformaciones". Esto sólo es aproximadamente válido para pequeñas deformaciones y ciertos materiales.

Un material ortótropo es un material anisótropo que presenta valores extremos de rigidez en direcciones perpendiculares. Estas direcciones se llaman principales del material. Si x, y, z son las direcciones principales, las tensiones normales σ_x, σ_y y σ_z son independientes de las deformaciones tangenciales γ_x, γ_y y γ_z . Para un material ortótropo la matriz $[D]$ contiene únicamente nueve coeficientes independientes.

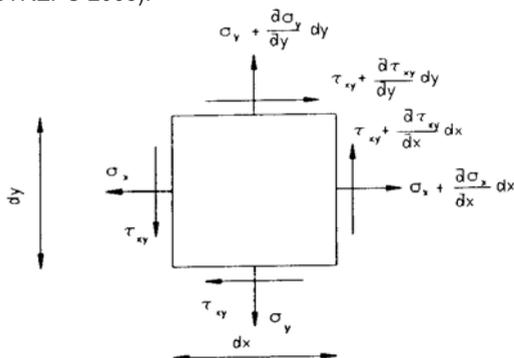
Ecuaciones de equilibrio estático

Equilibrio interno

La Figura 3 muestra un elemento diferencial bidimensional. Se desarrollarán las ecuaciones que establecen que el elemento diferencial está en equilibrio bajo las fuerzas aplicadas en él. Las fuerzas provienen de las tensiones en los lados y de las fuerzas por unidad de volumen.

FIGURA 3. Equilibrio interno

(RESTREPO 2005).



En casos tridimensionales, aplicando argumentaciones

similares a las precedentes se llega a resultados análogos. Las ecuaciones de equilibrio interno y en las superficies son, respectivamente:

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_z}{\partial z} + b_x = 0$$

$$\frac{\partial \tau_x}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_z}{\partial z} + b_y = 0$$

$$\frac{\partial \tau_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_y}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + b_z = 0$$

$$t_x = l\sigma_x + m\tau_y + n\tau_z$$

$$t_y = l\tau_x + m\sigma_y + n\tau_z$$

$$t_z = l\tau_x + m\tau_y + n\sigma_z$$

El teorema de la energía potencial Total Mínima se puede establecer como:

Los desplazamientos (u_x, u_y, u_z) que satisfacen las ecuaciones diferenciales de equilibrio, así como las condiciones de contorno en la superficie, dan un mínimo para la energía potencial total en comparación con cualquier otro campo de desplazamientos que satisfaga las mismas condiciones de contorno.

Si la energía potencial total, Π_p , se expresa en términos de los desplazamientos u_x, u_y y u_z , el principio de mínima energía potencial resulta, en un estado de equilibrio

$$\delta \Pi_p(u_x, u_y, u_z) = \delta \Pi(u_x, u_y, u_z)$$

$$- \delta W_p(u_x, u_y, u_z) = 0$$

Es importante notar que la variación se realiza con respecto a los desplazamientos, suponiendo las fuerzas actuantes y tensiones constantes.

Consideremos un cuerpo elástico (lineal) que soporta un conjunto de cargas conservativas. Sea su volumen V y su área superficial S. La expresión de la energía potencial total es

El método de la Energía Potencial Total Mínima, permite

$$\Pi_p = \int_V \left(\frac{1}{2} \{\varepsilon\}^T [D] \{\varepsilon\} - \{\varepsilon\}^T [D] \{\varepsilon_0\} + \{\varepsilon\}^T \{\sigma_0\} \right) dV$$

$$- \int_V \{u\}^T \{b\} dV - \int_S \{u\}^T \{t\} dS - \{U\}^T \{P\}$$

encontrar los desplazamientos, elementos finitos lo resuelve numéricamente por medio de una interpolación la cual depende si el elemento es triangular, tetraédrico etcétera.

Para la solución de método anterior es necesario conocer las condiciones de frontera dentro de las cuales están las restricciones de los rieles, las fuerzas provenientes del vehículo, además de las producidas por los contactos, para la determinar estas ultimas, es necesario un proceso iterativo.

Modelo de contacto

Una de las mayores áreas del análisis no lineal en elementos finitos es la solución de problemas con cuerpos separados que pueden entrar en contacto uno con el otro.

En la mayoría de los software de elementos finitos es necesario para la implementación de este método tener claro cuales son las superficies que van a entrar en contacto, una de las cuales es llamada la superficie fuente (Source), y la otra es la llamada superficie objetivo (Target), como se muestra en la Figura 4.

