

ENERGÍA

Revista de difusión

N°4 Vol. 1

(2015)

ISSN: 1390-7395

4

MECÁNICA

INNOVACIÓN Y FUTURO N° 4



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

GRAB. ROQUE MOREIRA CEDEÑO

Rector.

TCRN. DE E.M. FREDDY JÁTIVA

Director.

MAYO. DANIEL CHAMORRO

Subdirector.

ING. JOSÉ BUCHELI MSc.

Jefe Investigación Innovación y
Transferencia de Tecnología

ING. MARCO SINGAÑA A. MSc.

Director del Departamento de Ciencias
de la Energía y Mecánica.

EDITOR GENERAL

Ing. Germán Erazo Laverde MSc.

Docente Tiempo Completo Universidad
de Fuerzas Armadas ESPE.

ENERGÍA MECÁNICA, INNOVACIÓN Y FUTURO

Revista de Difusión No. 4

ISSN : 1390 - 7395

Publicación Anual

500 EJEMPLARES.

RESPONSABLE LEGAL:

Universidad de Fuerzas Armadas

ESPE Extensión Latacunga

Av. General Rumiñahui s/n

Sangolquí - Ecuador

Departamento de Ciencias de la Energía y
Mecánica.

emecanica@espe.edu.ec

e-innovacion@espe.edu.ec

032810206 Ext. 4348 - 4301 - 4300

2015

500 ejemplares.

Diseño de la revista:

Ing. Félix J. Manjarrés A. MSc.

Impreso en:

Editorial Universitaria.



COMITÉ EDITORIAL

Ing. Germán Erazo Laverde MSc.

Docente Tiempo Completo Universidad de
Fuerzas Armadas ESPE.

Ing. Roberto Salazar MSc.

Universidad Tecnológica Indoamérica.

Ing. Diego López

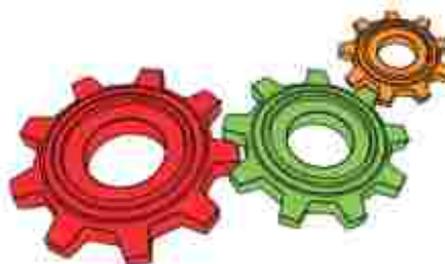
Representante para Ecuador CISE
Electronics.

PhD. Secundino Marrero

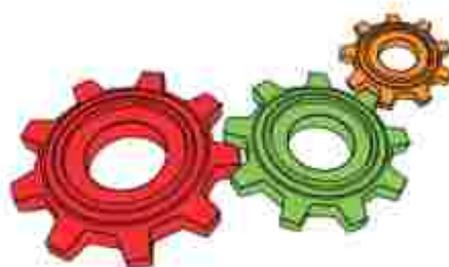
Docente UTC - CYA.

Ing. Luis Mena N. MSc.

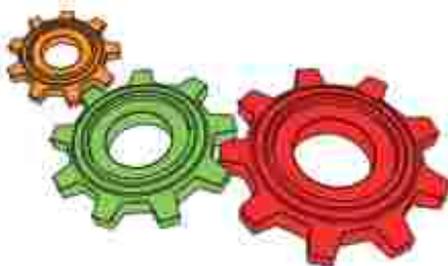
Docente Tiempo Completo Universidad de
Fuerzas Armadas ESPE.



| ÍNDICE | PÁGINA |
|--|--------|
| DISEÑO DE UN PROTOTIPO DIDÁCTICO DE MÁQUINA SOPLADORA DE PLÁSTICO NEUMÁTICA | 1 |
| DESIGN OF A PROTOTYPE OF TEACHING PLASTIC MACHINE AIR BLOWER ¹ Ernesto Ramiro Santillán, ² Mario Jiménez León, ³ Xavier Masapanta A., ⁴ Esteban Gavilanes V. | |
| METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE LA ESTRUCTURA METÁLICA DE SOPORTE PARA UN SISTEMA INDUSTRIAL ELEVADOR DE CARGA | 10 |
| METHODOLOGY FOR THE DESIGN OF METAL SUPPORT STRUCTURE FOR AN INDUSTRIAL SYSTEM FORKLIFT ¹ Félix Javier Manjarrés Arias , ² Luis Francisco Bustamante Sarabia | |
| ESTUDIO REOMÉTRICO DE LA REVERSIBILIDAD Y LOS TIEMPOS DE FRAGUADO EN CEMENTOS PORTLAND Y PUZOLÁNICOS | 21 |
| RHEOMETRIC STUDY OF REVERSIBILITY AND SETTING TIMES OF PORTLAND AND POZZOLAN CEMENT ¹ Lenin Abatta , ² Christian Narváez, ³ Luis Carrión, ⁴ Reinaldo Delgado, ⁵ Alexander Ibarra | |
| ANÁLISIS ESTRUCTURAL COMPUTACIONAL DE LA CARROCERÍA DE UN MINIBUS ESCOLAR EN IMPACTO LATERAL POR VOLCAMIENTO | 27 |
| COMPUTATIONAL STRUCTURAL ANALYSIS OF A SCHOOL MINIBUS BODY ON ROLLOVER SIDE IMPACT ¹ Milton Mario Brito Palma, ² Andrés Marcelo Gordón Garcés, ³ Patricia Nataly Constante Prócel. | |
| CONSTRUCCIÓN DE UN SENSOR DE CONDUCTIVIDAD CON TECNOLOGÍA ABIERTA | 35 |
| THE CONSTRUCTION OF AN OPEN SOURCE BASED CONDUCTIVITY SENSOR ¹ David Loza Matovelle, ² Luis J. Segura, ³ Xavier Segovia, ⁴ Reza Dabirian ⁵ Edwin Haro Sangoquiza | |
| CARACTERIZACIÓN DE TAMAÑO DE NANOPARTÍCULAS INORGÁNICAS MULTIFUNCIONALES MEDIANTE MICROSCOPIA DE FUERZA ATÓMICA | 41 |
| SIZE CHARACTERIZATION OF MULTIFUNCTIONAL INORGANIC NANOPARTICLES BY ATOMIC FORCE MICROSCOPY ¹ Reza Dabirian , ² Salomé Galeas, ³ Nelly Rosas, ⁴ Victor H. Guerrero | |

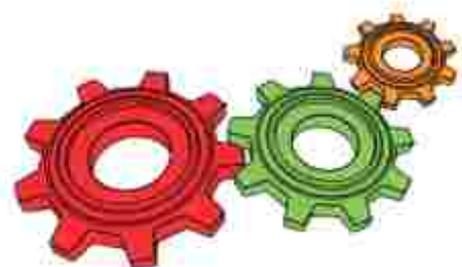


| | |
|---|------------|
| <p>DISEÑO Y OPTIMIZACIÓN DE LA BASE DE MOTOR PARA CAMIONETAS</p> <p>DESIGN AND OPTIMIZATION OF ENGINE MOUNT FOR PICKUP</p> <p>¹Marco Vinicio Noroña Merchán, ²Edwin Giovanni Puente Moromenacho</p> | 48 |
| <p>ANÁLISIS DEL DESARROLLO DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN LA RED ELÉCTRICA INTERCONECTADA DE ECUADOR</p> <p>ANALYSIS OF THE DEVELOPMENT OF SOLAR PHOTOVOLTAIC POWER IN THE INTERCONNECTED ELECTRIC GRID OF ECUADOR</p> <p>¹Edwin Raúl Grrijalva Campana, ²Maria de los Angeles Vallvé Antón, ³Luis Xavier Orbea Hinojosa</p> | 57 |
| <p>SISTEMA DE GENERACIÓN DE HIDRÓGENO PARA LA ALIMENTACIÓN VEHICULAR DUAL GASOLINA - HHO EN MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA</p> <p>HYDROGEN GENERATING SYSTEM FOR VEHICULAR POWER DUAL FUEL - HHO IGNITION ENGINES</p> <p>¹Germán Erazo Laverde, ²Diego Juma Jar, ³Wladimir Martínez Anangonó, ⁴Juan Castro Clavijo</p> | 68 |
| <p>ESTUDIO DE TECNOLOGÍAS DE LUCES CONVENCIONALES, DE BOMBILLAS INCANDESCENTES Y LUCES LED</p> <p>STUDY OF CONVENTIONAL LIGHTING TECHNOLOGIES OF INCANDESCENT BULBS, AND LED LIGHTS</p> <p>¹Santiago Fernando Celi Ortega, ²Abel Polivio Remache Coyago, ³Miguel Eduardo Martínez Betancourt, ⁴Luis Eduardo Tipanluisa Sarchi</p> | 77 |
| <p>ANÁLISIS DE RENDIMIENTO DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA, CON LA INYECCIÓN ADICIONAL DE METANOL EN LA ADMISIÓN DE AIRE</p> <p>PERFORMANCE ANALYSIS OF AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE, WITH ADDITIONAL METHANOL INJECTION IN THE AIR INTAKE</p> <p>¹Andrés Sebastián Villacrés Quintana, ²José Lizandro Quiroz Erazo, ³Victor Danilo Zambrano León</p> | 86 |
| <p>SISTEMA DE RECONOCIMIENTO DE OBJETOS EN CARRETERA DURANTE LA CONDUCCIÓN, BAJO CONDICIONES ADVERSAS, EN UN VEHÍCULO</p> <p>SYSTEM OF RECOGNITION OF OBJECTS ON ROAD DRIVING UNDER ADVERSE CONDITIONS IN A VEHICLE</p> <p>¹Celín Abad Padilla Padilla, ²Wilson Javier Villagrán Cáceres, ³Segundo Pachacutic Cartuche Mínga, ⁴Stalyn Mauricio Silva Vidal</p> | 96 |
| <p>APLICACIÓN DE FIBRA DE YUTE EN LA CONSTRUCCIÓN DE CARROCERÍAS PARA VEHÍCULOS FORMULA SAE</p> <p>APPLICATION OF JUTE FIBER IN THE CONSTRUCTION OF CAR BODIES FORMULA SAE</p> <p>¹Henry Heriberto Iza Tobar, ²Leonidas Antonio Quiroz Erazo, ³Marcelo Fabián Salazar Corrales.</p> | 102 |



REVISTA ENERGÍA MECÁNICA INNOVACIÓN Y FUTURO

Es una publicación de difusión científica de periodicidad anual con ISSN 1390 – 7395, que relaciona el área de Ciencias de la Ingeniería y Profesiones afines. Perteneció a la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica, que permite difundir trabajos de investigación de profesionales internos y externos con temáticas relacionadas a: Diseño y mecánica computacional, procesos de manufactura, mecánica de sólidos, energía y termofluidos, sistemas automotrices, petroquímica y mecatrónica a través de temas de interés, relevancia y actualidad tecnológica. Dispone de un comité editorial conformado por personal interno y externo, así como de un amplio grupo de profesionales que realizan la función de revisores que permiten seleccionar la información a ser difundida.



ENERGÍA MECÁNICA, INNOVACIÓN Y FUTURO

Un proverbio chino menciona: "el que ha desplazado la montaña es el que comenzó por quitar las pequeñas piedras"; es un gran mensaje que tiene como fondo la constancia, perseverancia y tenacidad; características estas de los docentes investigadores que hacen posible la cuarta entrega de esta publicación anual de difusión científica que relaciona el área de Ciencias de la Ingeniería y profesiones afines.



La revista "ENERGÍA MECÁNICA, INNOVACIÓN Y FUTURO", es desarrollada por el Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica de la Universidad de Fuerzas Armadas Extensión Latacunga y tiene como objetivo difundir los trabajos de investigación de profesionales internos y externos con temáticas variadas relacionadas con el diseño y mecánica computacional, procesos de manufactura, mecánica de sólidos, energía y termofluidos, sistemas automotrices, petroquímica y mecatrónica a través de temas de interés, relevancia y actualidad tecnológica.

Convencidos que los esfuerzos individuales provocarán el progreso general de todos sus miembros, la revista se viene fortaleciendo con ese trabajo permanente, tesonero de cada investigador; aglutina los resultados de la investigación, y luego que el comité editorial, que se encuentra conformado por personal académico interno y externo analiza la información y selecciona la misma, ofrece a los lectores una publicación con temas técnicos variados y de actualidad con el objetivo de apoyar en la construcción del conocimiento y en la solución de problemas de nuestra sociedad como una contribución de la academia a la nación ecuatoriana.

Como Director de esta extensión universitaria localizada en la región central del país quiero expresar una vez más mis felicitaciones a todas las personas que han contribuido y permitido que se lleve a cabo esta Edición, mi deseo para que los autores no desmayen en este camino que emprendieron cuatro años atrás y que día a día produce resultados que cada vez son más visibles; me siento honrado de poder dirigir a los lectores este saludo respetuoso e invitar que disfruten de la lectura, realicen sus análisis y obtengan conclusiones de estos artículos las cuales a no dudarlo contribuirán al desarrollo de nuestra Patria.

Atentamente

Ing. FREDDY J. JATIVA C.
Teniente Coronel de E.M.
DIRECTOR



Un científico es un hombre tan endeble y humano como cualquiera; sin embargo, la búsqueda científica puede ennoblecerle, incluso en contra de su voluntad.

Isaac Asimov (1920 - 1992) escritor y bioquímico soviético, nacionalizado estadounidense

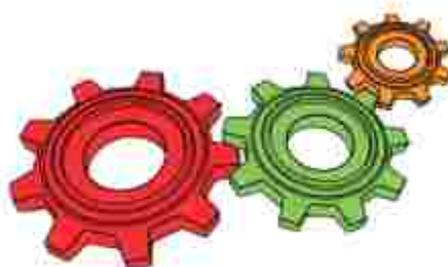
La IV edición de la Revista Energía Mecánica Innovación y Futuro, realiza la difusión de trabajos de investigación en esta ocasión de profesionales de la academia nacional con temas relevantes a las áreas de ciencias de la ingeniería y profesiones afines.

Cada vez se realiza más trabajos con alto grado de calidad científica y tecnológica en la universidad ecuatoriana, lo que representa la producción de material de interés y consulta para profesionales y estudiantes de ingeniería automotriz, mecatrónica, petroquímica y relacionadas a estos campos del saber.

A través de un proceso riguroso de revisión y selección se han considerado temas relevantes con procesos de fabricación, energías alternativas, análisis mecánico computacional, materiales en la industria automotriz, procesos mecatrónicos así como trabajos de investigación de innovación.

La motivación permanente a la colectividad y a la comunidad académica nacional e internacional para contribuir con publicaciones y su difusión a través de esta publicación de la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE para continuar innovando con excelencia.

*Ing. MSc, Germán Erazo Laverde
Editor.*



DISEÑO DE UN PROTOTIPO DIDÁCTICO DE MÁQUINA SOPLADORA DE PLÁSTICO NEUMÁTICA

DESIGN OF A PROTOTYPE OF TEACHING PLASTIC MACHINE AIR BLOWER

Ernesto Ramiro Santillán, Mario Jiménez León, Xavier Masapanta A., Esteban Gavilanes V.

^{1,2} Universidad de Fuerzas Armadas ESPE – Departamento de Ciencia de la Energía y Mecánica, Quijano y Ordoñez y Marques de Misena s/n.

³Asesoría en electromecánica "SURMAQ S.A. Quito

E-mails: ¹erisantillan@espe.edu.ec, ²mjimenez@espe.edu.ec, ³masapanta86@gmail.com, ⁴esteban_d11@hotmail.com

Energía Mecánica Innovación y Futuro, IV Edición 2015, No.1 (13)

RESUMEN

El artículo presenta el diseño de un prototipo didáctico de máquina sopladora de plástico, para obtener recipientes pequeños de polietileno de alta densidad conformados por el soplado en matrices. Se estima las especificaciones de la máquina, con el análisis modular se determina las funciones del prototipo obteniendo varias alternativas de solución para cada función, realizando el análisis cuantitativo y comparando entre si las diferentes alternativas con los criterios que se establecen según el nivel de importancia, a través de la ponderación se llegan a la mejor solución.

Establecidas las especificaciones técnicas y la morfología de la máquina se diseñan los elementos mecánicos, con el uso de software de la especialidad, considerando un análisis térmico, estático y vibratorio del tornillo extrusor, eje del cabezal y base soporte para determinar su comportamiento a las condiciones del trabajo, y la selección del control eléctrico y electrónico de los

parámetros de funcionamiento del prototipo

Palabras clave: Polietileno, máquina sopladora, plástico, análisis térmico.

ABSTRACT

The paper presents the design of a training prototype plastic blowing machine, for small containers of high density polyethylene formed by the blown matrices. The specifications of the machine is estimated, with the modular prototype analysis functions is determined by obtaining several alternative solutions for each function, performing quantitative analysis and comparing each different alternatives with the criteria set by level of importance, through the weighting you reach the best solution.

Established specifications and type of machine elements are designed, using specialty software; thermal; static and vibration analysis is performed to determine the right material for each item.

Keywords: *Polyethylene, blowing machine, plastic, thermal analysis*

1. INTRODUCCIÓN

El diseño de máquinas es una base teórica incluye estudios prácticos en un tema que día a día toman mayor importancia en la industria.

Se utiliza la metodología del diseño concurrente utilizando la casa de calidad que considera las especificaciones técnicas del prototipo, el análisis funcional y la solución más adecuada de entre varias alternativas para el diseño de la máquina [1].

Se realiza el diseño mecánico del tornillo extrusor, utilizando software de aplicación para análisis térmico y estático de los elementos más críticos de la máquina como: tornillo extrusor, eje del cabezal. Está considerado el estudio vibratorio de la base de la extrusora, seleccionando los dispositivos eléctricos, electrónicos, neumáticos, tablero de control de cual consta la máquina.

2. DESARROLLO

El proceso de moldeo por soplado consiste en adquirir una manga tubular de polietileno plastificado (parison) que se produce en la extrusora después de pasar por la boquilla, la que se concentra entre las caras huecas que forman el molde y al suministrar aire a presión obliga al material plastificado a tomar la forma del molde. [1]

De la temperatura de plastificación con la que sale el material de la boquilla depende el tiempo necesario para enfriar la pieza antes de salir del molde. [2]

El llenado correcto de las cavidades del molde depende de la presión de soplado. La presión se ajusta según el tamaño de la pieza y del diseño del molde [3].

Se utiliza la metodología del Diseño concurrente utilizando la casa de calidad, considerando los requerimientos del Laboratorio de Neutrónica y que son transformadas en especificaciones técnicas del prototipo, mediante el análisis funcional y la morfología, se establece la solución más adecuada de entre varias alternativas para el diseño de la máquina [4]. obteniéndose la mejor alternativa de solución: llenado de tolva con un recipiente, la plastificación y dosificado con husillo único, el moldeo con soplado y desmoldeo neumáticamente [3][5].