En estos tipos de análisis un elemento de contacto (GAP) esta definido por dos nodos, la distancia de contacto esta definida como el máximo desplazamiento relativo permitido entre dos nodos en la línea del contacto. Un contacto abierto no trae efecto sobre la estructura mientras uno cerrado si, mientras este sea rígido, limita el movimiento relativo entre estos dos nodos para que no exceda la distancia de contacto.

FIGURA 4. Contacto

Much



a la

solución de este problema con elementos finitos, pero en la actualidad el método más usado para la solución de estos problemas es el método de penalización. Este método consiste en introducir altos valores numéricos en la matriz de rigidez del sistema para simular la rigidez entre dos nodos semejantes cercanos entre sí, valores muy altos de penalidad causarán problemas numéricos en la solución, y valores muy pequeños no llevarán a la convergencia del problema.

Otro método muy utilizado son los multiplicadores de Lagrange la solución por este método consiste en la introducción de nuevas ecuaciones y variables (Multiplicadores de Lagrange) para llegar a la solución del sistema.

Cosmos para la solución de problemas de contacto usa un modelo híbrido entre el método de los desplazamientos y el método de las fuerzas ya explicados anteriormente. En el Método de los desplazamientos las matrices solución pueden ser escritas como se muestra a continuación:

$$[D] \{U\} = \{R\}$$

Donde en la ecuación anterior, $[D]$ es la matriz de rigidez del cuerpo o estructura, $\{U\}$ es el vector de desplazamientos nodales y $\{R\}$ es el vector de las fuerzas nodales.

De la ecuación $[D] \{U\} = \{R\}$ los valores desconocidos son los desplazamientos nodales y las fuerzas nodales son conocidas.

En el Método de las fuerzas las matrices solución pueden ser escritas como se muestra a continuación:

$$[D^{-1}] \{R\} = \{U\}$$

De la ecuación anterior los valores desconocidos son las fuerzas nodales y los desplazamientos nodales son conocidos.

En las soluciones por elementos finitos los métodos desplazamientos y fuerzas son combinados para hallar la solución del sistema. El método de desplazamientos es usado cuando se conocen las fuerzas externas mientras que el método de las fuerzas se usa cuando

los desplazamientos son conocidos.

Para analizar problemas de contacto, comúnmente es usado el método de las fuerzas para calcular las fuerzas de contacto en los lugares donde este ocurre, cada elemento de contacto es remplazado por dos fuerzas, de igual magnitud pero en dirección opuesta, la cual es aplicada a los dos nodos conectados por el contacto.

Para lo cual la ecuación $[D^{-1}]\{R\} = \{U\}$ quedará escrita de la siguiente forma para los contactos.

$$[F_g]\{R_g\} = \{X_g\}$$

Donde en la ecuación anterior, $\{R_g\}$ es el vector de las fuerzas de contacto, $\{X_g\}$ es el vector de desplazamientos relativos de los nodos de contacto. Dado lo anterior solo queda definir $[F_g]$ como la unidad de fuerza que es aplicada en la dirección del elemento de contacto y que produce el desplazamiento en el nodo de contacto.

Este proceso se va repitiendo para todos los elementos de contacto hasta obtener la solución exacta en estos lugares.

Ahora se considerará el momento en que el efecto de los elementos de contacto deja de actuar, esto implicará que el i^{th} contacto esta cerrado.

$$U_g^i = U_2^i - U_1^i > g_i \quad (\text{Contacto cerrado})$$

Donde g_i es la distancia del contacto y U_1^i es el desplazamiento producido por el vector de fuerzas externas $\{R\}$.

Ahora definiendo:

$$X_g^i = -(U_g^i - g_i)$$

Para resolver el sistema, el vector de fuerzas de contacto $\{R_g\}$, es obtenido. Aplicando estas fuerzas a la estructura. El desplazamiento relativo del i^{th} contacto será igual X_g^i .

El vector de fuerzas externas $\{R\}$ que produce el vector de desplazamientos U_g y las fuerzas de contacto $\{R_g\}$ que produce $-(U_g^i - g_i)$, entonces $(\{R\} + \{R_g\})$ producirá $\{g\}$.

El estado de desplazamiento de la estructura podrá

resumir las posiciones de los desplazamientos relativos para cada contacto cerrado sea igual a la distancia permitida para su desplazamiento.

Como se observa, para esta solución el método de iteración es usado para determinar que contactos están cerrados en un instante debido a las acciones externas a estos, el resto de la solución es la vista en el método elástico-estático.

A continuación se muestra el procedimiento para la determinación de la conicidad equivalente y los esfuerzos de contacto.

Para el cálculo de los esfuerzos de contacto se sigue el diagrama mostrado en la Figura 5, donde la parte de pre-procesamiento es donde se ingresan las propiedades del material, correspondientes a cada uno de las partes involucradas, las condiciones de frontera, la geometría, esta última puede ser ingresada tomando los puntos directamente de programas como el MINI-PROF, para tener los datos reales del estado de la rueda o el riel, o ingresando los puntos conocidos de los perfiles teóricos y por último es importante tener en cuenta que el tipo de elemento seleccionado para la solución de este problema y el problema de conicidad son elementos triangulares. En el procesamiento se busca la solución del contacto y del problema elástico-estático, inicialmente se supone una zona de contacto y con la información de las condiciones de frontera de este se resuelve el problema elástico-estático, si no hay un equilibrio estático se supondrá otra zona de contacto, se resuelve nuevamente el problema elástico-estático, hasta que se encuentre el equilibrio.

Finalmente en la parte de post-procesamiento se tienen disponibles los resultados de esfuerzos de contacto, los puntos de contacto y la longitud de la zona de contacto.

FIGURA 5. Procedimiento para el cálculo de los esfuerzos de contacto

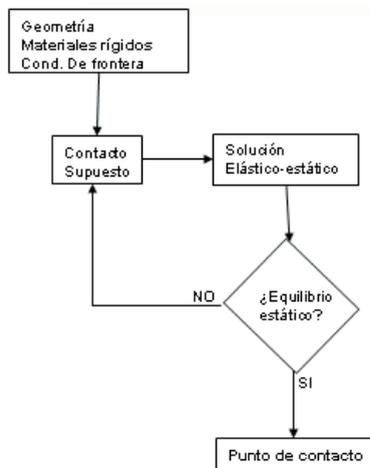


El procedimiento para determinar la conicidad equivalente es muy similar al realizado para determinar los esfuerzos, solo que se siguen las suposiciones indicadas en la norma UIC-519, el diagrama de este procedimiento es el mostrado en la Figura 6, las suposiciones hacen que dentro de la parte de pre-procesamiento es ingresar un módulo de elasticidad bastante alto para suponer la rigidez del sistema.

El procesamiento es el mismo visto en los cálculos de los esfuerzos de contacto.

Para el post-procesamiento solo se tendrían disponible como dice la norma el punto de contacto, para tomar la medida de los radios de rodadura.

FIGURA 6. Procedimiento para el cálculo de la conicidad equivalente



Resultados obtenidos

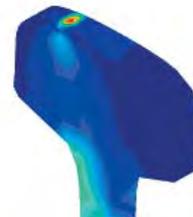
Para conocer el punto y la intensidad del esfuerzo de contacto se hizo una primera aproximación en elementos finitos en un modelo tridimensional tal como se muestra en la Figura 7 para conocer el área de contacto y poder así conocer de una manera aproximada cual será el espesor del modelo en dos dimensiones.

FIGURA 7. Modelo tridimensional



El valor del espesor es de 0.00871 m, para una fuerza de 22.500 Newton.

FIGURA 8. Área de Contacto



A continuación se ilustra el ejemplo mostrado en las páginas 33 y 35 de la norma UIC-519 referente a la conicidad equivalente usando el perfil de rueda R-UIC519-A y el perfil de riel SR-UIC519-A, para este ejemplo se utilizó la teoría mostrada en el capítulo 1.3 de este documento.

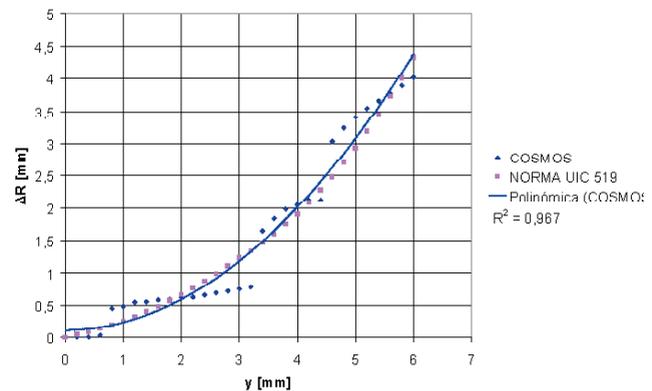
La Tabla 1 muestra la diferencia entre los datos obtenidos por medio de COSMOS, y los obtenidos en la norma, estos datos se muestran en referencia a la diferencia en los radios de rodadura, obtenidos por medio de la diferencia entre los radios de rodadura de los rieles

izquierdos y derechos mostrados también en esta tabla. El Gráfico 1 muestra más claramente esta diferencia, la línea que esta en este grafico es hecha por medio de una regresión sobre los datos puntuales, en cuanto a las conclusiones en cuanto a estos resultados en el ejercicio entre el Software y los datos obtenidos por la norma se muestra en el siguiente capítulo.