Para el efecto se realiza el diseño mecánico y térmico del tornillo extrusor, y del eje del cabezal utilizando software CAE para el análisis térmico y estático. Se consideró el estudio vibratorio de la base de la extrusora, y la selección de los dispositivos neumáticos, eléctricos y electrónicos, que conforman la máquina y el tablero de control del prototipo para el control de los parámetros de funcionamiento(velocidad del tornillo extrusor, temperatura de moldeo, presión de soplado, tiempo de soplado) del prototipo como un sistema didáctico

En la figura 1 se indica el proceso de moldeo por soplado

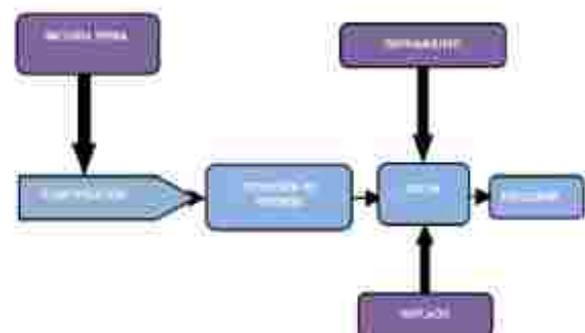


Figura 1. Proceso de moldeo por soplado

3. MATERIALES Y MÉTODOS

Las especificaciones técnicas de la máquina se determinan siguiendo el Diseño Concurrente, según Riba [4] y que se indican en la tabla 1

Tabla 1. Especificaciones Técnicas de la Máquina

| Empresa Cliente: Universidad de las Fuerzas Armadas | | Fecha Inicial: 15/02/2015 Última revisión: | | |
|---|-------|--|------|--|
| Diseñadores: Emilio Gavilanes Vásquez Xosha Macaspán Ayala | | Producto: Prototipo de máquina sopradora de plástico por molde | | |
| | | Página 1 | | |
| Especificaciones | | | | |
| Concepto | Fecha | Proceso | R.D. | Descripción |
| Función | | C | R | Prototipo de máquina de moldeo por soplado para enseñanza industrial y fabricación de 100 unidades por hora |
| Presión máxima y mínima de cilindros | | D | R | Presión máxima de 2 Bar Presión mínima de 0.1 Bar |
| Presión de soplado mínima y máxima | | D | R | Presión de soplado máxima de 2 Bar Presión mínima de soplado de 0.1 Bar |
| Dimensiones | | D | R | Longitud del molde 1.34 metros |
| Materiales utilizados | | D | R | Máquina 1.8kW 30x150 metros (0 material) a usar en polietileno de alta densidad HDPE para soplado La velocidad máxima de trabajo es de 195 rpm que se controlará con un regulador de velocidad |
| Velocidad del molde | | D | R | 1.34 cm seg. |
| Velocidad del pistón | | D | R | Velocidad de salida del pistón es de 1.34 cm seg. |
| Temperatura de moldeo Tiempo de soplado y calentamiento | | D | R | El rango de temperatura que se trabajará es de 180 a 200° C Tiempo de soplado de 1 segundo por unidad. tiempo de calentamiento de 1 minuto |
| Automatización | | C | R | Mando manual para calibración de los dispositivos Mando automático en todo el proceso de fabricación, incluyendo la alimentación de materia prima y el |
| Forma de operación | | C | R | Emplea eléctrica |
| Instrumentos | | C | R | Módulo y desmontaje accesible para el mantenimiento |

Proceso: C-Crear; R-D: En Requerimiento; D-Diseño

Adicionalmente se considera las dimensiones típicas para extrusoras de plástico recomendado por Laffeur Pierre et al [5] y Stevens, M. J., & Covas, J. (1995). [6] detallado en la tabla 2.

Tabla 2 Dimensiones típicas de una extrusora de plástico convencional [5]

| DESCRIPCIÓN | MÍNIMO | MÁXIMO | VALOR TÍPICO |
|--|---------|-----------|--------------|
| Longitud total (L) | 20 D | 30 D | 24 D |
| Diámetro del tornillo (D) | 2 cm | 90 cm | |
| Peso del tornillo (p) | | | 10 |
| Longitud de la zona de alimentación (L _a) | 4 D | 10 D | 4 D |
| Longitud de la zona de transición (L _t) | 4 D | 10 D | 10 D |
| Longitud de la zona de dosificación (L _d) | 4 D | 10 D | 10 D |
| Ancho del filo del tornillo (f) | 0.1 D | 0.15 D | 0.1 D |
| Ángulo del filo con la vertical (φ) | 15° | 30° | |
| Profundidad zona de alimentación (h _a) | 0.1 D | 0.2 D | |
| Profundidad zona de dosificación (h _d) | 0.05 D | 0.1 D | |
| Relación de compresión (h _a /h _d) | 2 | 4 | |
| Holgura entre el cable y el filo (β) | 0.005 D | 0.0015 D | |
| Revoluciones del tornillo RPM (N) | 30 | 150 | |
| Peso máximo de producción (m _p) | 10 Kg/h | 1000 Kg/h | |

Según Laffeur Pierre et al [5] se determinan los parámetros que influyen en el diseño de la extrusora, se indican de acuerdo con la nomenclatura mostrada en la figura 2 y figura 3:

Tabla 3 Parámetros del diseño Geométrico del tornillo

| | 15 °C |
|---|-------------------------------------|
| Temperatura ambiente T _{amb} | 15 °C |
| Materia prima extruida | Polietileno de alta densidad (HDPE) |
| Velocidad lineal del HDPE inyectado (q) | 800.51 cm ³ |
| Longitud total del tornillo (L) | 0.132 m |
| Diámetro del cable (D _c) | 0.005 m |
| Diámetro del tornillo (D) | 0.005 m |
| Peso del tornillo (p) | 0.005 m |
| Longitud de la zona de alimentación (L _a) | 0.132 m |
| Longitud de la zona de transición (L _t) | 0.050 m |
| Longitud de la zona de dosificación (L _d) | 0.050 m |
| Ancho del filo del tornillo (f) | 0.005 m |
| Profundidad zona de alimentación (h _a) | 0.005 m |
| Profundidad zona de dosificación (h _d) | 0.0025 m |
| Holgura entre el cable y el filo (β) | 0.001 m |
| Velocidad de giro del tornillo (N) | 195 rpm (3.75) rpm |
| Factor de seguridad recomendado | 2.0 |

En la figura 2, se observa la nomenclatura utilizada y el proceso que se aplica al polietileno de alta densidad (HDPE) dentro de la extrusora que consta de tres etapas llamadas: Alimentación, Transición y Dosificado [2] [3].

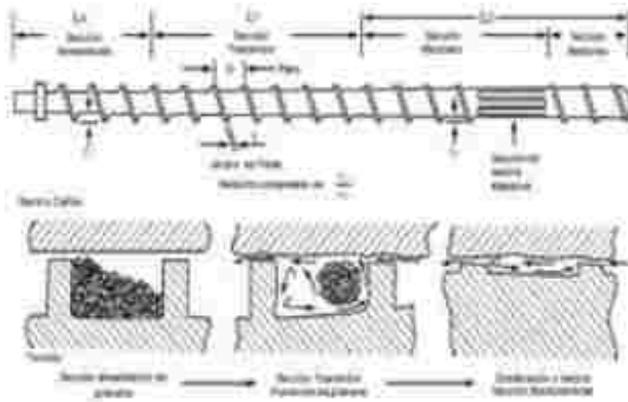


Figura 2. Diferentes zonas de una extrusora [3]

Los parámetros geométricos de diseño del tornillo son la longitud (L), el diámetro (D), el ángulo del filete (φ) y paso de rosca (p) [6].

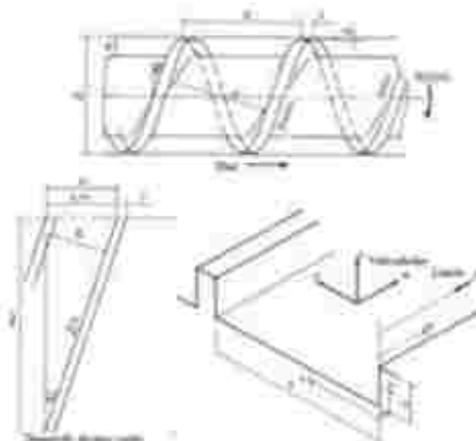


Figura 3. Nomenclatura y sistema de coordenadas

dentro de la extrusora consta de tres etapas llamadas: Alimentación, Transición y Dosificado [2] [3].

Considerando las cargas por torsión se determina el comportamiento del tornillo extrusor (material AISI 4140 normalizado) realizando el análisis estático mediante el programa ANSYS, obteniéndose la tensión de Von Mises y un factor de seguridad de 2,61 que se observan en la figura 4 y 5 respectivamente.

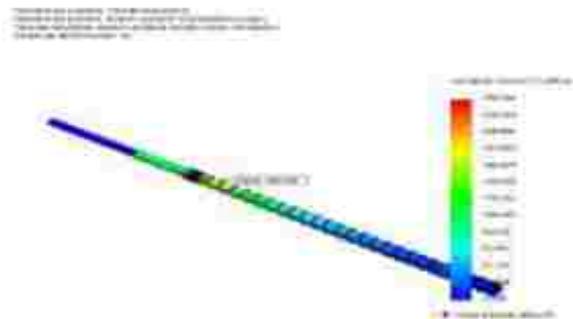


Figura 4. Tensión de Von Mises en el tornillo extrusor



Figura 5. Factor de seguridad del tornillo extrusor

Análisis térmico del tornillo extrusor

Para determinar el comportamiento del tornillo a las condiciones térmicas que requiere el proceso de transformación del polietileno de alta densidad se realizó el estudio en el software ANSYS, considerando como condición de frontera las temperaturas en las tres zonas del tornillo, procediendo a la simulación del estado térmico, dando como resultado una deformación de 0,157 mm y un factor de seguridad de 1,3 como se observa en la figura 6 y 7 respectivamente

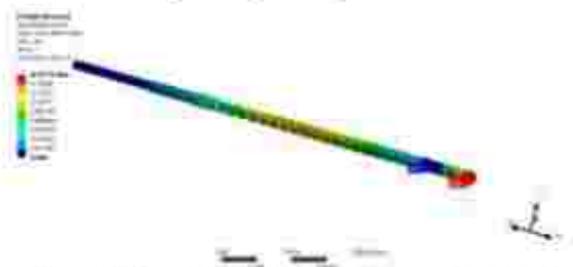


Figura 6. Deformación total del tornillo por temperatura y carga

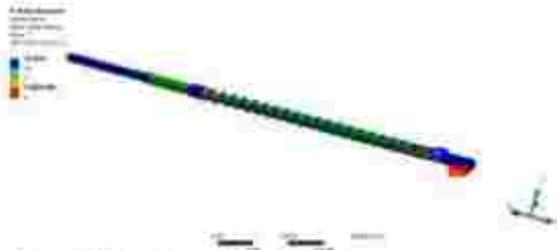


Figura 7. Factor de seguridad del tornillo por cargas y temperatura

Análisis estático del eje del cabezal

Las soluciones obtenidas, al realizar el análisis estático en el eje del cabezal (material AISI 4140 normalizado) considerando la carga de trabajo por efecto de la presión de obstrucción de 123,3 MPa, de la tensión de Von Mises y el factor de seguridad se observa en la figura 8 y figura 9 respectivamente



Figura 8. Tensión de Von Mises del eje del cabezal



Figura 9. Factor de seguridad del eje del cabezal

Análisis térmico del eje de cabezal

Considerando la temperatura que se genera en las resistencias eléctricas (tipo suncho blindadas con cintas de Níquel Cromo 80/20 y aisladas con mica) ($T_{rest}=281,8^{\circ}C$) que forman parte del sistema de extrusión, se realiza el análisis térmico en el eje del cabezal obteniéndose la deformación por la temperatura y la tensión de Von Mises, como se

observa en la figura 10 y 11 respectivamente



Figura 10 Deformación del eje del cabezal por la temperatura

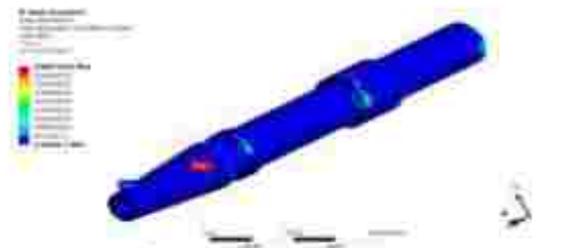


Figura 11 Tensión de Von Mises del eje del cabezal con temperatura

Análisis estático del soporte de la extrusora

Considerando la carga que se genera en el soporte (material fundición gris) de 2394 N, se realiza el análisis estático obteniéndose la tensión de Von Mises, y el factor de seguridad de 2,44 como se observa en la figura 12 y 13 respectivamente



Figura 12. Tensión de Von Mises del soporte de la extrusora



Figura 13. Factor de seguridad del soporte de la extrusora

Análisis vibracional del soporte de la extrusora

Con el software ANSYS se realizó el estudio modal que permite ver las diferentes formas de deformación a una frecuencia máxima de 500 Hz como se observa en la figura 14.

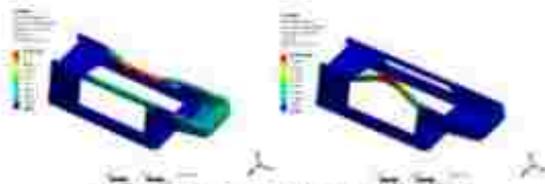


Figura 14 : Deformaciones en el análisis modal

El resultado obtenido por ANSYS a la respuesta transitoria a una frecuencia de 500 Hz y la carga sometida de 2394 N da como resultado una tensión de Von Mises y deformación presentadas en la figura 15 y figura 16 respectivamente.



Figura 15 Tensión de Von Mises de la base a una frecuencia de 500 Hz



Figura 16. Deformación de la base a una frecuencia de 500 Hz

El resultado obtenido por la simulación en el análisis transitorio del ANSYS da como resultado un factor de seguridad de:

$$n = \frac{S_w}{\sigma_1} = \frac{213 MPa}{25,31 MPa} = 8,41 \quad \text{Ec. 1}$$

Verificándose que el soporte de fundición gris de la base resistirá las cargas a dicha frecuencia

Control electrónico del prototipo

Para efecto del control eléctrico y electrónico se utilizó una placa electrónica con optotriacs que aísla el control con el circuito de potencia, que permitirá a más de la protección del PLC una mayor velocidad en el control de los distintos dispositivos de la máquina.



Figura 17. Placa electrónica con optotriacs

Funcionamiento Lógico del proceso

En la figura 18 se detalla la representación del funcionamiento lógico del proceso de la máquina sopladora de plástico incorporando el mando manual y automático.

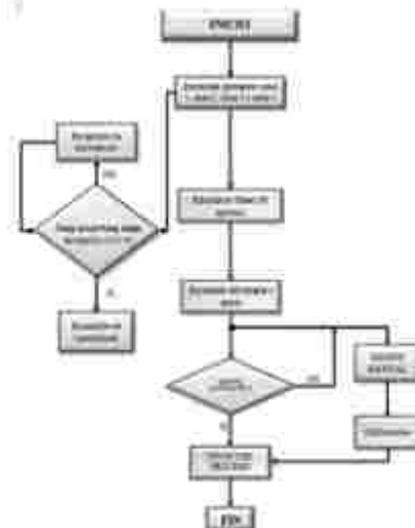


Figura 18. Diagrama de flujo del proceso de moldeo

El prototipo dispone de los elementos de potencia y el tablero que permite controlar la velocidad del tornillo, temperatura y los dispositivos neumáticos del proceso de moldeo como se observa en las figuras 19 y 20 y que servirán como equipo

ENERGÍA Y MECÁNICA INNOVACIÓN Y FUTURO
 No. 4 Vol. 1 / 2015 (13) ISSN 1390 - 7395 (1/13)

didáctico para generar piezas de HDPE, obtenidas por soplado

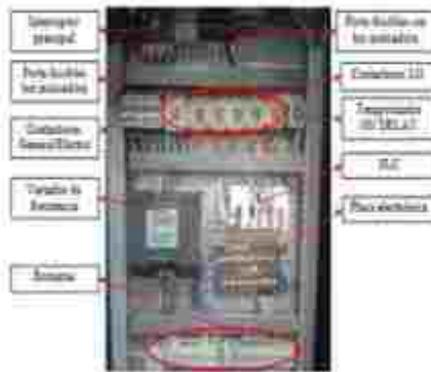


Figura 19: Armario eléctrico

Con un programa CAD se realizó el modelado geométrico de cada elemento mecánico que conforma la máquina sopladora de plástico, como se representa en el ensamblaje final de la figura

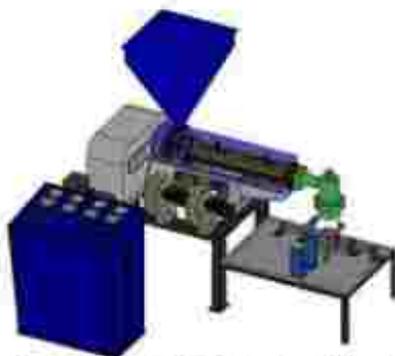


Figura 20: Modelado de la máquina sopladora de plástico

4. EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS

Las temperaturas mínimas en cada zona del tornillo de extrusión y tener un resultado excelente para el moldeo y soplado con una velocidad mínima constante (24.6 RPM) con una frecuencia de 30 Hz se detalla en la tabla 4

Tabla 4: Apariencia del parison según la temperatura

| Velocidad | Zona 1 | Zona 2 | Zona 3 | Zona 4 | Apariencia parison |
|-----------|--------|--------|--------|--------|--------------------|
| 30 Hz | 130 °C | 150 °C | 150 °C | 150 °C | pero blanco |
| 30 Hz | 130 °C | 170 °C | 170 °C | 170 °C | May Blanco |
| 30 Hz | 160 °C | 185 °C | 185 °C | 185 °C | Exhibido |
| 30 Hz | 160 °C | 175 °C | 175 °C | 180 °C | Aclaro |

La presión de soplado adecuado (2 bares) y como resultado un envase bien formado con una velocidad mínima constante y las temperaturas de cada zona ya establecidas anteriormente se detalla en la tabla 5.

Tabla 5: Presión de Soplado

| Presión de soplado | Observaciones |
|--------------------|---|
| 0.5 Bar | Producto no terminado, expansion del parison mínimo |
| 1 Bar | 70% producto no terminado |
| 1.5 Bar | 50% producto no terminado |
| 2 Bar | Producto terminado, en buenas condiciones |
| 3 Bar | Producto terminado, adherido en las paredes del molde |

Para disponer de los tiempos de soplado adecuados y como resultado un envase bien formado con una velocidad mínima, tiempo de soplado constante y las temperaturas de cada zona pre establecidas. Se varía la presión de soplado ajustando el regulador de presión, en la tabla 6 se observan los resultados.

Tabla 6: Tiempo de Soplado

| Tiempo de soplado (seg) | Observaciones |
|-------------------------|--|
| 0.8 | Formación incompleta, de la boca |
| 1 | Formación casi completa de la boca |
| 1.2 | Formación completa, sin adherencia al molde |
| 2 | Formación completa y adherencia al molde |
| 2.8 | Formación completa, se empieza a pegar al molde. |
| 3 | Formación completa, se pega al molde y existe acumulación del plástico en la parte superior del molde. |
| 4 | Formación completa, existe acumulación de plástico en la parte superior del molde |

Para establecer la velocidad máxima del tornillo extrusor, que trabaja en el sistema de moldeo-corte y soplado utilizando los datos recomendados anteriormente. Se gira el potenciómetro variando la frecuencia del variador a diferentes valores, obteniéndose los resultados detallados en la tabla 7.

Tabla 7. Velocidad máxima del tornillo

| Temperatura (°C) | Presión (Bar) | Velocidad (RPM) | Tiempo (s) | Observaciones |
|------------------|---------------|-----------------|------------|---|
| 100 | 2 | 105 | 2 | Se obtiene el producto con mayor desperdicio de material. |
| 120 | 2 | 105 | 2 | Se obtiene el producto con mayor desperdicio de material. |
| 140 | 2 | 105 | 2 | Se obtiene el producto con mayor desperdicio de material. |
| 160 | 2 | 105 | 2 | Se obtiene el producto con mayor desperdicio de material. |
| 180 | 2 | 105 | 2 | Se obtiene el producto con mayor desperdicio de material. |
| 200 | 2 | 105 | 2 | Se obtiene el producto con mayor desperdicio de material. |

5. CONCLUSIONES

- El proceso de diseño del prototipo para la máquina sopladora de plástico, considero los requerimientos iniciales del usuario, como base para determinar las características del sistema y analizar el comportamiento de los componentes mecánicos, eléctricos y neumáticos que conforman la sopladora. Lo que permitió llegar a la selección de la máquina de moldeo por soplado de extrusión continua, con una presión de soplado óptima de 2 bar, con un tiempo de soplado de dos segundos.
- Para obtener la velocidad adecuada en la producción de envases de polietileno se acopló al tornillo extrusor un motor de 1750 RPM, un reductor de velocidades conjuntamente con un sistema de bandas y poleas, un variador de frecuencia para alcanzar una velocidad de 105 RPM.
- En las pruebas realizadas a diferentes valores de temperatura, presión, tiempo de soplado y frecuencia, se obtuvo como resultado que a mayor temperatura la manga de plástico (parison) se vuelve muy blanda, a una presión de soplado inferior de 1 Bar y un tiempo inferior a 2 segundos el envase utilizado como muestra (racimo de uva) no obtendrá la forma deseada y finalmente al aumentar la frecuencia del variador mayor a 40Hz se obtendrá el producto con mayor desperdicio del material.