TABLA 1. Cambio en la diferencia de diámetros perfil de rueda R-UIC519-A y el perfil de riel SR-UIC519-A

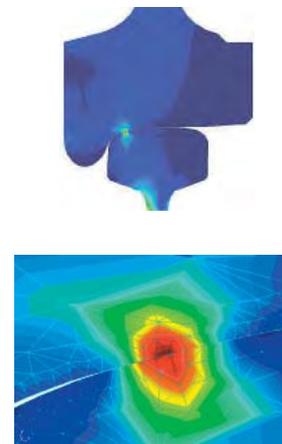
Perfil de rueda: R-UIC-519-A, Perfil de riel S-UIC-519-A, Carga 40.000N				
DESPLAZAMIENTO Y	Radio izq.	Radio Der.	ΔR	ΔR UIC-519
Milímetros				
0	428,559	428,559	0	0
0,2	428,549	428,559	0,01	0,051
0,4	428,549	428,559	0,01	0,092
0,6	428,533	428,57	0,037	0,142
0,8	428,527	428,981	0,454	0,197
1	428,522	429,011	0,489	0,257
1,2	428,522	429,071	0,549	0,328
1,4	428,522	429,074	0,552	0,402
1,6	428,517	429,104	0,587	0,481
1,8	428,513	429,104	0,591	0,574
2	428,513	429,135	0,622	0,667
2,2	428,509	429,135	0,626	0,766
2,4	428,509	429,166	0,657	0,879
2,6	428,506	429,196	0,69	0,992
2,8	428,506	429,227	0,721	1,111
3	428,503	429,259	0,756	1,236
3,2	428,503	429,291	0,788	1,346
3,4	428,501	430,147	1,646	1,471
3,6	428,501	430,335	1,834	1,598
3,8	428,498	430,473	1,975	1,752
4	428,498	430,546	2,048	1,906
4,2	428,498	430,622	2,124	2,088
4,4	428,497	430,622	2,125	2,286
4,6	428,497	431,531	3,034	2,481
4,8	428,495	431,728	3,233	2,709
5	428,495	431,897	3,402	2,931
5,2	428,495	432,042	3,547	3,189
5,4	428,494	432,153	3,659	3,44
5,6	428,494	432,267	3,773	3,729
5,8	428,493	432,385	3,892	4,008
6	428,493	432,508	4,015	4,328

GRÁFICO 1. Cambio en la diferencia de diámetros



En la Figura 9 se muestra la intensidad del contacto para el riel derecho en el ejemplo de la norma UIC-519, con un desplazamiento y, perpendicular a la velocidad de avance del vehículo, de 6 milímetros, se puede observar en esta figura que ya el contacto no ocurre en un punto, sino que por el contrario en un área que puede ser medida.

FIGURA 9. Intensidad del Contacto



Los resultados que se muestran a continuación son los correspondientes al ejemplo en un tramo de vía de un sistema férreo, se observa que inicialmente existe una diferencia entre los radios de rodadura de 3.013 milímetros como se puede observar en la Tabla 2, el equilibrio de estos radios se encuentra a 1.4 milímetros desde la posición central, desplazando el vehículo hacia la derecha, perpendicularmente al sentido de marcha.

TABLA 2. Conicidad equivalente tramo de un sistema férreo en funcionamiento

Perfil del tramo de un sistema férreo en funcionamiento con perfil CPC (medida tomada en octubre 31 de 2005 Carga 40.000N)				
DESPLAZAMIENTO Y	Riel	Riel derecho	ΔR	$\tan(\tilde{\alpha})e$
milímetros				
0	432,508	429,495	3,013	0,98478774
0,4	432,488	429,45	2,915	0,8819922
0,8	432,385	429,61	2,775	0,78091389
1,2	430,876	430,147	0,729	0,2239898
1,6	429,876	431,728	-1,852	-0,47513628
2	429,828	431,83	-2,002	-0,46404753
2,4	429,781	431,935	-2,154	-0,45524905
2,8	429,736	432,042	-2,306	-0,44785856
3,2	429,074	432,153	-3,079	-0,53460182
4,8	428,981	433,991	-5,01	-0,63497657
5,2	428,952	434,202	-5,25	-0,63003391
5,4	428,925	434,422	-5,497	-0,63890154
5,6	428,925	434,653	-5,728	-0,64585484
5,8	428,925	436,969	-8,044	-0,8007971
6	428,898	436,969	-8,071	-0,78981603

GRÁFICO 2. Diferencia de radios de rodadura tramo de un sistema férreo en funcionamiento