REFERENCIAS

- [1]Askeland, D. R., Fulay, P. P., & Wright, W. J. (2010). The Science and Engineering of Materials. Australia: Sexta Edición.
- [2]Holman, J. (1986). Transferencia de Calor. México, D. F.: Continental.
- [3]Crawford, R. (1998). Plastics Engineering. London: 3ra Edición.
- [4]Riba, C. (2002). Diseño Concurrente. Barcelona: Centro de Publicaciones del Campus Nord.
- [5]Lafleur Pierre, G., & Vergnes, B. (2014). Polymer Extrusion. Great Britain and the United States.
- [6]Stevens, M. J., & Covas, J. (1995). Extruder Principles and Operation 2da Edición. Braga, Portugal: Chapman & Hall.

BIOGRAFÍA



1 Ernesto Santillán M., nació en Riobamba. Ingeniero Mecánico de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo - Ecuador, Máster en Dirección de Empresas Mención Proyectos, Egresado en el programa de Maestría de Diseño Producción y Automatización Industrial en la Escuela Politécnica Nacional, Docente tiempo parcial en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE en la ciudad de Latacunga desde el 2010. Consultor Individual en proyectos de desarrollo e inversión.



2. Mario Jiménez L, nació en Salcedo. Ingeniero en Electromecánica en la Escuela Politécnica del Ejército - Ecuador. Máster en Energías Renovables en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE,

Docente tiempo completo en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga desde 1987



3 Xavier Masapanta A. Nació en Latacunga el 18 de Diciembre de 1986. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga donde obtuvo el título de Ingeniero en Electromecánica en el 2015.



4 Esteban Gavilanes V. Nació en Ambato el 18 de agosto de 1985. Realizó sus estudios secundarios en el Instituto Tecnológico Docente Guayaquil obteniendo título de Bachiller Técnico en Electrónica. Sus estudios Superiores los realizó en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga donde obtuvo el título de Ingeniero en Electromecánica en el 2015

Registro de publicación:

| | |
|--------------------|-------------------|
| Fecha de recepción | 27 de julio 2015 |
| Fecha aceptación | 14 diciembre 2015 |

ENERGÍA Y MECÁNICA INNOVACIÓN Y FUTURO
No. 4 Vol. 1 / 2015 (13) ISSN 1390 - 7395 (1/13)



METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE LA ESTRUCTURA METÁLICA DE SOPORTE PARA UN SISTEMA INDUSTRIAL ELEVADOR DE CARGA

METHODOLOGY FOR THE DESIGN OF METAL SUPPORT STRUCTURE FOR AN INDUSTRIAL SYSTEM FORKLIFT

¹Felipe Javier Manjarres Arias, ²Luis Francisco Bustamante Sarabia
Universidad de Fuerzas Armadas ESPE - Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica, Quijano y Ordoñez y Marques de Maenza s/n.
E-mail: ¹fmanjarres@espe.edu.ec, ²lusbustamante1407@gmail.com

Energía Mecánica Innovación y Futuro, IV Edición 2015, No.2 (13)

RESUMEN

El trabajo plantea una metodología aplicable al diseño, selección de elementos mecánicos y construcción, de una estructura metálica para un sistema elevador industrial.

Se utiliza el diseño asistido por computadora en las siguientes etapas: generación de la geometría de la estructura mediante el software AutoCAD Structural Detailing; Análisis y selección de perfiles a través del paquete Risa Technologies y el Análisis por elementos finitos empleando el software ANSYS INC., que permite la verificación de la resistencia a vibraciones mecánicas así como pandeo.

Se obtienen conclusiones de aporte ingenieril para generar mejoras en los procesos de diseño y construcción de ascensores industriales.

Palabras clave: Elevador, cerámica, CAD, estructura, ascensor, CAE.

ABSTRACT

The work presents a methodology applicable to the design, selection of mechanical elements and construction, of a metallic structure for an industrial lift system.

Computer assisted design in the following steps is used: generating the geometry of the structure by Structural Detailing AutoCAD software; Analysis and selection of profiles through the pack and Risa Technologies Finite element analysis using ANSYS software INC., Which allows the verification of resistance to mechanical vibration and buckling.

Conclusions obtained engineering input to generate improvements in the processes of design and construction of industrial lifts.

Keywords: Elevator, ceramics, CAD, structure, lift, CAE.

1. INTRODUCCIÓN

El método propuesto, se basa en el despliegue de la función de calidad QFD (quality function deployment) que es un método globalizado, cuyo objetivo principal es asegurar que en la definición de la función de un producto o servicio se consideren las necesidades y requerimientos de los usuarios (o, la voz del usuario), a la vez es una herramienta para la planificación de la calidad durante el ciclo de vida de un producto. Consiste en un proceso estructurado que permite traducir los requerimientos y deseos de los usuarios en requerimientos técnicos de ingeniería en cada fase del diseño y de la fabricación.

El método parte de las necesidades y requerimientos del cliente, las mismas que son transformadas en características técnicas para posteriormente seleccionar y otorgar la mejor solución al problema.

Se ha identificado la forma de mejorar la eficiencia en la producción al implementar un sistema elevador de carga, pues de esta manera se reduce el tiempo empleado para transportar los productos a través de las escaleras y, por otro lado, se puede reemplazar el número de obreros destinados a un trabajo específico.

Se establece eliminar el exceso de tiempo perdido para un proceso, en el cual está involucrado: levantar cargas externas por parte de un trabajador y posteriormente transportar hacia pisos de diferente altura por motivos de logística, lo cual genera bajas en la productividad empresarial e igual sitúa en riesgo la seguridad laboral del obrero; incluso da origen a problemas a largo plazo por lesiones laborales permanentes que pueden causarse por la errónea manipulación de pesos.



Figura 1. Herramienta de la casa de la calidad

En la figura 2 se hace énfasis en la herramienta de la casa de la calidad, en la que se analiza los requerimientos de los clientes o "voz del usuario" y las características técnicas o "voz del ingeniero".

Se determina las especificaciones técnicas y se procede a realizar el análisis funcional [2] El análisis funcional de un producto o sistema y la elaboración de la estructura funcional es un primer paso para establecer su estructura modular (la mayor parte de diseñadores realizan estos procesos sin formalizarlos), a partir de combinar las diversas funciones en módulos, de forma que se alcancen los siguientes dos objetivos prioritarios: Agrupar las funciones en módulos, establecer interfaces adecuadas entre módulos.

Mediante el análisis funcional, se establece la función primaria y la secundaria, para posteriormente y mediante el método de criterios ponderados establecer y seleccionar la mejor solución; en el presente caso para la geometría de diseño de la estructura metálica y el sistema elevador de carga.

Se establece la solución para la geometría del diseño, se procede a la selección de los materiales, para lo cual se realizan los cálculos de diseño mecánico, dando así a conocer las propiedades físicas que se debe cumplir en la adquisición de los

elementos. Estos cálculos son verificados mediante la asistencia del software RISA Technologies versión académica. Posterior se realiza el dibujo tridimensional de la estructura con ayuda del software Autocad Structural Detailing en su versión académica y finalmente la simulación por el método de elementos finito, con el software ANSYS Inc. versión académica.

En la simulación por elementos finitos se determina que el factor de seguridad y el factor de vibración mecánica cumplen con el requerimiento de seguridad y de diseño.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se inicia el proceso de diseño de la estructura metálica, referenciándose en los resultados obtenidos mediante la herramienta casa de la calidad, en la Tabla 1, se detallan los requerimientos (voz del usuario) y la Tabla 2 los requerimientos técnicos (voz del ingeniero), mostrados de mayor a menor importancia.

Tabla 1. Voz del usuario

| Requerimiento | Importancia |
|-------------------------------|-------------|
| Que funcione bien | 5 |
| Que sea barato | 4 |
| Que sea fuerte | 3 |
| Que sea adaptable al edificio | 2 |
| Que sea bonito | 1 |

Tabla 2. Voz del ingeniero

| Requerimiento | Importancia |
|--------------------|-------------|
| Fiable y Funcional | 3 |
| Antisísmico | 5 |
| Bajo costo | 4 |
| Resistente | 3 |
| Ergonómico | 2 |
| Estético | 1 |

Se ha facilitado el trabajo dividiendo el sistema en tres módulos: en el primero se calcula los

parámetros de ingeniería para la estructura metálica, en el segundo se analiza el mecanismo de ascenso, descenso del sistema elevador y en el tercero se diseña el control eléctrico.

En la Tabla 3, 4 y 5, se presentan los resultados de los requerimientos técnicos de cada módulo.

Tabla 3. Requerimientos de diseño de la estructura metálica

| Requerimiento | Detalle |
|-----------------------|---|
| Altura | 11 metros |
| Carga útil máxima | 29,4 kN |
| Carga útil de trabajo | 14,7 kN |
| Resistencia | Esfuerzos axiales y esfuerzos de compresión |
| Seguridad | Arrostramientos Chevron en V |
| Durabilidad | Límite de fluencia mínima 250 MPa, límite de rotura 410 MPa |
| Mantenimiento | Revisión cada 6 meses |
| Calidad | ASTM A 36 - INEN |

Tabla 4. Requerimientos técnicos del mecanismo de ascenso y descenso

| Requerimiento | Detalle |
|--------------------|--|
| Capacidad de carga | Soportar 9,8 kN |
| Costo | Disminuir hasta 50% al aplicar un contrapeso |
| Velocidad | 0,7 m/s |
| Seguridad | Factor de seguridad 2 |
| Potencia | Motorreductor 5 Hp |
| Soportes | Rodamientos cilindricos |
| Vida útil | Mayor a 60000 ciclos de trabajo |
| Sujeción | Cables de acero, grilletes, guardacabos |

Tabla 5. Requerimientos técnicos control eléctrico

| Requerimiento | Detalle |
|--------------------|--|
| Capacidad de carga | Soportar 9,8 kN |
| Costo | Disminuir hasta 50% al aplicar un contrapeso |
| Velocidad | 0,7 m/s |
| Seguridad | Factor de seguridad 2 |
| Potencia | Motorreductor 5 Hp |

Al conocer los requerimientos técnicos del sistema,

se presenta una propuesta de metodología para el diseño de un sistema ascensor industrial:

- Realizar la construcción de dos prismas rectangulares, un primario para el recorrido de la cabina y un secundario para el recorrido del contrapeso.
- Implementar un sistema de cable - polea de arrastre, lo cual reemplazará el uso de un tambor de bobinado de cable.
- Diseñar una geometría capaz de soportar la carga de trabajo (carga viva), cargas muertas así como movimientos sísmicos.

Para el mecanismo de ascenso y descenso:

- Seleccionar un motorreductor para mejorar la curva de eficiencia de velocidad versus torque.
- Calcular las dimensiones adecuadas del cable de acero para soportar la carga de trabajo requerida.
- Escoger los rodamientos adecuados para todos los tipos de cargas generadas por el elevador.
- Reducir el valor de la potencia de consumo en el motor mediante el uso de un contrapeso.

Para el control eléctrico:

- Reemplazar el uso de un variador de frecuencia por la caja reductora de velocidad.
- Implementar la instalación de sensores y botones que permitan la adecuada maniobra del sistema.

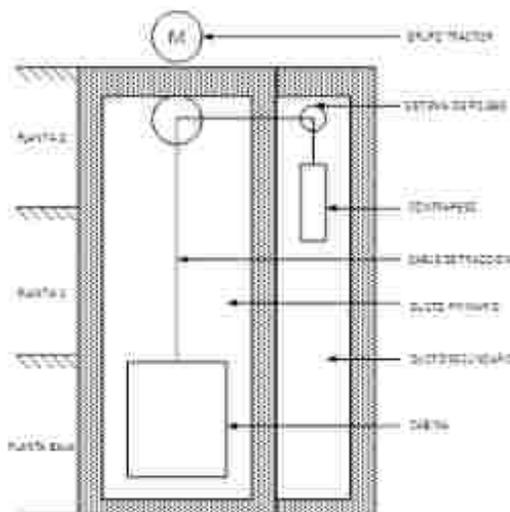


Figura 2. Propuesta de solución para el sistema elevador

Una vez establecidos los parámetros de ingeniería que se busca como objetivos de diseño, se procede a generar la geometría propuesta como solución, la figura 3 muestra la vista de planta, en la que se establece el área de trabajo junto con la asignación de perfiles recomendados para columnas.

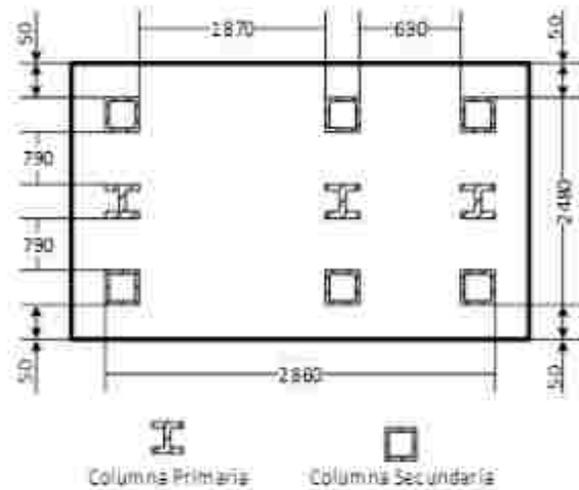


Figura 3. Área de trabajo para cimentación del sistema ascensor

Para determinar el perfil que se va a emplear en la construcción de la estructura se realiza los siguientes cálculos mostrados desde la ecuación 1:

$$C_{total} = C_{viva} + C_{muerta} \quad \text{Ec. 1}$$

$$C_{total} = 190[Kg] + 4500[Kg]$$

$$C_{total} = 6400[Kg]$$

$$P_{total} = C_{total} \cdot 8 \quad \text{Ec. 2}$$

$$P_{total} = 6400[Kg] \cdot 9,8 \left[\frac{m}{s^2} \right]$$

Se ha tomado en cuenta que existen tres columnas primarias y tres columnas secundarias, para el análisis se considera el peso total distribuido entre las columnas primarias, cada una con 12 metros de largo.

$$P_{distribuida} = \frac{P_{total}}{3 \text{ columnas primarias}} \quad \text{Ec. 3}$$

$$P_{distribuida} = 20,91[kN]$$

Cálculo de la longitud efectiva

[3] Se realiza el cálculo de la longitud efectiva, con toma el valor de la constante $K=0,65$ (relación de esbeltez) recomendada para columnas empotradas en ambos extremos, y se aplica el siguiente cálculo:

$$L_e = K.L \quad \text{Ec. 4}$$

$$L_e = 0,65.12[m]$$

$$L_e = 7,8[m]$$

Cálculo del radio de giro de la sección transversal

[4] Para aplicar la ecuación del radio de giro se necesita obtener el momento de inercia de la sección transversal, tanto para la columna primaria como para la columna secundaria.

Sección transversal del tubo estructural

$$I_{yy} = \frac{H^4 - h^4}{12} \quad \text{Ec. 5}$$

Sección transversal del perfil HEB:

$$I_{yy} = \frac{BH^3 - bh^3}{12} \quad \text{Ec. 6}$$

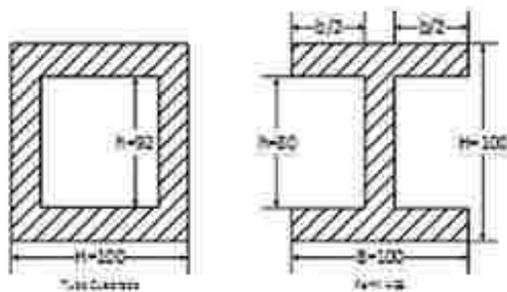


Figura 4. Sección transversal de perfiles

Se selecciona un tubo cuadrado para la estructura, se requiere determinar la sección transversal, el área y el radio de giro.

Sección transversal del tubo cuadrado 100 x 100 x 4 [mm]:

$$I_{yy} = \frac{H^4 - h^4}{12} \quad \text{Ec. 5}$$

$$I_{yy} = \frac{100^4 [mm^4] - 92^4 [mm^4]}{12}$$

$$I_{yy} = 2363392,00 [mm^4] \cdot \frac{1^4 [cm^4]}{10^4 [mm^4]}$$

$$I_{yy} = 236,3392 [cm^4]$$

Área del tubo cuadrado 100 x 100 x 4 [mm]:

$$A = B^2 - b^2 \quad \text{Ec. 8}$$

$$A = 100^2 [mm^2] - 92^2 [mm^2]$$

$$A = 1536 [mm^2] \cdot \frac{1^2 [cm^2]}{10^2 [mm^2]}$$

$$A = 15,36 [cm^2]$$

Radio de giro del tubo cuadrado 100 x 100 x 4 [mm]:

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad \text{Ec. 9}$$

$$r = \sqrt{\frac{236,339 [cm^4]}{15,36 [cm^2]}}$$

$$r = 3,922 [cm]$$

Se determina la sección transversal, el área y el radio de giro para el perfil estructural HEB seleccionado:

Sección transversal del perfil estructural HEB:

$$I = \frac{BH^3 - bh^3}{12} \quad \text{Ec. 6}$$

$$I = \frac{100 [mm] \cdot 100^3 [mm^3] - 94 [mm] \cdot 80^3 [mm^3]}{12}$$

$$I = 4,3227 [mm^4] \cdot \frac{1^4 [cm^4]}{10^4 [mm^4]}$$

$$I = 432,27 [cm^4]$$

ENERGÍA Y MECÁNICA INNOVACIÓN Y FUTURO
No. 4 Vol. 1 / 2015 (13) ISSN 1390 - 7395 (2/13)

Área del perfil estructural HEB:

$$A = BH - bh \quad \text{Ec. 10}$$

$$A = 100[\text{mm}] \cdot 100[\text{mm}] - 94[\text{mm}] \cdot 80[\text{mm}]$$

$$A = 2480[\text{mm}^2] \cdot \frac{1^2[\text{cm}^2]}{10^2[\text{mm}^2]}$$

$$A = 24,80[\text{cm}^2]$$

Radio de giro del perfil estructural HEB:

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad \text{Ec. 9}$$

$$r = \sqrt{\frac{432,27[\text{cm}^4]}{24,80[\text{cm}^2]}}$$

$$r = 4,1749[\text{cm}]$$

Cálculo de la carga crítica

[5] Las propiedades mecánicas del acero ASTM A500 son: módulo de elasticidad 207 [GPa], resistencia a la fluencia 228 [Mpa].

Carga crítica para el tubo estructural cuadrado 100 x 100 x4 [mm]:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{(Le)^2} \quad \text{Ec. 11}$$

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot 207[\text{GPa}] \cdot 2,3634 \times 10^{-6}[\text{m}^4]}{7,8^2[\text{m}^2]}$$

$$P_{cr} = 79,363[\text{kN}]$$

Carga estructural para el perfil HEB:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{(Le)^2} \quad \text{Ec. 11}$$

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot 207[\text{GPa}] \cdot 4,3227 \times 10^{-5}[\text{m}^4]}{7,8^2[\text{m}^2]}$$

$$P_{cr} = 145,1563[\text{kN}]$$

Cálculo de la carga admisible

Se aplica la ecuación siguiente:

Carga admisible para tubo estructural cuadrado de 100 x 100 x4 [mm]:

$$P_a = \frac{P_{cr}}{fs} \quad \text{Ec. 12}$$

$$P_a = \frac{79,363[\text{kN}]}{2}$$

$$P_a = 39,6815[\text{kN}]$$

Carga admisible para perfil estructural HEB:

$$P_a = \frac{P_{cr}}{fs}$$

$$P_a = \frac{145,1563[\text{kN}]}{2}$$

$$P_a = 72,5782[\text{kN}]$$

El valor de la carga admisible se considera como carga crítica en la columna, con este valor se calcula el esfuerzo normal:

Esfuerzo normal para el tubo estructural cuadrado de 100 x 100 x4 [mm]:

$$\sigma = \frac{P_a}{A} \quad \text{Ec. 13}$$

$$\sigma = \frac{39,6815[\text{kN}]}{1,536 \times 10^{-3}[\text{m}^2]}$$

$$\sigma = 25,8343[\text{MPa}]$$

Esfuerzo normal para el perfil HEB:

$$\sigma = \frac{P_a}{A} \quad \text{Ec. 13}$$

$$\sigma = \frac{72,5782[\text{kN}]}{2,48 \times 10^{-3}[\text{m}^2]}$$

$$\sigma = 29,2654[\text{MPa}]$$

Comparación del peso distribuido con la carga admisible de la columna

El peso distribuido se considera también como la carga real aplicada, por lo cual, si el valor del peso

distribuido es menor al valor de la carga admisible, la columna no corre riesgo de pandeo.

Tubo estructural cuadrado 100x100x4

$$P_{distribuido} < P_{admisible} \quad \text{Ec. 14}$$

$$20,91[kN] < 39,6815[kN]$$

Perfil estructural HEB 100

$$P_{distribuido} < P_{admisible}$$

$$20,91[kN] < 72,5782[kN]$$

Para los dos casos, la columna primaria y la columna secundaria cumplen con la resistencia necesaria para el soporte del peso admisible, descartando la posibilidad de que se pueda pandear el perfil.

Se selecciona la dimensión de los demás perfiles, desarrollando un proceso similar, la tabla 6 contiene la selección realizada para los distintos perfiles que van a ser empleados en la construcción de la cabina.

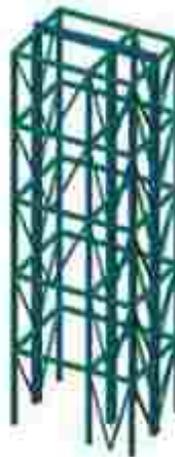


Figura 5. Solución a la geometría de la estructura

Mediante asistencia computacional, se verifican los perfiles seleccionados, que cumplan con el factor de diseño requerido de 2 a 3, con el software Risa Technology 3D, versión académica, se comprueba la relación de esbeltez, con los valores de la referencia [6] establecidos en la tabla 6.

Tabla 6. Valor máximo para relación de esbeltez

| Miembros a compresión | $KL/r < 300$ |
|--|--------------|
| Miembros a tensión | $KL/r < 240$ |
| Arrostramientos y miembros secundarios | $KL/r < 300$ |
| Que sea fuerte | 3 |

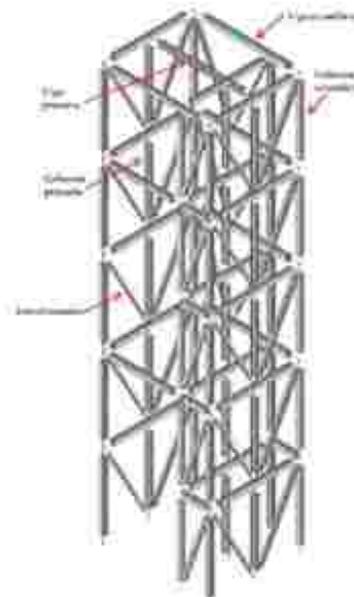


Figura 6. Geometría previa de la estructura, definida con la asistencia del software RISA 3D.

3. EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS

Elaborada la geometría de la estructura, se procede a realizar la experimentación con los perfiles disponibles en el mercado, para lo cual en la tabla 7 se establece los valores que se obtienen con la simulación en el software.

Tabla 7. Resultados de las iteraciones efectuadas para determinar el perfil de sección adecuado

| Perfil | Relación de esbeltez |
|---------------------------|----------------------|
| Columna principal | |
| HEB 80 | 198,98 |
| HEB 100 | 78,915 |
| HEB 140 | 55,345 |
| Viga principal | |
| HEB 80 | >200 |
| HEB 100 | 73,785 |
| HEB 140 | 32,345 |
| Columna secundaria | |
| HEB 80 | 178,456 |
| HEB 100 | 51,778 |
| HEB 140 | 32,657 |
| Arrostramientos | |
| HEB 80 | >200 |
| HEB 100 | 153,816 |
| HEB 140 | 102,456 |

[7] Con los valores obtenidos del análisis y de las simulaciones, se selecciona el perfil HEB 100 para vigas principales, el tubo estructural cuadrado 100 x 100 x 4 [mm] para las vigas secundarias y un perfil angular 75 X 75 X 5 [mm], cuyos valores de relación de esbeltez se muestran en la tabla 8.

Tabla 8. Valores de los perfiles seleccionados.

| Posición | Resultado (KL/r) |
|--------------------|------------------|
| Viga principal | 73,785 |
| Columna secundaria | 51,778 |
| Columna principal | 78,915 |
| Arrostramientos | 153,816 |

Con la asistencia de ANSYS versión 16, realiza el análisis por el método de elementos finitos, para determinar el factor de seguridad estático y el factor dinámico por vibraciones mecánicas, para garantizar seguridad en la estructura.

C: Static Structural
Static Structural
Time: 1 s
03/01/2016 10:45

- Remote Force: -14700 N
- Remote Force: -14700 N
- Remote Force: -14700 N
- Fixed Support

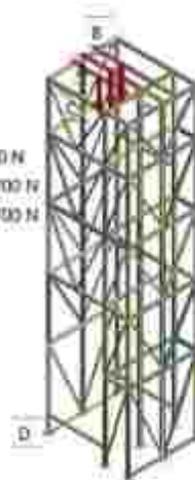


Figura 7. Deformación total al aplicar una frecuencia máxima referencial de vibración de 20 Hz. (recomendado para este tipo de estructuras).

Se aplican fuerzas puntuales a cada viga principal, las que respectivamente representan: la carga de trabajo, el peso de la cabina, el peso del grupo tractor; se obtiene el valor de 2,03 para el factor de seguridad, se aprueba el diseño.

C: Static Structural
Safety Factor
Type: Safety Factor
Time: 1
03/01/2016 11:05

- 15 Max
- 10
- 2,0315 Min
- 0



Figura 8. Factor de seguridad general de la estructura.

Se verifica la deformación por vibración mecánica obteniéndose un valor de 0,0032 metros como máximo valor.

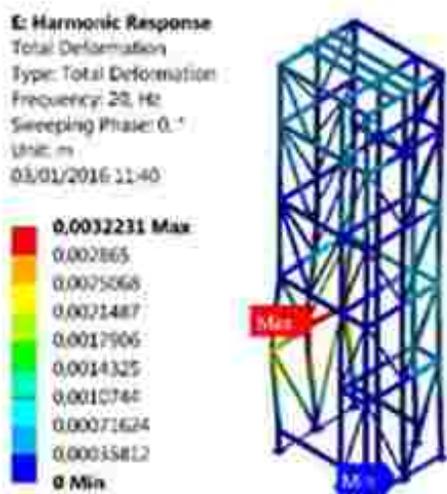


Figura 9. Deformación total al aplicar una frecuencia de vibración de 20 Hz.

Se desarrolla un proceso de diseño y verificación similar para la estructura de la cabina del ascensor.

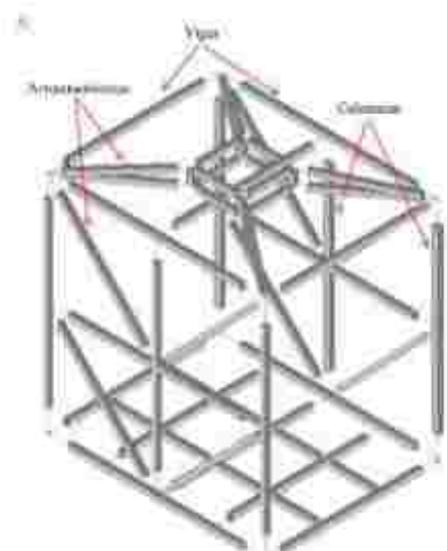


Figura 10. Geometría de la cabina del ascensor, elaborada en Risa 3D.

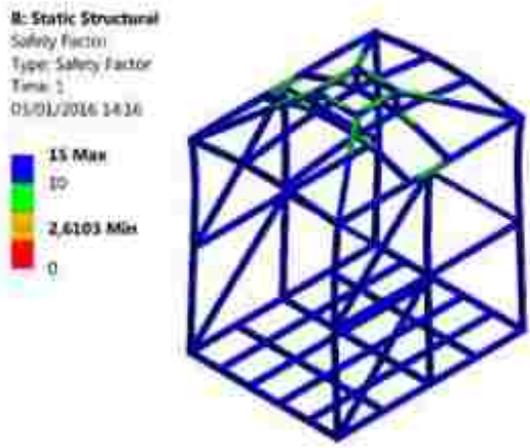


Figura 11. Resultado del factor de diseño en la cabina del ascensor

Se realiza el análisis estructural en el software Ansys para determinar el factor de seguridad de la cabina.

La figura 11 indica el resultado obtenido para el factor de seguridad de la cabina, siendo 2,6 un valor aceptable en ingeniería estructural, para garantizar la seguridad de la geometría diseñada.

Tabla 10. Resultados de las simulaciones efectuadas en el proceso de diseño.

| Tubo estructural cuadrado 50 x 50 x 3 | KL/r < 200 |
|--|------------------|
| Posición | Resultado (KL/r) |
| Vigas | 53,057 |
| Columnas | 115,213 |
| Arrostramientos | 80,365 |

Los elementos de máquina requeridos para el trabajo del sistema dinámico del ascensor se seleccionaron en función a las cargas determinadas según el cálculo estático, tomando en cuenta la voz del ingeniero.

En el caso del diseño del control eléctrico se considera las condiciones de funcionamiento del sistema, se realiza el cálculo y la selección de elementos eléctricos tomando en cuenta principalmente sus costos y disponibilidad en el mercado ecuatoriano.

ENERGÍA Y MECÁNICA INNOVACIÓN Y FUTURO
 No. 4 Vol. 1 / 2015 (13) ISSN 1390 - 7395 (2/13)



Figura 11. Objeto de diseño finalizado

4. CONCLUSIONES

- El despliegue de la función de la calidad permite interpretar ingenierilmente las necesidades del cliente y revalidarlas con las posibilidades técnicas del ingeniero.
- Generar un método que convine la creatividad del ingeniero, la asistencia computacional y el análisis matemático, resulta idóneo para esta época en la que la productividad es lo más deseado en las empresas de diseño.
- En Ecuador no se cuenta con materiales de ingeniería estructural que permita efectuar un cálculo iterativo más amplio para mejorar el deseo del cliente sobre todo en lo que a costos y durabilidad se refiere.
- La asistencia computacional no tiene la última palabra en el diseño estructural, se deberá tomar muy en cuenta el criterio ingenieril, así también los cálculos manuales.
- Del diseño dependen los planos de taller y de detalle que representan la posibilidad de materializar el diseño, de tal manera

que la asistencia computacional contribuye notablemente a la generación automatizada de la documentación técnica requerida.

- Se desarrollo una metodología exitosa, que realizó sinergia entre el diseño computacional, el diseño analítico y la calidad total.

REFERENCIAS

- [1] Carles Riba y Romeva, "Diseño Concurrente". Barcelona: Departamento de Ingeniería Mecánica UPC.
- [2] Tassinari Robert, "El producto adecuado". Barcelona: Marcombo Boixareu S.A.
- [3] McCormac Jack, "Diseño de Estructuras de Acero". México: Alfaomega Grupo Editor.
- [4] Marks, "Manual del Ingeniero Mecánico". México: McGraw Hill.
- [5] American Society for Testing and Materials.
- [6] R. C. Hibbeler, "Mecánica de materiales". México: Pearson Educación.
- [7] IPAC, "Catalogo de Perfiles Disponibles en el Mercado". Ecuador: Duferco Group.

BIOGRAFÍA



J. Manjarrés Arias Félix Javier, nació en Guayaquil – Ecuador, es Tecnólogo en Mecánica de Aviación, Ingeniero Automotriz, Ingeniero Industrial, Máster en Gestión de Empresas mención PYMES, Egresado en la Escuela Politécnica Nacional del

Ecuador, en el programa de Diseño, Producción y Automatización Industrial. Docente tiempo parcial en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE en la ciudad de Latacunga desde el 2010. Consultor de proyectos en el área de Ingeniería Industrial y Mecánica Email: javier.manjarrés@gmail.com.



2 Bustamante Sarabia Luis Francisco, nació en Latacunga - Ecuador, Egresado en la Escuela Politécnica del Ejército Sede Latacunga. Brinda servicios de asesoría y realización de proyectos técnicos. E-mail:

luisbustamante1407@gmail.com

Registro de publicación:

| | |
|--------------------|-------------------|
| Fecha de recepción | 25 de agosto 2015 |
| Fecha aceptación | 18 noviembre 2015 |

ENERGÍA Y MECÁNICA INNOVACIÓN Y FUTURO
 No. 4 Vol. 1 / 2015 (13) ISSN 1390 - 7395 (2/13)

ESTUDIO REOMÉTRICO DE LA REVERSIBILIDAD Y LOS TIEMPOS DE FRAGUADO EN CEMENTOS PORTLAND Y PUZOLÁNICOS

RHEOMETRIC STUDY OF REVERSIBILITY AND SETTING TIMES OF PORTLAND AND POZZOLAN CEMENT

¹Lenin Abatta, ²Christian Narváez, ³Luis Carrión, ⁴Reinaldo Delgado, ⁵Alexander Ibarra

¹⁻⁵ Universidad de Fuerzas Armadas ESPE – Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica, Sangolquí

E-mail: ¹rabatta@espe.edu.ec, ²cnarvaez1@espe.edu.ec, ³lucarrion1@espe.edu.ec, ⁴rrdelgado1@espe.edu.ec, ⁵asibarra@espe.edu.ec

Energía Mecánica Innovación y Futuro, IV Edición 2015, No.3 (13)

RESUMEN

Considerar el hormigón fresco como un fluido no newtoniano es una manera muy útil de conseguir avances en el campo de la ingeniería. El presente artículo presenta una comparación, utilizando métodos reométricos, de la reversibilidad y el tiempo de fraguado de un cemento Portland español y un cemento Pozolánico ecuatoriano Lafarge. Los resultados apuntan a una diferencia en los tiempos de fraguado.

Palabras Clave: Hormigón, fluido no newtoniano, reología, cemento.

ABSTRACT

Consider the fresh concrete as a non-Newtonian fluid is a useful way to make progress in the field of engineering. This article presents a comparison, using rheometric methods of reversibility and the setting times, of a Spanish Portland cement and Lafarge pozzolan cement from Ecuador. The results show a difference in the setting times.

Keywords: concrete, non-Newtonian fluid, rheology, cement.

1. INTRODUCCIÓN

Está bien establecido que el concreto es el material más comúnmente utilizado en la construcción. Existe una gran variedad de cementos que forman parte de la formulación del concreto. Entre ellos, están los Portland y los Puzolánicos. Estos tipos de cementos se diferencian porque estos últimos contienen polvo de piedra pómez (PPP), que es un material natural que proviene de las erupciones volcánicas.

En Ecuador existe una gran cantidad de este material debido a la actividad volcánica durante los últimos 3000 años. Cítese como ejemplo la actividad volcánica frecuente del Tungurahua. Consecuentemente es una buena estrategia aumentar la cantidad de PPP en la composición del cemento ecuatoriano manteniendo sus propiedades mecánicas, contribuyendo a generar cemento de bajo costo [3], reduciendo el impacto medioambiental.

Se ha demostrado que la presencia de PPP inhibe la corrosión de las barras de refuerzo de acero embebidas debido a la mayor densificación de la matriz de pasta de cemento por la acción puzolánica en las mezclas de hormigón PPP [4].

El rendimiento óptimo en las estructuras de hormigón requiere de una colocación cuidadosa y buena consolidación del hormigón fresco. En el estado fresco el comportamiento mecánico del hormigón se determina mediante el uso de métodos reométricos.

Considerar el hormigón fresco como un fluido no newtoniano es una manera muy útil de conseguir avances en el campo de la ingeniería civil [1] [2] [4].

En consecuencia, como un primer paso en el estudio de la reología de hormigón PPP se ha estudiado el comportamiento reológico de pastas de cemento / PPP frescas.

2. PARTE EXPERIMENTAL

Para este estudio se utilizó el cemento Armaduro de Lafarge Cementos S.A., Ecuador, según la Norma INEN 490, cuya composición química y propiedades físicas de la PPP se muestran en la Tabla 1, y un cemento II/AV 42.5R Portland de fabricación española que se muestra en la Tabla 2. En el procedimiento se utilizó agua destilada para preparar las pastas de cemento. Al menos tres muestras de la misma mezcla se ensayaron con el fin de obtener resultados reproducibles. El protocolo de mezcla consistía en añadir el agua en el polvo de cemento y mezclar durante 300s a 75 rpm con un mezclador RZR 2102 (Heidolph Instruments, Alemania).

Se utilizó un reómetro DHR (TA Instruments, EE.UU.) para recopilar los datos reológicos. Este dispositivo está equipado con una placa Peltier para el control de la temperatura. Cada experimento se realizó sobre una muestra nueva a $25,00 \pm 0,05$ °C. Se utilizó geometría placa-placa (25 mm de diámetro y 1 mm de espesor de muestra).

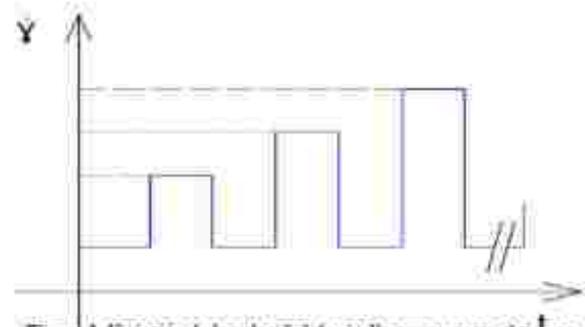


Figura 1. Variación de la velocidad de cizalla con respecto al tiempo.

El procedimiento de toma de datos para comparar la reversibilidad entre los dos tipos de cementos es el mostrado en la Figura 1.

El procedimiento de toma de datos para comparar el tiempo de fraguado consiste en aplicar una cizalla continua, tal como se muestra en la Figura 2.



Figura 2. Cizalla continua con respecto al tiempo.

Con este procedimiento se determina el tiempo necesario para que la pasta de cemento empiece a fraguar mediante la observación de la variación de la viscosidad con respecto al tiempo.

Debido a la evolución química justo después del contacto entre el cemento y el agua, es necesario desarrollar un protocolo experimental adecuado que minimiza el impacto de la hidratación en el comportamiento reológico de los materiales.

Tabla 1. Características del cemento pozzolánico Lafarge-Asmadoro

| Composición química | |
|--|--------------------------|
| Piedra | Pómez |
| % | |
| Silica (SiO ₂) | 64.6 |
| Alúmina (Al ₂ O ₃) | 15.3 |
| Óxido férrico (Fe ₂ O ₃) | 3.4 |
| SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃ | 83.3 (mín. ASTM 618 70%) |
| Óxido de calcio (CaO) | 8.3 |
| Magnesia (MgO) | 1.6 |

| | | |
|---------------------------------------|-------------------------|-----|
| Trióxido de azufre (SO ₃) | 0.0 | |
| Óxido sódico (Na ₂ O) | 3.1 | |
| Óxido potásico (K ₂ O) | 1.4 | |
| Óxido de titanio (TiO ₂) | 0.4 | |
| Pérdida por ignición | 1.5 (máx. ASTM 618 10%) | |
| Propiedades físicas | | |
| Densidad, kg/m ³ | 787* | --- |

Tabla 2. Características del cemento Portland II/AV 42.5R

| Composición química | | |
|---|-------------------------|-----|
| % | | |
| Silica (SiO ₂) | 24.81 | |
| Alúmina (Al ₂ O ₃) | 6.51 | |
| Óxido férrico (Fe ₂ O ₃) | 3.81 | |
| Óxido de calcio (CaO) | 58.73 | |
| Magnesia (MgO) | 0.16 | |
| Trióxido de azufre (SO ₃) | 3.07 | |
| Óxido sódico (Na ₂ O) | 0.27 | |
| Óxido potásico (K ₂ O) | 1.4 | |
| Óxido de titanio (TiO ₂) | 0.4 | |
| Pérdida por ignición | 1.5 (máx. ASTM 618 10%) | |
| Propiedades físicas | | |
| Densidad, kg/m ³ | 1070+20 | --- |

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Reversibilidad. Se ha realizado un análisis y comparación de reversibilidad de las muestras (pasta de cemento portland y puzolánico), hasta una velocidad de 200 s⁻¹. Este límite está justificado por los valores típicos de velocidad de cizalla correspondientes a las aplicaciones usuales del hormigón, tal como se muestra en la Figura 3.