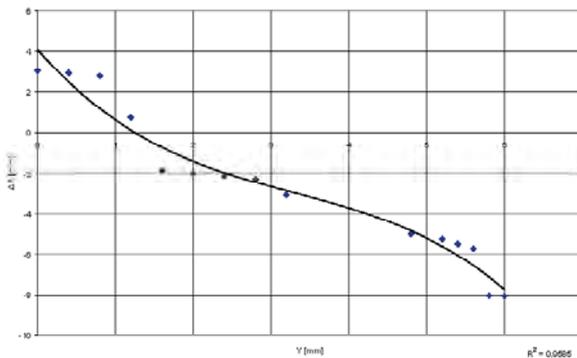
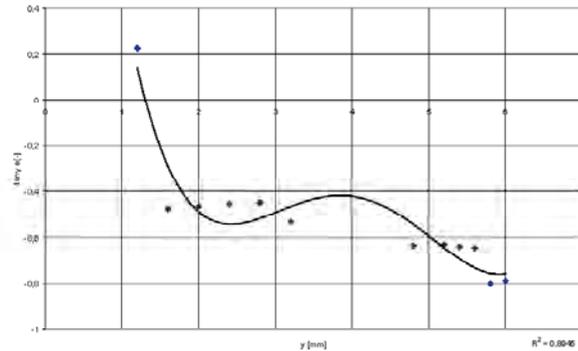


GRÁFICO 3. Conicidad equivalente perfiles en un tramo de un sistema férreo en funcionamiento



En el Gráfico 4 es muy prematuro decir por que se presenta este comportamiento de los esfuerzos en riel derecho, habría que entrar a mirar si la geometría tiene hendiduras en los puntos de contacto para explicar por que los esfuerzos descienden así entre cero y tres milímetros.

GRÁFICO 4. Variación de los esfuerzos de contacto máximo en el perfil derecho en un tramo de un sistema férreo en funcionamiento

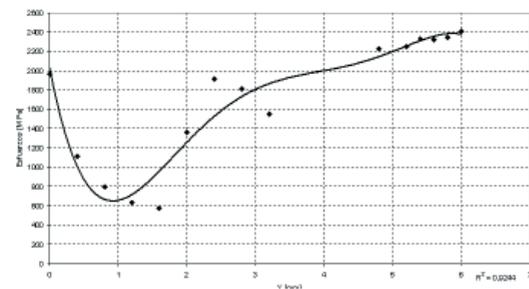
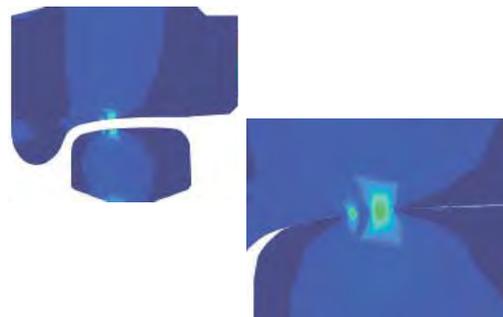


FIGURA 10. Intensidad del Contacto, en un tramo de un sistema férreo en funcionamiento



CONCLUSIONES

Se calcularon los esfuerzos de contacto y adicionalmente se determinó la conicidad equivalente para diferentes conjuntos rueda riel. Los esfuerzos de contacto se calcularon para una condición de carga constante y estática y suponiendo un apoyo rígido del riel. Para esto se creó un modelo virtual de elementos finitos que permite modificar diferentes variables del sistema como son: distancia entre rieles, desgaste de la rueda o del riel y diferentes perfiles de riel. El modelo puede ser complementado fácilmente con otras variables y permitirá realizar estudios detallados del comportamiento de la interfase rueda riel en tramos específicos de un sistema.

El modelo ha sido corroborado, en cuanto a los resultados de la conicidad equivalente, utilizando resultados teóricos presentados en la norma UIC-519. Los valores obtenidos para el esfuerzo en la zona de contacto arrojan resultados coherentes con los esperados de acuerdo a los cálculos que se obtienen con la teoría de Herz y a los reportados en otros trabajos; sin embargo, no se ha dispuesto en el desarrollo de este trabajo de valores teóricos "exactos" para corroborar estos resultados.

Al comparar los resultados de la conicidad equivalente presentados en la norma UIC-519 con los resultados de la conicidad equivalente obtenidos utilizando elementos finitos, para el mismo conjunto, se observa que este método es bastante confiable en forma global (al realizar una regresión sobre los datos puntuales). La discrepancia entre los resultados puntuales obtenidos con el método de los elementos finitos y la norma, se debe a que la discretización utilizada en elementos finitos inserta al modelo un error en la geometría que la separa ligeramente de la geometría teórica.