Se observa en la Figura 3, que la velocidad máxima de aplicación del hormigón es aproximadamente 80 s⁻¹, sin embargo se hicieron mediciones con velocidades de hasta 200 s⁻¹ para comparar resultados con el cemento español, al cual se le aplicó el mismo tipo de ensayo en la Universidad de Málaga [5]. En aquel caso se obtuvo el resultado mostrado en la Figura 4.

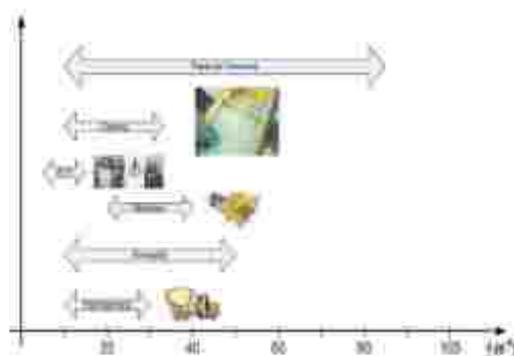


Figura 3. Rango de velocidades de cizalla a los que se ve sometido el hormigón.

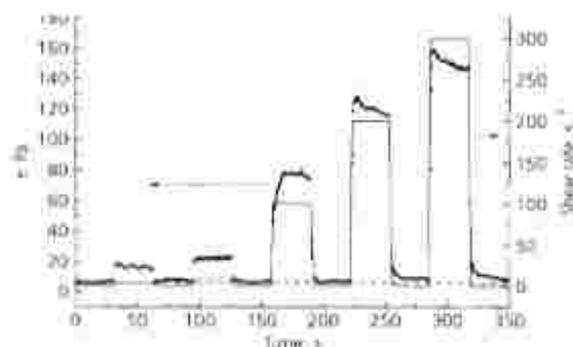


Figura 4. Prueba de reversibilidad: Pasta de cemento II/AV 42.5R-España [5].

Los datos obtenidos en el laboratorio de reología de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, con el uso del reómetro DHR para el análisis del cemento de Lafarge, se muestran en la Figura 5.

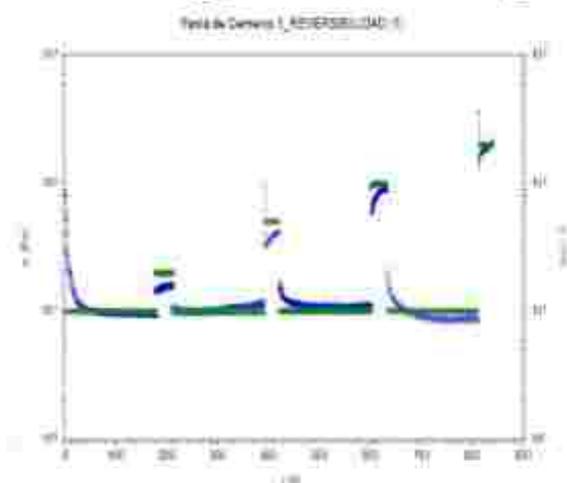


Figura 5. Perfiles de reversibilidad Pasta de Cemento Lafarge Armadura - Ecuador.

Tal como se observa en las Figuras 4 y 5 ambas pastas de cemento son reversibles hasta los 300 s⁻¹. Por lo tanto podemos afirmar que dentro de estos valores no hay problemas de segregación en los respectivos hormigones.

Tiempo de fraguado. El resultado correspondiente al cemento Portland español es el mostrado en la Figura 6.

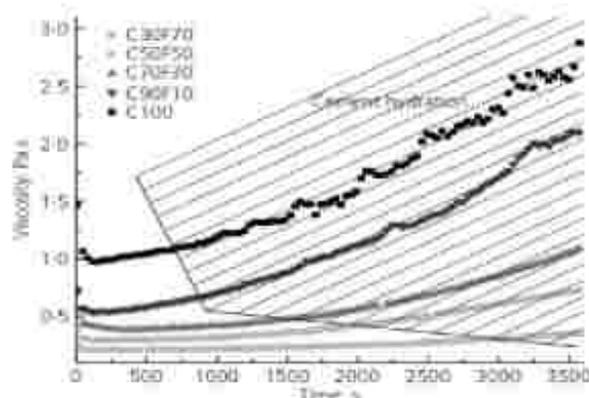


Figura 6. Tiempo de fraguado C100 Pasta de cemento II/AV 42.5R-España [Rubio Hernández y col. 2013].

Se observa que el C100 (pasta de cemento Portland), presenta un tiempo aproximado de fraguado de 12 minutos, mientras que al

analizar la pasta de cemento puzolánico de Lafarge, el tiempo de fraguado supera las dos horas, tal como se muestra en la Figura 7.

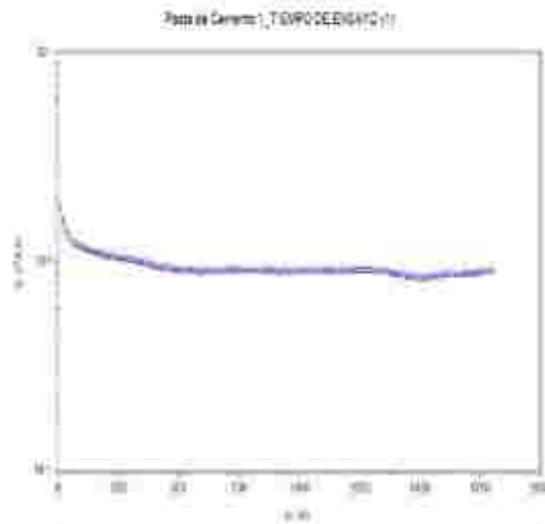


Figura 7. Tiempo de fraguado Pasta de cemento Lafarge – Ecuador

4. CONCLUSIONES

Las pastas de cemento son reversibles hasta los 200 s-1. Dentro de estos valores no hay problemas de segregación en el cemento portland ni el cemento puzolánico, es decir que no existe separación de los agregados.

El tiempo promedio de fraguado del cemento II/AV 42.5R-España es de 12 minutos aproximadamente, mientras que el cemento puzolánico de Lafarge – Ecuador supera las dos horas.

REFERENCIAS

- [1] Farris RJ. Prediction of the viscosity of multi modal suspensions from viscosity data. Transactions of the society of rheology 12 (1968) 281–301.
- [2] Ferraris C. Concrete Rheology: What is it and why do we need it. Proc. of the 1st Int. Symp. On Design, Performance and Use of SCC – SCC'2005. China, May 26-28 2005, Changsha, Hunan, China pp. 229-236.

- [3] Hossain K.M.A. Properties of volcanic pumice based cement and lightweight concrete. Cement and Concrete Research 34 (2004) 283-291.
- [4] Hossain K.M.A. Chloride induced corrosion of reinforcement in volcanic ash and pumice based blended concrete. Cement & Concrete Composites 27 (2005) 381-390.
- [5] Rubio-Hernández F.J., Cerezo-Aizpún I., Velázquez-Navarro J.F. Mineral additives geometry influence in cement pastes flow. Advances in Cement Research 23 (2011) 55-60.
- [6] Rubio-Hernández F.J., Morales-Alcalde J.M., Gómez-Merino A.I. Limestone filler/cement ratio effect on the flow behavior of a SCC cement paste. Advances in Cement Research 25 (2013) 262-272.

BIOGRAFÍA

- 1 Lenin Abatta, Ingeniero Mecánico, Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE, Asistente de Investigación del Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica de la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE.
- 2 Christian Narváez, Máster en Ingeniería Aeroespacial, Universidad de Manchester, Docente Tiempo Completo del Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica de la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE.
- 3 Luis Carrión, Máster en Ciencias de la Ingeniería Mecánica, Universidad Federal de Río de Janeiro, Docente Tiempo Completo del Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica de la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE.
- 4 Reinaldo Delgado, Doctor en Ciencias de la Ingeniería, Universidad Politécnica Estatal de San Petersburgo, Docente Tiempo Completo, del Departamento de Ciencias de la Energía y

Mecánica de la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE.

5 Alexander Ibarra, Magister en Energías Renovables, Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE, Docente Tiempo Completo, del Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica de la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE.

Registro de publicación:

| | |
|--------------------|-------------------|
| Fecha de recepción | 22 de julio 2015 |
| Fecha aceptación | 05 noviembre 2015 |

ANÁLISIS ESTRUCTURAL COMPUTACIONAL DE LA CARROCERÍA DE UN MINIBUS ESCOLAR EN IMPACTO LATERAL POR VOLCAMIENTO

COMPUTATIONAL STRUCTURAL ANALYSIS OF A SCHOOL MINIBUS BODY ON ROLLOVER SIDE IMPACT

¹Afilon Marjo Brito Palma, ²Andrés Marcelo Gordón Garces, ³Patricia Nataly Constante Procel,

¹Carrocerías Varma S.A., Sector Lungus – Iramba, Ambato, Ecuador ^{2,3} Universidad de Fuerzas Armadas ESPE – Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica, Quijano y Ordóñez y Marques de Maenza s/n

E-mail: ¹mbrito@varma.com.ec, ²amgordon@espe.edu.ec, ³pnconstante@espe.edu.ec

Energía Mecánica Innovación y Futuro, IV Edición 2015, No.4 (13)

RESUMEN

El presente artículo expone una propuesta de investigación para analizar el comportamiento de los componentes estructurales de un minibus escolar cuando existe impacto lateral producto de un volcamiento (prueba de vuelco), el cual ha sido analizado por el método computacional de simulación por elementos finitos, empleando la aplicación LS-DYNA en un evento dinámico no lineal de volteo de una estructura de minibus para comprobar que no se invade el espacio de supervivencia de las persona que se encuentran dentro de la misma una vez que ha finalizado el impacto; además se busca obtener esfuerzos y deformaciones máximas en el transcurso del evento dinámico con la finalidad de encontrar los puntos críticos y posibles fallas que presenta el material para luego proponer una optimización estructural.

El presente análisis se realiza en base a normativas nacionales e internacionales que permiten conocer parámetros establecidos para este tipo de ensayo.

Palabras Clave: Prueba de vuelco, impacto en buses, resistencia de superestructura, análisis por el método de elementos finitos.

ABSTRACT

The present article exposes an investigation approach to test the behavior of the structural components of a school minibus when exists a side impact because of a rollover (rollover test), which has been analyzed by a computational method of simulation by finite elements, using LS-DYNA application in a non-linear dynamic event for the rollover of a minibus structure and prove that residual space is not invaded for the people who are inside the bus when the impact occurs; also one of the most important objectives is obtain maximum stress and deformations during the event to find critical points and possible material failures and then propose a structural optimization. The present analysis is performed based on national and international regulations that allow knowing the standard parameters established for

this type of test.

Keywords: Rollover test, bus crash, superstructure resistance, finite element analysis method.

1. INTRODUCCIÓN

Un elevado número de incidentes vehiculares ocurren cada año causando muertes y daños severos a los pasajeros: 3665 incidentes vehiculares en el primer trimestre del 2015 [1]; este problema puede ser reducido si se brinda la atención adecuada a la prevención de daños haciendo a los vehículos más seguros. Entre los diversos tipos de impactos vehiculares, los volcamientos son frecuentemente muy severos y amenazadores para los ocupantes del vehículo [2]. Además debido a la creciente producción y demanda de autobuses para transporte de personas de diferentes instituciones tanto públicas y privadas, las empresas fabricantes de carrocerías tienen la obligación de realizar ensayos a las estructuras y demás componentes que conforman un bus para comprobar su buen funcionamiento y evaluar la resistencia de la carrocería con el fin de salvaguardar la vida de las personas, por esta razón se deben hacer estudios avanzados de ingeniería basados en normas nacionales e internacionales, analizando el comportamiento dinámico cuando el autobús experimenta una colisión.

Los accidentes por volcamiento dependen de la estabilidad del vehículo cuando gira, la misma depende de la altura del centro de gravedad y el ancho del camino; un centro de gravedad elevado y una vía estrecha pueden dar inestabilidad al vehículo cuando toma una curva a alta velocidad dando como resultado un accidente por volcamiento. Un vehículo puede volcarse debido a algunos factores como velocidad excesiva en curvas, colisión con otro vehículo u objeto, cambios bruscos en la dirección a alta velocidad [2].

Las pruebas de simulación se han ido mejorando

con el fin de tener un análisis más rápido y barato del comportamiento de buses durante un impacto por volcamiento [3]. Con el incremento en capacidad computacional del hardware moderno, las herramientas de la Ingeniería Asistida por Computador (CAE) son usadas esencialmente para evaluar y mejorar varios aspectos del diseño del vehículo como seguridad, confort, y durabilidad [4].

El artículo ha sido estructurado de la siguiente manera: Fundamentación teórica, Análisis estructural, resultados y conclusiones

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Para el diseño, fabricación, montaje y análisis estructural de carrocerías se debe considerar algunas definiciones generales que se encuentran detallados en la norma técnica ecuatoriana INEN 1323:2009 [5].

Carga Muerta (M).- Corresponde al peso total de la carrocería incluyendo todos los elementos estructurales y no estructurales permanentes, este dato se puede obtener directamente del software empleado para modelación [5].

Espacio de supervivencia.- Volumen que se encuentra en el compartimento de ocupantes, comprendido entre el plano frontal y posterior, definido al mover el plano transversal vertical a través de la longitud del vehículo pasando por cada uno de los puntos SR (seat reference), el mismo que se encuentra a 500 mm por encima del piso en cada uno de los asientos (figura 1).

Resistencia de la estructura.- Las carrocerías de buses deben cumplir las siguientes condiciones [5] en cuanto a resistencia de su estructura:

- Debe resistir una carga estática sobre el techo, equivalente al cincuenta por ciento

(50%) del peso máximo admisible para el chasis, distribuido uniformemente a lo largo del mismo, sin experimentar deformaciones en ningún punto, que superen los setenta milímetros.

– Durante el ensayo de resistencia de la estructura o una vez finalizado el mismo, la estructura de la carrocería debe resistir para que el espacio de supervivencia no resulte invadido según el alcance del documento Regulation 66 de las Naciones Unidas [6].

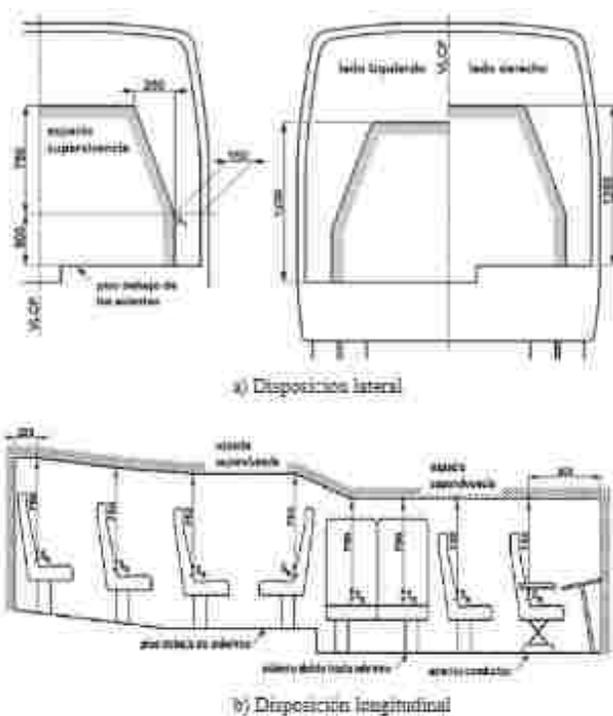


Figura 1. Espacio de supervivencia [6]

Prueba de vuelco.- Consiste en un ensayo de inclinación lateral especificado de la siguiente forma:

- El vehículo completo se posiciona sobre la plataforma inclinada con suspensión bloqueada y es lentamente girado hacia su posición de equilibrio inestable (figura 2).
- La prueba de vuelco comienza en esta posición con velocidad angular cero y el eje de rotación pasa a través del punto de contacto entre el piso y el neumático.

- El vehículo es volcado en el interior de una zanja, la misma que tiene una superficie horizontal, seca y lisa con una profundidad nominal de 800 milímetros [6] [7].

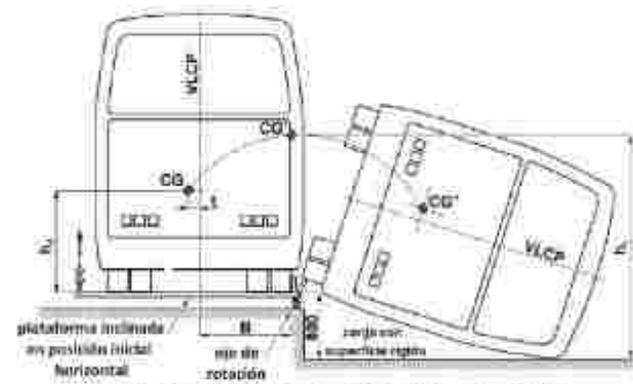


Figura 2. Diagrama del proceso de prueba de vuelco. [6]

3. ANÁLISIS ESTRUCTURAL

El proceso inicia con la selección del chasis a carrozar para luego continuar con el modelado de la estructura tridimensional (3D) mediante el uso de un software de diseño asistido por computador (CAD); para el análisis estructural se emplea la herramienta computacional especializada que permita importar un modelo CAD previamente realizado, discretizar en elementos finitos independientes, agregar condiciones de borde, resolver el método numérico, analizar los resultados obtenidos, para por último determinar si la estructura requiere un rediseño o redimensionamiento.

El diagrama de flujo para análisis estructural de la carrocería de un minibús en volcamiento se observa en la figura 3.

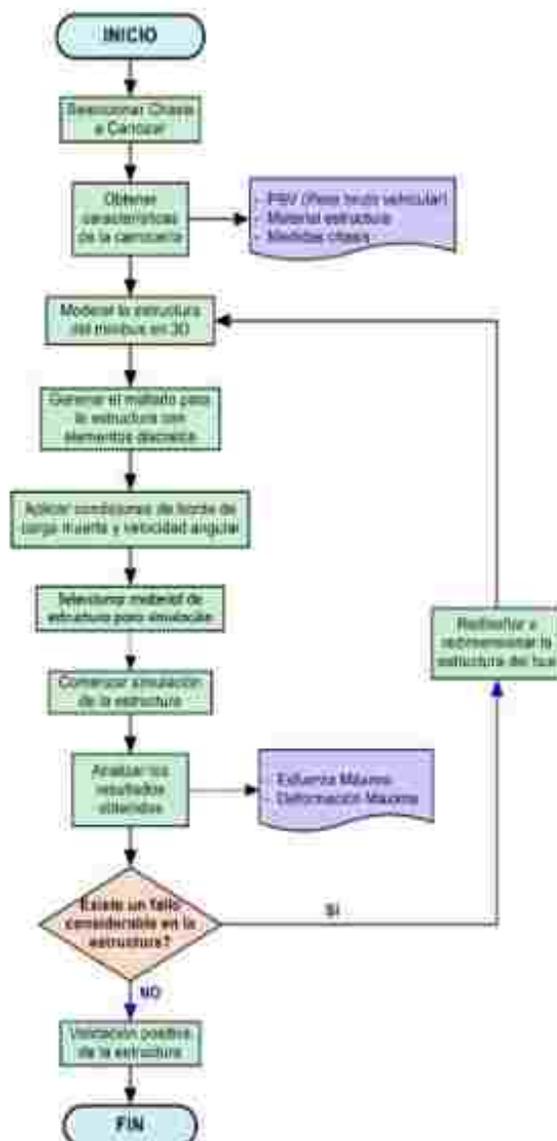


Figura 3. Diagrama de flujo del proceso CAD/CAE.