Se puede observar que cuando la diferencia entre los radios de contacto de ambas ruedas aumenta y por lo tanto se incrementa la conicidad equivalente, más o menos entre cinco o seis milímetros de desplazamiento lateral, se produce una disminución en el área de contacto y un aumento en el valor del esfuerzo máximo de contacto.

El modelo desarrollado puede ser utilizado para determinar los valores de la conicidad equivalente y los

esfuerzos máximos en la zona de contacto en diferentes tramos de una vía férrea. Se recomienda para estos casos refinar un poco más la malla de elementos finitos con el fin de eliminar errores puntuales que puedan afectar sensiblemente los resultados.

BIBLIOGRAFÍA

ESVELD, Coenraad; Modern Railway Track, Segunda edición..Holanda. Rueda, 2001. ISBN 90-800324-3-3

SIEMIENIEC, Adam y WOLNY, Stanislaw. Wyzymalosc Materialow tomo II. 1a Ed. Krakow, Polonia: AGH. 1991. 158p.

INTERNATIONAL UNION OF RAILWAYS. Method for determining the equivalent conicity. Paris, Francia. UIC 519, 2004.

MEJÍA PUENTE, Manuel; OLIVEROS Y RODRÍGUEZ MÉNDEZ. Tratado de ferrocarriles tomo I. Madrid, España. Rueda, 1977.

RESTREPO, Jorge, Introducción Al Método de los Elementos Finitos, Notas del Curso, Medellín, EAFIT, 2005.

BATHE, Jlaus Jürgen. Finite Element Procedures In Engineering Análisis. New Jersey, USA: Prentice Hall, 1982.

ZIENKIEWIECZ, O C.. The Finite Element Method. 3 ed. Maidenhead, Berkshire, England: Mc Graw Hill. s.f.. (Traducción: Eugenio Oñate Ibáñez de Navarra. El Método De Los Elementos Finitos. Barcelona: Editorial Reveté, 1982).

CASTRO GUZMÁN, Jairo Mauricio. Análisis de esfuerzos hertzianos de elementos de maquinas en MATLAB. Proyecto de Grado Ingeniería Mecánica. Medellín: Universidad EAFIT 2005.

Bibliografía de Internet

CLAVIJO@
CLAVIJO, Guido L. Vías férreas – generalidades. Bolivia, 2004. Disponible en Internet en: <http://www.umss.edu.bo/epubs/etexts/downloads/26/1.htm>

TÍTULOS PUBLICADOS EN ESTA COLECCIÓN

Copia disponible en: www.eafit.edu.co/investigacion/cuadernosdeinv.htm

Cuaderno 1 - Marzo 2002

**SECTOR BANCARIO Y COYUNTURA
ECONÓMICA EL CASO COLOMBIANO**

1990 - 2000 Alberto Jaramillo, Adriana
Ángel Jiménez, Andrea Restrepo Ramírez,
Ana Serrano Domínguez y Juan Sebastián
Maya Arango

Cuaderno 2 - Julio 2002

**CUERPOS Y CONTROLES, FORMAS
DE REGULACIÓN CIVIL. DISCURSOS Y
PRÁCTICAS EN MEDELLÍN 1948 – 1952**

Cruz Elena Espinal Pérez

Cuaderno 3 - Agosto 2002

UNA INTRODUCCIÓN AL USO DE LAPACK

Carlos E. Mejía, Tomás Restrepo y Christian
Trefftz

Cuaderno 4 - Septiembre 2002

**LAS MARCAS PROPIAS DESDE
LA PERSPECTIVA DEL FABRICANTE**

Belisario Cabrejos Doig

Cuaderno 5 - Septiembre 2002

**INFERENCIA VISUAL PARA LOS
SISTEMAS DEDUCTIVOS LBPCO, LBPC Y
LBPO**

Manuel Sierra Aristizábal

Cuaderno 6 - Noviembre 2002

**LO COLECTIVO EN LA CONSTITUCIÓN DE
1991**

Ana Victoria Vásquez Cárdenas,
Mario Alberto Montoya Brand

Cuaderno 7 - Febrero 2003

**ANÁLISIS DE VARIANZA DE LOS BENEFICIOS
DE LAS EMPRESAS MANUFACTURERAS EN
COLOMBIA,**

1995 – 2000

Alberto Jaramillo (Coordinador),
Juan Sebastián Maya Arango, Hermilson
Velásquez Ceballos, Javier Santiago Ortiz,
Lina Marcela Cardona Sosa

Cuaderno 8 - Marzo 2003

**LOS DILEMAS DEL RECTOR: EL CASO DE
LA UNIVERSIDAD EAFIT**

Álvaro Pineda Botero

Cuaderno 9 - Abril 2003

INFORME DE COYUNTURA: ABRIL DE 2003

Grupo de Análisis de Coyuntura Económica

Cuaderno 10 - Mayo 2003

GRUPOS DE INVESTIGACIÓN

Escuela de Administración

Dirección de Investigación y Docencia

Cuaderno 11 - Junio 2003

**GRUPOS DE INVESTIGACIÓN ESCUELA DE
CIENCIAS Y HUMANIDADES, ESCUELA DE
DERECHO, CENTRO DE IDIOMAS Y
DEPARTAMENTO DE DESARROLLO ESTUDIANTIL**

Dirección de Investigación y Docencia

Cuaderno 12 - Junio 2003

**GRUPOS DE INVESTIGACIÓN -
ESCUELA DE INGENIERÍA**

Dirección de Investigación y Docencia

Cuaderno 13 - Julio 2003

**PROGRAMA JÓVENES INVESTIGADORES –
COLCIENCIAS: EL ÁREA DE LIBRE COMERCIO
DE LAS AMÉRICAS Y
LAS NEGOCIACIONES DE SERVICIOS**

Grupo de Estudios en Economía y Empresa

Cuaderno 14 - Noviembre 2003

BIBLIOGRAFÍA DE LA NOVELA COLOMBIANA

Álvaro Pineda Botero, Sandra Isabel Pérez,
María del Carmen Rosero y María Graciela Calle

Cuaderno 15 - Febrero 2004

PUBLICACIONES Y PONENCIA 2003

Dirección de Investigación y Docencia

Cuaderno 16 - Marzo 2004

**LA APLICACIÓN DEL DERECHO
EN LOS SISTEMAS JURÍDICOS
CONSTITUCIONALIZADOS**

Gloria Patricia Lopera Mesa

Cuaderno 17 - Mayo 2004

**PRODUCTOS Y SERVICIOS FINANCIEROS A
GRAN ESCALA PARA LA MICROEMPRESA:
HACIA UN MODELO VIABLE**

Nicolás Ossa Betancur

Cuaderno 18 - Mayo 2004

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

Departamento de Ingeniería de Producción

Cuaderno 19 - Junio 2004

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

Departamento de Ingeniería Mecánica

Cuaderno 20 - Junio 2004

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

Departamento de Ingeniería de Procesos

Cuaderno 21 - Agosto 2004

**ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS DE LA AVENIDA
TORRENCIAL DEL 31 DE ENERO DE 1994 EN LA
CUENCA DEL RÍO FRAILE Y
SUS FENÓMENOS ASOCIADOS**

Juan Luis González, Omar Alberto Chavez,
Michel Hermelín

Cuaderno 22 - Agosto 2004

**DIFERENCIAS Y SIMILITUDES EN LAS TEORÍAS
DEL CRECIMIENTO ECONÓMICO**

Marleny Cardona Acevedo, Francisco Zuluaga Díaz,
Carlos Andrés Cano Gamboa,
Carolina Gómez Alvis

Cuaderno 23 - Agosto 2004

GUIDELINES FOR ORAL ASSESSMENT

Grupo de investigación Centro de Idiomas

Cuaderno 24 - Octubre 2004

**REFLEXIONES SOBRE LA INVESTIGACIÓN DESDE
EAFIT**

Dirección de investigación y Docencia

Cuaderno 25 - Septiembre 2004

**LAS MARCAS PROPIAS DESDE
LA PERSPECTIVA DEL CONSUMIDOR FINAL**

Belisario Cabrejos Doig

Cuaderno 26 - Febrero 2005

PUBLICACIONES Y PONENCIAS -2004-

Dirección de investigación y Docencia

Cuaderno 27 - Marzo 2005

EL MERCADEO EN LA INDUSTRIA DE LA CONFECCIÓN - 15 AÑOS DESPUÉS -

Belisario Cabrejos Doig

Cuaderno 28 - Abril 2005

LA SOCIOLOGÍA FRENTE A LOS ESPEJOS DEL TIEMPO: MODERNIDAD, POSTMODERNIDAD Y GLOBALIZACIÓN

Miguel Ángel Beltrán, Marleny Cardona Acevedo

Cuaderno 29 - Abril 2005

“OXIDACIÓN FOTOCATALÍTICA DE CIANURO”

Grupo de Investigación Procesos Ambientales y Biotecnológicos -GIPAB-

Cuaderno 30 - Mayo 2005

EVALUACIÓN A ESCALA DE PLANTA PILOTO DEL PROCESO INDUSTRIAL PARA LA OBTENCIÓN DE ACEITE ESENCIAL DE CARDAMOMO, BAJO LA FILOSOFÍA “CERO EMISIONES”