La tabla 1 muestra las características generales del chasis para el minibus escolar.

Tabla 1. Características del chasis

| | |
|--------------------------------|-----------------------|
| Marca del chasis | Volkswagen 10 150 |
| Tipo de servicio | Escolar/institucional |
| Peso bruto vehicular | 9200 Kg |
| Capacidad de carga eje frontal | 3200 Kg |
| Capacidad de carga eje trasero | 6000 Kg |
| Peso de chasis (TARA) | 2550 Kg |
| Relación peso/potencia | 56,2 |

La figura 4, presenta las dimensiones del chasis objeto de estudio.

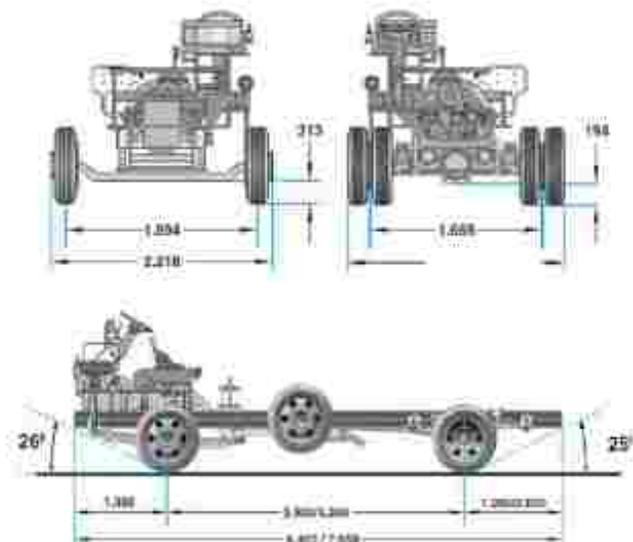


Figura 4. Dimensiones del Chasis

3.1 Modelado.

La estructura para el minibus se modela con el programa de diseño asistido por computador SpaceClaim, dentro del cual se utilizan geometrías de tipo Shell con la finalidad de alivianar el gasto computacional al momento de simular con LS-DYNA. La superestructura es colocada en la posición de la figura 5, lo cual simula el vehículo milisegundos antes que esté en contacto con el piso.

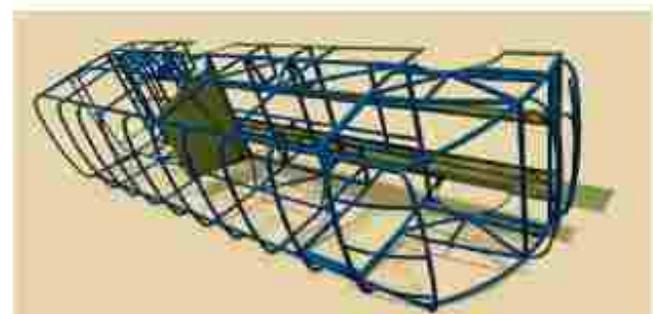


Figura 5. Modelado 3D de la estructura del minibus.

3.2 Mallado

El mallado generado en Ansys Workbench LS-DYNA tiene en su gran mayoría elementos discretos con geometría cuadriláteras homogéneas tipo Shell lo cual garantiza un modelo matemático eficiente para que la solución converja empleando

un gasto computacional razonable y obtener resultados precisos con poco tiempo de simulación. En la figura 6 se observa la malla de la superestructura con 98078 nodos y 97321 elementos.

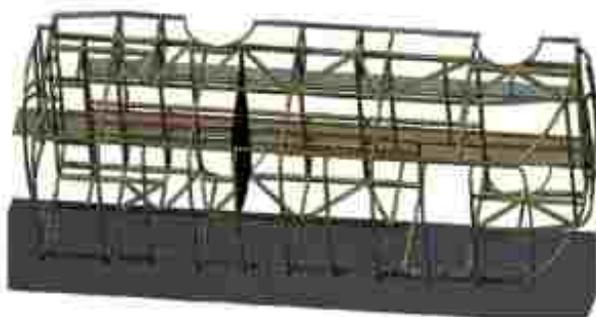


Figura 6. Malla en Ansys Workbench LS-DYNA.

3.3 Condiciones de Borde

Para la simulación del volcamiento de la superestructura se consideran dos condiciones de borde; la primera consiste en la carga muerta en donde se consideran todos los componentes del autobús tanto como carrocería y chasis, la segunda condición de borde es la velocidad angular producida por el giro del autobús.

Cálculo de la carga muerta:

$$F = m_T \cdot g \quad \text{Ec. 1}$$

$$F = 9200 \text{ Kg} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$F = 90160 \text{ N}$$

Velocidad angular considerada:

$$W = 0,1 \text{ rad/s} \quad \text{Ec. 2}$$

3.4 Material

El material empleado para la simulación es acero al carbono de grado D y E con propiedades no lineales específicos en el software para este tipo de simulación dinámica no lineal, lo cual hace que se produzca una re-cálculo en un periodo de ciclos para obtener datos reales en la simulación.

3.5 Hourglassing

Dentro del análisis, al emplear elementos tipo Shell y Solid se debe prestar especial atención al modelado ya que puede producir elementos discretos que produzcan modos de energía cero, lo cual resulta en estados matemáticos que no son físicamente posible; un adecuado refinamiento y calidad de malla evitan el efecto Hourglassing.

3.6 Simulación

Para la simulación se utilizó un procesador Intel Inside Core i7 con 32 Gb de memoria RAM; el tiempo calculado por el software para la simulación es de 22 horas aproximadamente para 150 milisegundos con las condiciones de borde anteriormente expuestas, además proporcionando sujeciones fijas al piso y a la rampa de volteo.

4. RESULTADOS

En la figura 7 se tiene que el esfuerzo máximo es de 341.06 MPa.

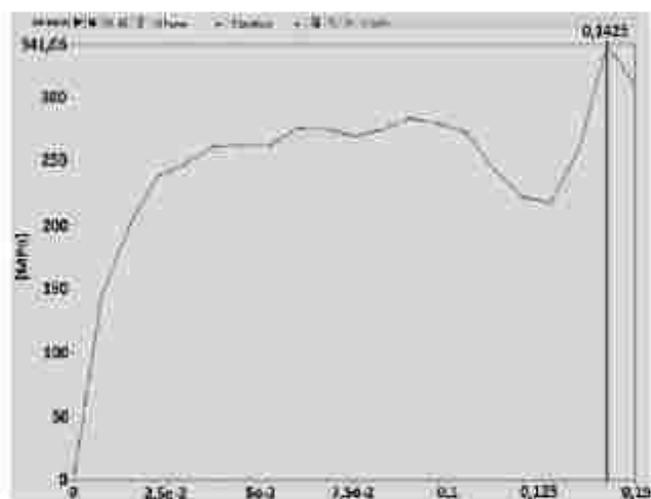


Figura 7. Gráfico Esfuerzo (MPa) vs. Tiempo de Simulación (mseg).

En la figura 8, se puede observar los resultados obtenidos con respecto a esfuerzos efectivos; para un tiempo de 0, 0.09 y 0.15 segundos.

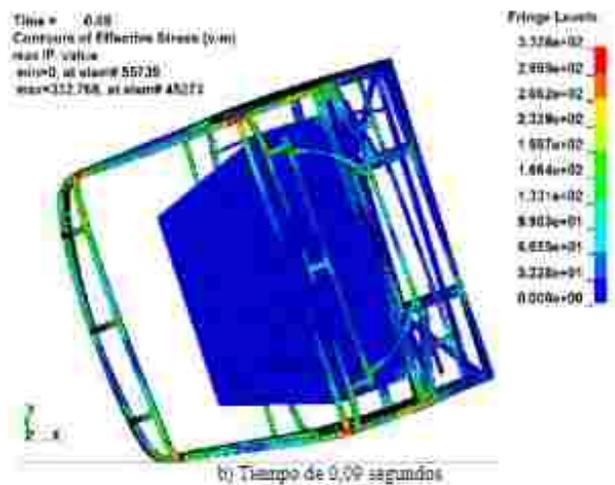
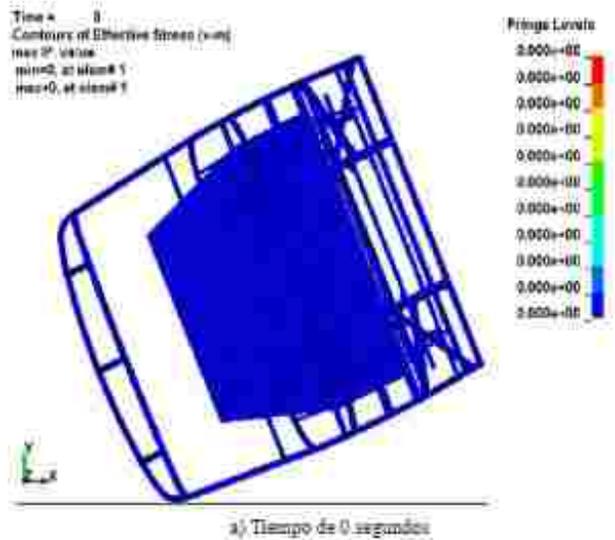


Figura 8. Resultados de esfuerzo efectivo en vista frontal

En la figura 9 se puede observar los resultados obtenidos con respecto a deformación máxima

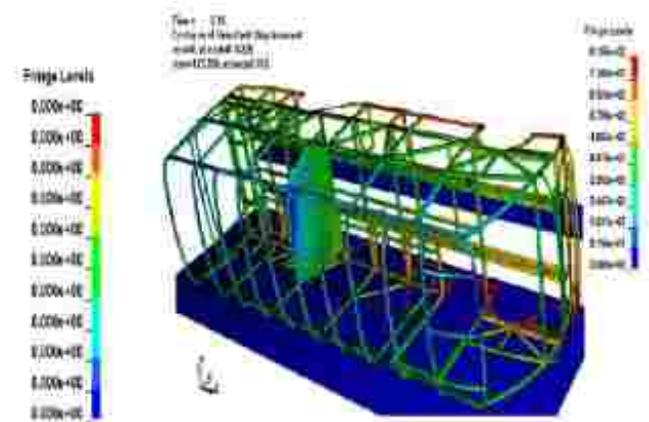


Figura 9. Resultados de deformación mixtura en vista isométrica

Con los resultados anteriormente obtenidos se puede analizar el comportamiento de la estructura y saber si la deformación de la misma invade el espacio de supervivencia. La deformación que se considera para el análisis es aquella que se encuentra de color verde en la escala con un valor de 50 cm (figura 10).

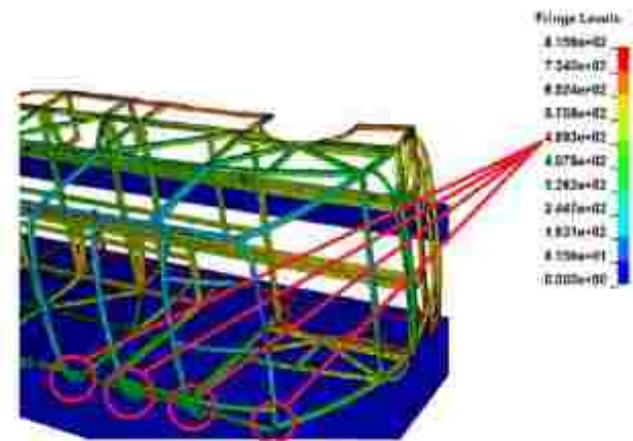


Figura 10. Deformación de 50 cm en estructura

El espacio de supervivencia tiene una altura de 1250 mm; la altura de la estructura desde el piso del bus es de 2190 mm. La diferencia de las dos medidas da como resultado 940 mm; esto implica que la deformación no debe ser mayor a este último valor.

Debido a que no se invade el espacio de supervivencia la estructura no necesita ningún tipo de optimización en su material o dimensiones.

ENERGÍA Y MECÁNICA INNOVACIÓN Y FUTURO
No. 4 Vol. 1 / 2015 (13) ISSN 1390 - 7395 (4/13)

5. CONCLUSIONES

Finalizado el desarrollo del presente artículo de investigación, se pone en consideración las siguientes conclusiones con el propósito de que se constituyan en un referente y fuente de consulta por parte de profesionales relacionados al área.

- La simulación del volcamiento para un minibus permite ahorrar tiempo y dinero al no realizar el ensayo físico del mismo; en esta investigación se validó positivamente el diseño de la estructura al comprobar que no se invade el espacio de supervivencia de las personas durante el impacto.
- Para el análisis de vuelco se eliminaron algunos miembros estructurales del modelo CAD (previamente analizando la importancia estructural de los mismos) con el fin de reducir el tiempo de simulación, lo cual indica que este ensayo es un estudio crítico en el cual los resultados obtenidos vendrían a ser los máximos que puede experimentar la estructura en este ensayo.
- Para el análisis se utilizaron miembros de tipo Shell los cuales son elementos teóricamente homogéneos con secciones cuadradas y rectangulares. Los espesores especificados para cada miembro son de 2 y 3 mm. En estructuras reales de carrocerías se evidencian fallas como: elementos no homogéneos con cortes, ranuras, perforaciones entre otras, que se dan inevitablemente en la construcción de carrocerías por esta razón se debe tener estas consideraciones antes de tomar cualquier decisión de optimización estructural.
- Este ensayo de prueba de vuelco es una simulación muy básica de seguridad, por esta razón es importante la investigación de impactos suscitados en la automoción para proponer nuevos reglamentos, los cuales deben ser obligatorios para todas las

empresas fabricantes de carrocerías de buses en los cuales se simule y se compruebe la resistencia de autobuses en choques frontales, laterales, posteriores, resistencia estructurales de asientos, resistencia de cinturones de seguridad, colisiones de maniquis de pruebas (biomecánica), implementación de elementos de seguridad (airbag), entre otros. Todos estos ensayos con el fin de salvaguardar las vidas de las personas.

REFERENCIAS

- [1] El Telégrafo (14 de julio del 2015), "536 muertes por accidentes de tránsito en el primer trimestre de 2015" [En línea]. Disponible en: <http://telegrafo.com.ec/noticias/informacion-general/item/muertes-por-accidentes-de-transito-se-redujeron-un-1572-en-lo-que-va-de-2015.html>. [Último acceso: 2015 agosto 10].
- [2] Belsare V., Pathak Ch. y Kulkarni M. (Octubre del 2012), "Rollover Analysis of Passenger Bus as per AIS-031", Inda: Department of Mechanical Engineering, University of Pune, Maharashtra.
- [3] Micu A., Lozsa M. y Fratila G. (s.f.), "Experimental Test and Computer Simulation Research on Rollover Impact of a Bus Structure", Automotive Engineering Department, University POLITEHNICA of Bucharest, Romania.
- [4] Srinivasulu T., (s.f.), "Bus Rollover Simulation using Body Sections in Radioss", Chennai, India: Ashok Leyland Technical Center.
- [5] Instituto Ecuatoriano de Normalización (2009), "NTE INEN 1323-2009 Primera Revisión: Vehículos Automotores. Carrocerías de Buses.

Requisitos”, Quito – Ecuador.

[6] United Nations (Febrero 22, 2006.), “Regulation No. 66: Uniform Technical Prescriptions Concerning the Approval of Large Passenger Vehicles with Regard to the Strength of their Superstructure”.

[7] Deslumukhi P. y Babasaheb A. (Diciembre del 2006), “Rollover and Roof Crush Analysis of Low – Floor Mass Transit Bus”, Department of Mechanical Engineering, Wichita State University.



3 Patricia Constante, Maestría en Diseño Producción y Automatización Industrial, Ingeniera en Mecatrónica, Técnico Docente del Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica de la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE.

| Registro de publicación: | |
|--------------------------|-------------------|
| Fecha de recepción | 15 de julio 2015 |
| Fecha aceptación | 28 noviembre 2015 |

BIOGRAFÍA



1 Milton Brito, Ingeniero Automotriz de la Escuela Politécnica del Ejército Sede Latacunga. Jefe de Diseño y Producción Carrocerías Varma S.A.



2 Andrés Gordón, Maestría en Diseño Producción y Automatización Industrial, Ingeniero en Mecatrónica, Técnico Docente del Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica de la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE.

ENERGÍA Y MECÁNICA INNOVACIÓN Y FUTURO
 No. 4 Vol. 1 / 2015 (13) ISSN 1390 - 7395 (4/13)

CONSTRUCCIÓN DE UN SENSOR DE CONDUCTIVIDAD CON TECNOLOGÍA ABIERTA

THE CONSTRUCTION OF AN OPEN SOURCE BASED CONDUCTIVITY SENSOR

David Loza Matovelle,¹ Luis J. Segura,² Xavier Segovia,³ Reza Dahirian,⁴ Edwin Haro Sangoquina^{5,6,7}

^{1,2,3,4} Universidad de las Fuerzas Armadas- ESPE Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

³ Universidad de las Fuerzas Armadas- ESPE Departamento de Ciencias de la Eléctrica y Electrónica

E-mail: ¹dclora@espe.edu.ec, ²lsegura@espe.edu.ec ³xsegovia@ecuagraphics.com.ec, ⁴dahirian@gmail.com, ⁵erharo@espe.edu.ec

Energía Mecánica Innovación y Futuro, IV Edición 2015, No.5 (13)

RESUMEN

Utilizando tecnología abierta y componentes de bajo costo se logró desarrollar un dispositivo capaz de medir la conductividad de muestras líquidas, el cual fue desarrollado utilizando Arduino, impresoras 3D y software libre. El dispositivo desarrollado mide la concentración total de iones libres en la solución electrolítica, utilizando un acondicionamiento de señales, en el cual se introduce una señal sinusoidal de no más de 1kHz de frecuencia y con amplitud no mayor a los 10 voltios. El dispositivo mide la cantidad de voltaje consumido por la resistencia que presenta la solución acuosa. El dispositivo mide unidades de conductividad por área, los mismos que son inversamente proporcionales a la resistividad.

El equipo puede ser aplicado en los laboratorios químicos con un costo varias veces menor que un sensor comercial. Se puede construir el equipo con el conocimiento interdisciplinario de la química, física, mecánica y electrónica a nivel de pregrado.

Palabras Clave: Arduino, Bajo costo, Conductividad, Sensor, Tecnología abierta.

ABSTRACT

By using open and low cost technology components we have developed a device capable of measuring the conductivity of liquid samples. It has been developed using Arduino, 3D printers and free software. The device measures the total concentration of free ions in the electrolytic solution, using a signal conditioning, in which a sinusoidal signal of not more than 1 kHz frequency and amplitude no greater than 10 volts is introduced. It also measures the amount of voltage consumed by the resistance of the aqueous solution and conductivity units per area which are inversely proportional to the resistivity.

The instrument can be used in chemical laboratories at a cost several times less than a commercial sensor. It can be built with interdisciplinary knowledge chemistry, physics, mechanics and

electronics at the undergraduate level.

Keywords: Arduino, Conductivity, Low cost, Open source technology, Sensor.

1. INTRODUCCIÓN

El sensor ha sido diseñado y construido con tecnología abierta. La filosofía de tecnología abierta “open-source” para el desarrollo de dispositivos científicos cuenta con tres componentes fundamentales para su sustento: impresoras 3D, software libre y hardware de bajo costo.

La metodología de creación de instrumentos utilizando la tecnología abierta ha crecido inmensamente en los últimos años a tal punto que en varios lugares del mundo se ha creado laboratorios de investigación científica que utilizan exclusivamente esta filosofía para sus estudios [1], en estos laboratorios se emplea hardware libre como Arduino y Raspberry pi, así como también el software libre.