Grupo de Investigación Procesos Ambientales y Biotecnológicos -GIPAB-

Cuaderno 31 - Junio 2005

LA DEMANDA POR FORMACIÓN PERMANENTE Y CONSULTORÍA UNIVERSITARIA

Enrique Barriga Manrique

Cuaderno 32 - Junio 2005

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

Escuela de Ingeniería

Departamento de Ingeniería Mecánica

Cuaderno 33 - Julio 2005

PULVERIZACIÓN DE COLORANTES NATURALES POR SECADO POR AUTOMIZACIÓN

Grupo de Investigación Desarrollo y Diseño de Procesos -DDP-

Departamento de Ingeniería de Procesos

Cuaderno 34 - Julio 2005

“FOTODEGRADACIÓN DE SOLUCIONES DE CLOROFENOL-CROMO Y TOLUENO-BENCENO UTILIZANDO COMO CATALIZADOR MEZCLA DE DIÓXIDO DE TITANIO (TiO_2), BENTONITA Y CENIZA VOLANTE”

Grupo de Investigación Procesos Ambientales y Biotecnológicos -GIPAB-
Edison Gil Pavas

Cuaderno 35 - Septiembre 2005

HACIA UN MODELO DE FORMACIÓN CONTINUADA DE DOCENTES DE EDUCACIÓN SUPERIOR EN EL USO PEDAGÓGICO DE LAS TECNOLOGÍAS DE INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN

Claudia María Zea R., María del Rosario Atuesta V., Gustavo Adolfo Villegas L., Patricia Toro P., Beatriz Nicholls E., Natalia Foronda V.

Cuaderno 36 - Septiembre 2005

ELABORACIÓN DE UN INSTRUMENTO PARA EL ESTUDIO DE LOS PROCESOS DE CAMBIO ASOCIADOS CON LA IMPLANTACIÓN DEL TPM EN COLOMBIA

Grupos de Investigación:

Grupo de Estudios de la Gerencia en Colombia

Grupo de Estudios en Mantenimiento Industrial (GEMI)

Cuaderno 37 - Septiembre 2005

PRODUCTOS Y SERVICIOS FINANCIEROS A GRAN ESCALA PARA LA MICROEMPRESA COLOMBIANA

Nicolás Ossa Betancur

Grupo de Investigación en Finanzas y Banca
Área Microfinanzas

Cuaderno 38 - Noviembre 2005

PROCESO “ACOPLADO” FÍSICO-QUÍMICO Y BIOTECNOLÓGICO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CONTAMINADAS CON CIANURO

Grupo de Investigación Procesos Ambientales y Biotecnológicos -GIPAB-

Cuaderno 39 - Febrero 2006

LECTURE NOTES ON NUMERICAL ANALYSIS

Manuel Julio García R.

Department of Mechanical Engineering

Cuaderno 40 - Febrero 2006

**MÉTODOS DIRECTOS PARA LA SOLUCIÓN
DE SISTEMAS DE ECUACIONES LINEALES
SIMÉTRICOS, INDEFINIDOS, DISPERSOS Y
DE GRAN DIMENSIÓN**

Juan David Jaramillo Jaramillo, Antonio M. Vidal Maciá,
Francisco José Correa Zabala

Cuaderno 41- Marzo 2006

**PUBLICACIONES, PONENCIAS, PATENTES
Y REGISTROS 2005**

Dirección de Investigación y Docencia

Cuaderno 42- Mayo 2006

**A PROPÓSITO DE LA DISCUSIÓN SOBRE EL
DERECHO PENAL “MODERNO” Y LA SOCIEDAD
DEL RIESGO**

Diana Patricia Arias Holguín

Grupo de Estudios Penales (GEP)

Cuaderno 43- Junio 2006

**ARTÍCULOS DE LOS PROYECTOS DE GRADO
REALIZADOS POR LOS ESTUDIANTES DE
INGENIERÍA MECÁNICA QUE SE GRADUARON EN
EL AÑO 2005**

Departamento de Ingeniería Mecánica

Escuela de Ingeniería

Cuaderno 44- Junio 2006

**EL “ACTUAR EN LUGAR DE OTRO” EN EL CÓDIGO
PENAL COLOMBIANO, ÁMBITO DE APLICACIÓN Y
PROBLEMAS MÁS RELEVANTES DE LA FÓRMULA
DEL ART. 29 INCISO 3**

Susana Escobar Vélez

Grupo de Estudios Penales (GEP)