El concepto de software libre es sencillo, se considera software libre cuando un usuario que ha adquirido el producto tiene la libertad de usarlo, copiarlo, estudiarlo, modificarlo y redistribuirlo de varias formas [2]. Esta tendencia se desarrolló desde los años 80, cuando Richard Stallman formó la compañía Symbolics Inc. que intentaba reemplazar el software libre en lugar del software comercial. Para el año 1982 Stallman funda la organización Free Software Foundation (FSF) e introdujo el concepto de “copyleft”, que permite la libre distribución de copias y versiones modificadas de una obra o trabajo exigiendo que estos derechos se han preservados en las nuevas versiones [3].

La tecnología abierta se fue extendiendo hacia

la electrónica e incluso a la mecánica, de tal manera que ahora podemos encontrar de manera totalmente gratuita en internet modelos de circuitos completamente funcionales así como elementos y conjuntos mecánicos listos para ser impresos o modificados si es necesario.

En el año 2005, Massimo Banzi y David Cuartielles, empezaron el proyecto Arduino, con el objetivo de crear una placa con un microcontrolador de menor costo y de fácil aprendizaje. Ahora la placa Arduino es uno de los hardware libres más difundidos en el mundo. [4]. En el año 2008 se había empezado el proyecto Reprap [5] para la construcción de impresoras 3D totalmente libres. En la actualidad encontramos en internet más de 200 tipos de modelos de impresoras 3D capaces de ajustarse a la necesidad de cada usuario. La tecnología 3D está en un momento en donde los costos son reducidos y en pocos años se ha desarrollado a límites a donde no se imaginaba hace pocos años. El grado en que la tecnología 3D se ha desarrollado con respecto al precio y posibilidades no era imaginable hace unos pocos años.

La tecnología abierta tiene ventajas específicas en la investigación. Entre ellos, permite el desarrollo de procesos que se adapten a las necesidades de cada usuario. Los elementos utilizados en el desarrollo de este instrumento han sido seleccionados tomando en cuenta el costo de los mismos. Se ha utilizado la tecnología de impresión 3D para construir partes estructurales a medida que se ajustan a nuestras necesidades. También, con la utilización de Arduino y de software libre para programar se ha logrado construir un dispositivo “low cost”, de características y calidad de medición similar a un dispositivo comercial, a una fracción del costo.

La conductividad de muestras líquidas como

concepto es la capacidad que tienen las sales orgánicas en solución o electrolitos, para conducir la corriente eléctrica [6]. Los sensores de conductividad se utilizan en una gran variedad de aplicaciones, desde el tratamiento de aguas de consumo o potables hasta el control de productos biofarmacéuticos.

El agua pura prácticamente no conduce la corriente, sin embargo con sales disueltas se convierte en conductor. Esta propiedad es utilizada en varias industrias, entre ellos en el tratamiento de aguas de consumo o potables, puesto que las sales minerales deben estar presentes en ciertas cantidades para cumplir recomendaciones de sanidad. También, con el sensor se pueden medir las sales que se consumen. Por ejemplo, el zinc, el selenio y el cobre intervienen en el funcionamiento del sistema inmunológico. De tal manera que el dispositivo diseñado constituye una herramienta con utilidad para el campo biofarmacéutico.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para la construcción del dispositivo se utilizó una pantalla líquida, una placa Arduino Uno y un sensor de temperatura. Los electrodos deberán tener un área (A) determinada y deberán estar separadas una longitud (l) determinada, puesto que con estos valores se calcula la constante de la celda de conductividad, según Ec. 1.

$$K = \frac{l}{A + \Delta A} \quad \text{Ec. 1}$$

El esquema de la celda de conductividad se encuentra en la figura 1.

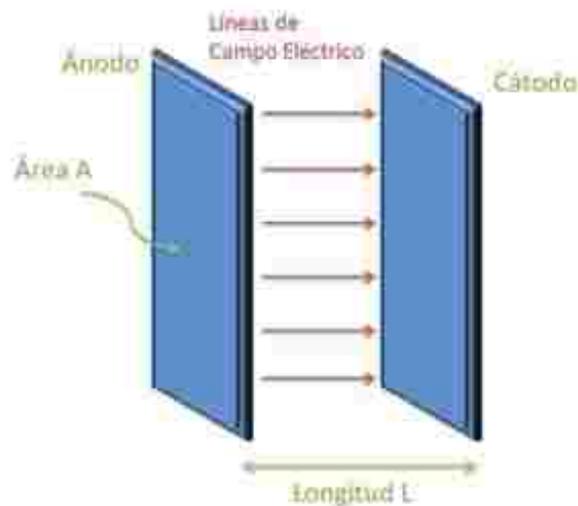


Figura 1. Celda de conductividad.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El sensor se construyó utilizando dos electrodos de cobre. La conexión de los electrodos se lo realizó a un puente de Wheatstone. El puente está conectado a una fuente de corriente alterna, con una amplitud de 12 voltios y una frecuencia de 60Hz. La fuente de corriente alterna es un transformador con una relación 10:1, obteniendo 12 voltios a 60Hz. Las etapas de acondicionamiento, de rectificación y de amplificación se encuentran conectadas como se muestra en la figura 2.

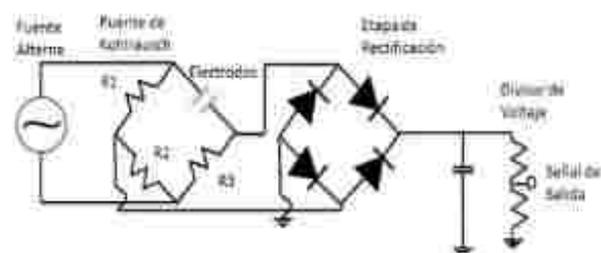


Figura 2. Etapas de acondicionamiento, rectificación y amplificación.

Para poder medir la cantidad de voltaje consumido por la solución electrolítica se dispuso de una etapa de rectificación, utilizando un puente de diodos. La cantidad de voltaje absorbido por la solución es pequeña, por lo tanto se adaptó una etapa de amplificación para la señal ya rectificada.

Se utilizó una impresora 3D para construir la estructura del porta-sensor, como se puede observar en la figura 3. El porta-sensor está diseñado de tal manera que los electrodos de metal se suspenden en la muestra líquida por completo para la medición de la conductividad. Se diseñó el porta-sensor de tal manera que la tapa del mismo es de fácil remoción, facilitando de esta forma el reemplazo de los electrodos y el sensor de temperatura si fuese necesario.

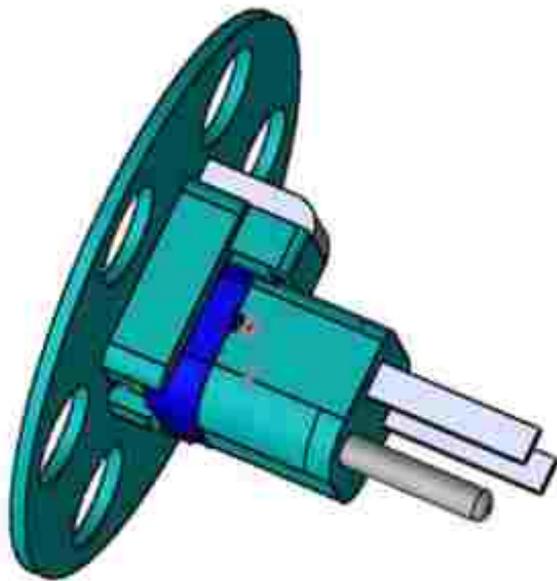


Figura 3. Ensamblaje del porta-sensor.

La programación se la realizó en el lenguaje "wiring" que es propio de Arduino y en el caso del sensor de temperatura utiliza una librería como fuente para realizar la medición de la misma [7].

Las mediciones establecidas como patrones para la cantidad de sales disueltas en los medios líquidos se encuentran establecidas para una temperatura de 25°C. Razón por la cual en el dispositivo desarrollado nació la necesidad de implementar un sensor de temperatura que pueda introducirse en medios líquidos. El sensor de temperatura utilizado es un sensor-DS18B20 [8].

Las conexiones electrónicas que se realizaron desde el porta-sensor hasta el acondicionamiento

de la señal para el dispositivo se pueden ver en la figura 4. La conductividad obtenida por el sensor se mide en unidades de micro-siemens por centímetro ($\mu\text{S}/\text{cm}$), que es la unidad inversa de la resistividad, los resultados de la medición se ven expresados en el LCD.

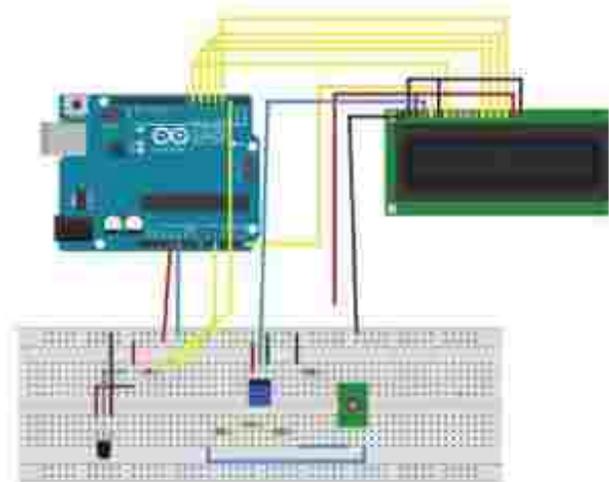


Figura 4. Conexiones electrónicas.

El instrumento ensamblado se muestra en la figura 5, en la cual se puede observar los electrodos y el sensor de temperatura montados en la estructura diseñada. También se ve la caja donde se encuentra el acondicionamiento de la señal, la fuente de voltaje sinusoidal y el microcontrolador Arduino Uno.



Figura 5. Instrumento finalizado con porta-sensor.

El proceso de calibración se lo realizó empleando un sensor comercial (HACH HQ40D). Las muestras empleadas fueron soluciones calibradas de agua destilada, enjuague bucal y diluciones de estos. Los datos de las muestras con sus respectivos valores de conductividad se encuentra en la tabla 1.

Tabla 1. Datos de calibración

| CONDUCTIVIDAD ($\mu\text{s}/\text{cm}$) | VOLTAJE (V) |
|--|----------------|
| 335 | 0.034 |
| 410 | 1.440 |
| 481 | 1.5820 |
| 572 | 1.709 |
| 712 | 1.709 |
| 764 | 1.904 |
| 1438 | 2.129 |

De la tabla 1 se obtiene el comportamiento del sensor. Mediante un ajuste se llegó a obtener una ecuación polinómica de tercer grado; la misma que se encuentra mostrada en la figura 6. Se puede deducir que dentro del rango (0 - 1500 $\mu\text{s}/\text{cm}$) el equipo es fiable. El comportamiento del dispositivo tiene un error aceptable en relación al equipo comercial FC28. La ecuación de la curva característica del sensor según Ec. 2. En un desarrollo posterior se incrementará el rango del sensor.

$$y = 543,4 \times e^{1,25x-1,93} + 6,44 \times 10^{-8} \times e^{38,46x-59,23} - 79,05 \quad \text{Ec. 2}$$

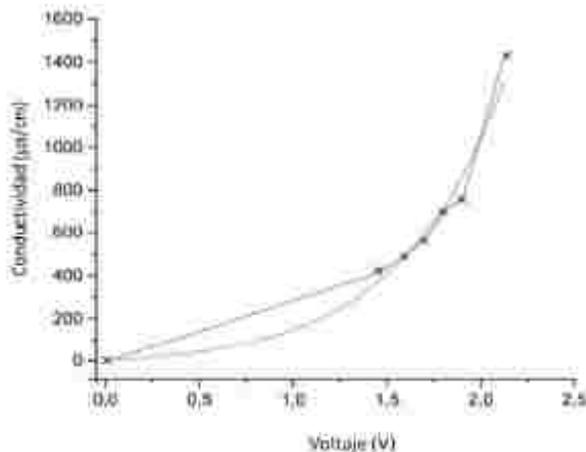


Figura 6. Curva característica del sensor.

4. CONCLUSIONES

Un conductímetro comercial tiene un costo aproximado de 600 dólares, mientras que este dispositivo de bajo costo tiene una inversión de alrededor de 100 dólares; por lo tanto el equipo se puede clasificar como "low-cost" siguiendo

la filosofía antes expuesta. El diseño ha sido comparado favorablemente con un conductímetro comercial en un rango de 0 a 1500 $\mu\text{s}/\text{cm}$. Por lo cual, este dispositivo puede ser utilizado dentro de este rango. Con la aplicación de este instrumento se podría determinar la cantidad de sales minerales disueltas en productos, la disolución de sustancias, entre otras.

REFERENCIAS

- [1] M. Kalúz, L. Čirka, R. Valo, M. Fikar, "ArPi Lab: A Low-cost Remote Laboratory for Control Education", 19th IFAC World Congress, 2014.
- [2] "What is open source?" <http://opensource.com/resources/what-open-source>, 2015.
- [3] R. Stallman, "New UNIX implementation", 2013.
- [4] Arduino, "What is Arduino?" <http://www.arduino.cc/>, 2015.
- [5] Reprap, "Welcome to RepRap.org", <http://reprap.org/>, 2015.
- [6] A. Bola, "Determinación de la conductividad eléctrica", <http://arturobola.tripod.com/conducti.htm>, 2014.
- [7] Wiring, <http://wiring.org.co/>, 2015.
- [8] Maxim Integrated, "DS18B20 Programmable Resolution", 2008.

BIOGRAFÍA

1 David Loza Matovelle.- Magister en Investigación en Ingeniería de Procesos y Sistemas Industriales, Docente Tiempo Completo del Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica de la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE.

2 Luis J. Segura.- Magister en Sistemas de Manufactura, Docente Tiempo Completo del Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica de la Universidad de Fuerzas Armadas

ESPE

3 Xavier Segovia.- Ingeniero en Control, Docente Tiempo Parcial del Departamento de Ciencias de la Electrónica y Eléctrica de la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE.

4 Reza Dabirian.- Doctor en Electrónica Molecular y Nano-estructuras. Investigador Prometeo del Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica de la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE.

5 Edwin Haro Sangoquiza.- Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica de la Universidad de las Fuerza Armadas ESPE.

Registro de publicación:

| | |
|--------------------|-------------------|
| Fecha de recepción | 11 de agosto 2015 |
| Fecha aceptación | 04 diciembre 2015 |

CARACTERIZACIÓN DE TAMAÑO DE NANOPARTÍCULAS INORGÁNICAS MULTIFUNCIONALES MEDIANTE MICROSCOPIA DE FUERZA ATÓMICA

SIZE CHARACTERIZATION OF MULTIFUNCTIONAL INORGANIC NANOPARTICLES BY ATOMIC FORCE MICROSCOPY

¹Reza Dahitrian, ²Salome Galeas, ³Nelly Rojas, ⁴Victor H. Guerrero,

^{1,2,3,4}Laboratorio de Nuevos Materiales, Departamento de Materiales, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
e-mails: ¹dahitrian@gmail.com, ²salome.galeas@epn.edu.ec, ³nelly.rojas@epn.edu.ec, ⁴victor.guerrero@epn.edu.ec

Energía Mecánica Innovación y Futuro, IV Edición 2015, No.6 (13)

RESUMEN

El tamaño de partícula es uno de los factores que afectan el comportamiento y la aplicación de nanopartículas. En este trabajo se empleó un conjunto definido de métodos para sintetizar nanopartículas de metal y de óxidos metálicos: Ag, Fe₃O₄, TiO₂, ZnO y ZrO₂. El tamaño de las partículas obtenidas fue caracterizado usando microscopia de fuerza atómica en modo dinámico. Se prepararon soluciones o suspensiones de cada tipo de nanopartícula obtenida y se las usó para depositarlas sobre sustratos de mica mediante drop-casting. Se prestó especial atención a la definición de las condiciones necesarias para obtener partículas individuales sobre el sustrato. Se examinaron áreas de barrido de entre 0.5 μm y 50 μm. Para cada sistema estudiado, se midió el diámetro de un conjunto dado de nanopartículas. Las mediciones mostraron nanopartículas con diámetros típicos entre 5 y 20 nm. Los tamaños medidos se encuentran en directa correlación con aquellos obtenidos mediante dispersión dinámica de luz.

Palabras Clave: Microscopia de fuerza atómica, nanopartículas, tamaño de partícula

ABSTRACT

The particle size is one of the factors that affect the behavior and the application of nanoparticles. In this work, metallic and metal oxide nanoparticles: Ag, Fe₃O₄, TiO₂, ZnO and ZrO₂ were synthesized by a given set of methods. The size of the particles obtained was characterized by dynamic mode atomic force microscopy. Solutions or suspensions of every type of nanoparticle obtained were prepared and used to deposit onto mica substrates by drop-casting. Special attention was given to set the necessary conditions that result in individual particles on top of the substrate. Scan sizes ranging from 0.5 μm to 50 μm were examined. For every system studied it was possible to measure the diameter of a given set of nanoparticles. The measurements showed nanoparticle sizes that were typically between 5 and 20 nm in diameter.

The size measurements were in direct correlation with those obtained by dynamic light scattering.

Keywords: Atomic force microscopy, nanoparticles, particle size

1. INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años, se ha obtenido y modificado una amplia variedad de nanomateriales. Estos nanomateriales presentan propiedades físicas, mecánicas, electrónicas y químicas que son superiores a las exhibidas por los materiales convencionales. En la nanoescala, los fenómenos cuánticos son decisivos y resultan en un comportamiento completamente diferente al observado en el material al granel.

La nanotecnología aprovecha los nuevos fenómenos, procesos, propiedades y funcionalidades derivadas de la nanoescala y desarrolla nuevos materiales que se pueden utilizar de manera efectiva en diferentes aplicaciones. Entre los posibles usos de los nanomateriales se pueden mencionar la eliminación de metales y compuestos orgánicos de los efluentes, el desarrollo de catalizadores altamente reactivos y selectivos, la fabricación de sensores de alta sensibilidad y la formulación de recubrimientos protectores.

Las nanopartículas representan un grupo clave de nanomateriales debido a su amplia gama de propiedades, gran disponibilidad y múltiples posibilidades de aplicación. Estas pueden ser de naturaleza orgánica o inorgánica. Entre las inorgánicas las más comunes son los metales, óxidos y semiconductores. Las nanopartículas pueden obtenerse por diferentes métodos de síntesis y rutas de procesamiento. Los nanomateriales resultantes pueden ser amorfos o cristalinos, conductores o aislantes, magnéticos o no magnéticos, etc. Además, pueden ser utilizados fácilmente en varias

aplicaciones, incluyendo aquellas que requieren polvos finos, coloides, suspensiones, o materiales obtenidos por compactación y sinterización. Las nanopartículas también pueden ser depositadas en la superficie de diferentes sustratos, o se pueden combinar con matrices poliméricas, metálicas y cerámicas para obtener nanocompuestos [1].

Las nanopartículas metálicas y de óxidos metálicos se encuentran entre las más estudiadas y utilizadas. Las nanopartículas de plata han recibido especial atención [1], sobre todo debido a sus amplias aplicaciones bactericidas y su potencial antimicrobiano. Esto es porque estas nanopartículas y sus derivados muestran una toxicidad relativamente elevada hacia varios microorganismos.

Entre los óxidos metálicos, los de titanio, cinc, circonio y hierro son de particular interés. El dióxido de titanio es un semiconductor capaz de absorber radiación en la región UV del espectro. En forma de polvo, este material se utiliza por lo general como absorbedor de rayos UV en la industria cosmética y cerámica o como relleno en los revestimientos anticorrosivos. El óxido de zinc es un semiconductor muy estable incluso a altas temperaturas y presiones, es transparente a la luz visible, tiene una naturaleza altamente piezoeléctrica y muestra un relativamente interesante potencial antimicrobiano. Este óxido se puede utilizar en recubrimientos industriales, para extraer luz de los LED y en transductores [2].

El óxido de circonio exhibe interesantes propiedades catalíticas, térmicas, refractarias y mecánicas. También ayuda como protector contra la corrosión, lo que promueve su uso en aplicaciones industriales en las que se requiere reducir al mínimo los problemas asociados con la degradación del material. Por último, los óxidos de hierro se encuentran entre los materiales

más estudiados para la eliminación de metales pesados de las aguas residuales. De estos óxidos, la magnetita (Fe_3O_4) es quizás el más estudiado en forma de nanopartículas. Una de las razones para esto es el hecho de que los óxidos de hierro magnéticos son particularmente útiles en la eliminación de contaminantes, ya que permiten el uso de un campo magnético para recuperar el adsorbente [3].

Las propiedades de las nanopartículas se derivan principalmente de su naturaleza, estructura y tamaño. Si la naturaleza y la estructura están definidas por el uso de un método de síntesis y un conjunto de precursores, la aplicación exitosa de las nanopartículas exige la caracterización de su tamaño.

En esta investigación se sintetizaron nanopartículas de Ag, Fe_3O_4 , TiO_2 , ZnO y ZrO_2 mediante un conjunto definido de métodos. El tamaño de las nanopartículas resultantes se estudió mediante microscopía de fuerza atómica.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Los métodos utilizados para los procesos de síntesis fueron previamente desarrollados y mejorados para que las nanopartículas obtenidas tengan la composición requerida y relativamente alta pureza. Esto incluyó la caracterización de las partículas por dispersión dinámica de luz (DLS) usando un analizador Brookhaven Plus 90.

Nanopartículas esféricas de plata fueron sintetizadas por el método del poliol, mediante reducción de nitrato de plata con etilenglicol a diferentes temperaturas y con diferentes cantidades de polivinilpirrolidona (PVP). La temperatura considerada durante la síntesis fue de 120°C . La relación en peso de PVP/ AgNO_3 utilizada para controlar el crecimiento de partícula fue de 0,50.

Se utilizó un espectrofotómetro UV-visible para confirmar la presencia y la forma esférica de las partículas en el intervalo de 390 a 420 nm [4].

Se sintetizaron nanopartículas de magnetita (Fe_3O_4) utilizando el método de co-precipitación. Las nanopartículas fueron dispersadas en agua a pH 1, que fue el mejor medio de dispersión para la medición del tamaño de las nanopartículas de magnetita mediante DLS.

Nanopartículas de dióxido de titanio en fase anatasa fueron sintetizadas por el método sol-gel.

En este caso, se disolvieron 2,5 g de oxisulfato de titanio en 300 ml de agua destilada a temperatura ambiente. Se añadió una solución de hidróxido de amonio al 10% en peso hasta que apareció un precipitado a un pH de 8,5 aproximadamente. El precipitado se lavó y filtró, se añadieron 40 ml de etanol y 100 ml de agua destilada bajo agitación constante a 80°C . El producto obtenido se calcinó a 500°C durante 60 minutos.

Las nanopartículas de ZnO en la forma zincita se sintetizaron por el método de Pechini. Para este propósito se utilizó dihidrato de acetato de zinc como precursor, ácido cítrico como agente quelante y etilenglicol como disolvente, en una relación molar 1:4:16. Se utilizó hidróxido de amonio para ajustar el pH. La resina polimérica formada se pre-calcinó a 300°C durante 3 h y el producto obtenido se calcinó a 700°C durante 3 h. Las nanopartículas obtenidas se caracterizaron por espectroscopía infrarroja por transformada de fourier (FTIR). Al comparar el espectro de FTIR con una muestra comercial de ZnO, se obtuvieron coeficientes de correlación superiores a 0,97 para todas las síntesis.

La síntesis de nanopartículas de óxido de circonio (ZrO_2) se realizó mediante el método sol-gel. Se

utilizó oxiclورو octahidratado de zirconio como precursor y monohidrato de acetato de calcio como un estabilizador de estructuras de óxido de circonio, en una relación molar de precursor/estabilizador de 0,84/0,16. El etilenglicol se utilizó como disolvente polimerizable, glicina como agente de control de pH, y agua destilada como agente de hidrólisis. La solución obtenida se envejeció durante 24 h para finalizar las reacciones de hidrólisis y condensación. El producto obtenido de la reacción se calcinó a 550°C durante 30 min. Una vez terminada la síntesis se obtuvo un polvo fino y blanco.

Para las muestras topográficas se preparó una solución de 1 mg/ml y/o suspensión del material respectivo en acetona. La solución se agitó mecánicamente e inmediatamente se depositaron 10 μ L de la solución por drop-casting sobre un sustrato de 1x1 cm de mica usando una pipeta volumétrica. El sustrato de mica se cubrió con un recipiente de vidrio para prolongar y evitar cualquier interferencia en la dinámica de la evaporación del disolvente.

Se registraron imágenes topográficas AFM en modo dinámico utilizando un microscopio Nanosurf NanoAFM (Nanosurf, Liestal, Suiza). Las mediciones se realizaron en condiciones atmosféricas a temperatura ambiente con velocidades line-scan de 0,6 - 1,5 Hz. Se exploraron tamaños de escaneo que van desde 50 micras a 0,5 micras, con una resolución de 256 \times 256 píxeles con puntas de silicio de no contacto (Tap190Al-G, BudgetSensors) con una constante k de 48 n/m, y una frecuencia de resonancia de 190 kHz. Las imágenes fueron procesadas con el software WXSMM [5].

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La microscopía de fuerza atómica (AFM) [6] - [7] se ha utilizado para caracterizar materiales en la escala micrométrica y nanométrica. Su gran ventaja es que es aplicable a casi cualquier material, haciendo posible la obtención de imágenes de la superficie topográfica tridimensional tanto de estructuras aislantes como conductoras con resoluciones verticales con precisión sub-nanométrica. La preparación de muestras para obtener imágenes de AFM es mínima. Este equipo es versátil ya que puede ser operado en entornos gaseosos, ambientales y fluidos, además puede ser utilizado más allá de la topografía, por ejemplo, en la provisión de información del material y de las propiedades físicas de las muestras. Otra ventaja es que la muestra analizada no se destruye.

Como el objetivo de este estudio es caracterizar el tamaño de las nanopartículas, es importante poder encontrar las condiciones apropiadas en la que las partículas individuales son desligadas de la estructura mayor y aparecen como partículas individuales sobre el sustrato de mica. Este tipo de disposición de las moléculas desde la solución hacia una superficie depende de la interacción del control termodinámico y cinético. Mientras que el primero está regulado por el efecto conjunto de las interacciones molécula-molécula, molécula-solvente y molécula-superficie, el segundo es gobernado por la dinámica de evaporación del disolvente, la tasa del proceso de montaje, y el tamaño y densidad de nucleación de las estructuras en crecimiento [8]. Por lo tanto, a fin de que las partículas individuales estén presentes de manera aislada, la tasa de evaporación del disolvente tiene que ser reducida a un mínimo para evitar morfologías resultantes de una deshumectación del disolvente. Esto se consigue cubriendo la muestra después de la deposición de disolvente.

Las cinco nanopartículas que se estudiaron fueron: plata; Ag (1), magnetita; Fe₃O₄ (2), dióxido de titanio; TiO₂ (3), óxido de cinc ZnO₂ (4) y dióxido de circonio; ZrO₂ (5). Los resultados de la caracterización del tamaño de estas partículas, así como las imágenes de AFM se muestran abajo. Se determinó que el tamaño de las partículas del compuesto 1 se encuentra en un rango de 10 - 60 nm con una mayoría de partículas entre 15 a 20 nm de diámetro (Figura 1). Una representación tridimensional de la misma imagen de 1 se presenta en la Figura 2. El tamaño de las nanopartículas sintetizadas también fue estudiado por DLS. Según esta técnica, el diámetro efectivo de las nanopartículas llega a 39,5 nm. La Figura 3 muestra la gráfica intensidad vs. diámetro para la muestra preparada.

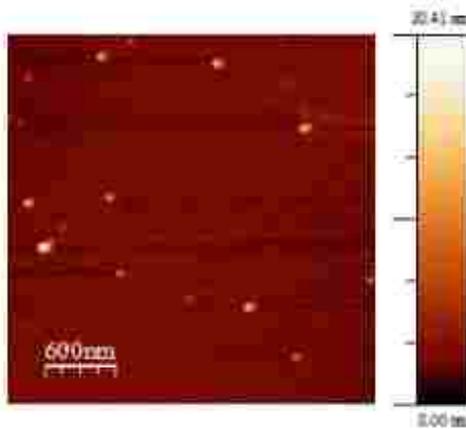


Figura 1. Imagen topográfica AFM de 1, Z-escala: 30 nm. <Sin vínculo de intersección>

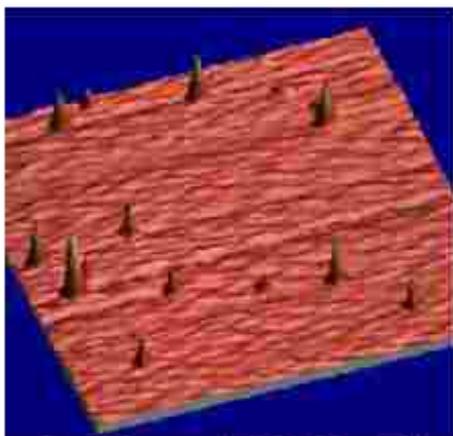


Figura 2. Representación 3D de 1, Z-escala: 30 nm. <Sin vínculo de intersección>

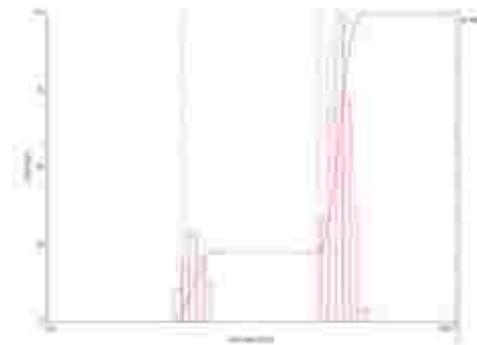


Figura 3. Intensidad vs. diámetro para las nanopartículas de 1, determinadas por DLS. El diámetro efectivo reportado es de 39,5 nm. <Sin vínculo de intersección>

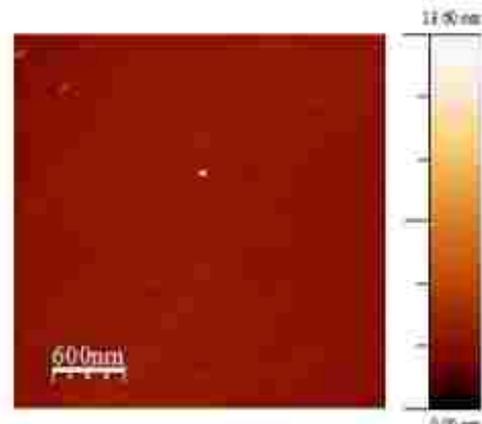


Figura 4. Imagen topográfica AFM de tres partículas individuales de 2, Z-escala: 14 nm. <Sin vínculo de intersección>

Las partículas de magnetita, 2, mostraron una distribución de tamaño entre 5 y 10 nm. No parece haber partículas más grandes presentes en esta muestra (Figura 4).

El tamaño de partícula de TiO₂, 3, se encontró en un rango de 5 - 40 nm con la mayoría de partículas entre 5 y 15 nm de diámetro (Figura 5). Una segunda imagen topográfica de 3 se muestra en la Figura 6 con un perfil correspondiente a la sección transversal de dos nanopartículas individuales de 13 y 27 nm en diámetro, respectivamente.

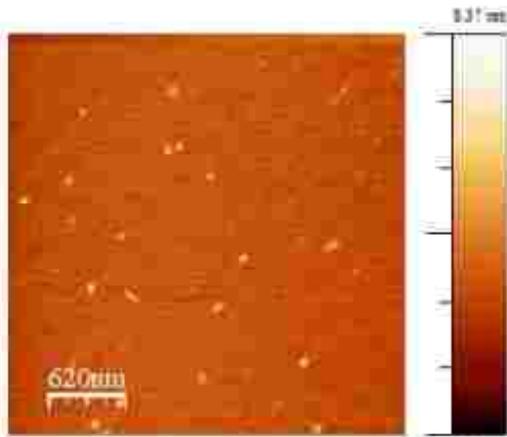


Figura 5. Imagen topográfica AFM de 3, Z-escala: 8 nm.

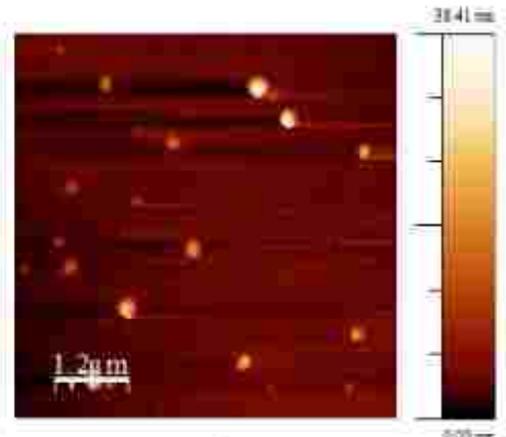


Figura 7. Imagen topográfica AFM de 4, Z-escala: 40 nm.

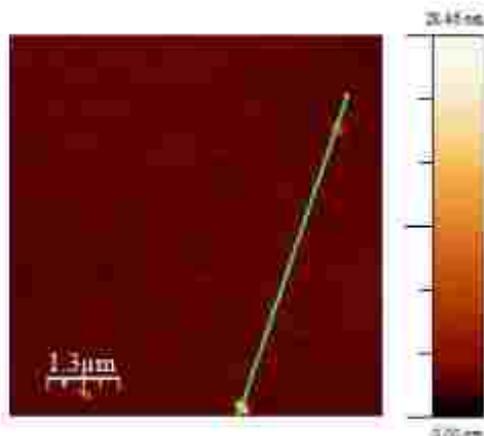


Figura 6. Imagen topográfica AFM de 5, con perfil de sección transversal (inserción) de dos partículas individuales de aproximadamente 13 y 27 nm, respectivamente. Escala Z: 28 nm.



Figura 8. Gráfico intensidad vs. diámetro para las nanopartículas de 4, determinado por DLS. El diámetro efectivo reportado es de 22,8 nm.

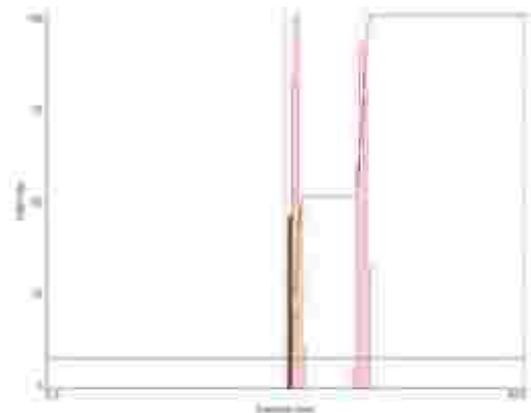


Figura 9. Gráfico intensidad vs. diámetro para las nanopartículas de 5, determinados por DLS. El diámetro efectivo reportado es de 7,2 nm.

Las partículas de ZnO, 4, mostraron una distribución de tamaño entre 5 y 40 nm (Figura 7). El diámetro efectivo obtenido para una muestra preparada y analizada mediante DLS es 22,8 nm. El gráfico de intensidad vs. diámetro se presenta en la Figura 8. Las partículas de ZrO₂, 5, se determinaron que se encontraban en un rango de 5 -20 nm, con la mayoría entre 5 y 10 nm (datos no mostrados). El diámetro efectivo obtenido para una muestra preparada y analizada mediante DLS es 7,2 nm. El gráfico intensidad vs. diámetro se presenta en la Figura 9.

ENERGÍA Y MECÁNICA INNOVACIÓN Y FUTURO
 No. 4 Vol. 1 / 2015 (13) ISSN 1390 - 7395 (6/13)

4. CONCLUSIONES

Partículas individuales de tamaño nanométrico se depositaron sobre mica y se caracterizaron individualmente mediante el modo dinámico de AFM. Se comprobó que el diámetro de las nanopartículas de Ag oscila entre 10 y 60 nm. El rango para la magnetita fue de 5 - 10 nm, el TiO₂ y el ZnO tuvieron diámetros entre 5 y 40 nm, mientras el ZrO₂ entre 5 y 20 nm. Los resultados de las mediciones DLS muestran una buena correlación con los obtenidos por AFM. Estos resultados pueden ayudar a comprender el efecto del tamaño en el comportamiento y las propiedades de las nanopartículas sintetizadas, y definir las aplicaciones en las que pueden ser utilizadas.

REFERENCIAS

- [1] G. Schmid (Ed.), *Nanoparticles: From Theory to Application*, 2nd edition, Wiley-VCH, 2010, pp 371 - 451.
- [2] H. Morkoc, U. Ozgur, *Zinc Oxide: Fundamentals, Materials and Device Technology*, Wiley-VCH, 2009, pp 50 - 70.
- [3] A.P. Lim, A.Z. Aris, *Rev. Environ. Sci. Biotechnol.* 13, 2014, pp 163-181.
- [4] S. Rojas, V.H. Guerrero, A. Debut, *Memorias del X Congreso de Ciencia y Tecnología ESPE 2015*, pp 7 - 11.
- [5] I. Horcas, R. Fernandez, J.M. Gomez-Rodriguez, J. Colchero, J. Gomez-Herrero and A. M. Baro, *Rev. Sci. Instrum.* 78, 2007, pp 013705-013714.
- [6] G. Binnig, C. F. Quate and C. Gerber, *Phys. Rev. Lett.* 56, 1986, pp 930-3.
- [7] Y. Seo and W. Jhe, *Rep. Prog. Phys.* 71, 2008, pp 016101-9.
- [8] V. Palermo and P. Samori, *Angew. Chem., Int. Ed.* 2007, 46, pp 4428-4432.

BIOGRAFÍA

1 Reza Dabirian, Doctor en Electrónica Molecular y Nano-estructuras. Investigador Prometeo del Laboratorio de Nuevos Materiales, Departamento de Materiales, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.

2 Salomé Gálea, Ingeniera Química. Especialista en Caracterización de Materiales del Laboratorio de Nuevos Materiales, Departamento de Materiales, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.

3 Nelly Rosas, Magister en Nanociencia y Nanotecnología Molecular. Profesora Titular a Tiempo Completo. Directora del Laboratorio de Materiales Cerámicos, Departamento de Materiales, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.

4 Víctor H. Guerrero, Doctor en Ingeniería Mecánica. Profesor Titular Principal a Completo; Director del Laboratorio de Nuevos Materiales, Departamento de Materiales, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.

Registro de publicación

| | |
|--------------------|-------------------|
| Fecha de recepción | 19 de junio 2015 |
| Fecha aceptación | 07 diciembre 2015 |

DISEÑO Y OPTIMIZACIÓN DE LA BASE DE MOTOR PARA CAMIONETAS

DESIGN AND OPTIMIZATION OF ENGINE MOUNT FOR PICKUP

Marco Vinicio Noronha Merchán, Edwin Giovanni Fuente Moromenacho

*^{1,2} Universidad Internacional del Ecuador, Facultad de Ingeniería en Mecánica Automotriz, estación Guayaquil
E-mail: *manoruname@internacional.edu.ec, *epnente@internacional.edu.ec*Energía Mecánica Innovación y Futuro, IV Edición 2015, No. 7 (13)***RESUMEN**

Se presenta el análisis para optimizar el diseño de fabricación de la base del motor para la camioneta Mazda BT-50, para contrarrestar la vibración que causa el motor hacia todo el vehículo, para contra restar desajustes generales y falla en los componentes del mismo. Se analiza los materiales que componen la familia de polímeros amorfos (elastómeros) que tienen la facultad de soportar grandes deformaciones elásticas sin ruptura teniendo la capacidad de absorber energía vibracional (amortiguamiento) y para reducir el nivel del ruido. Se establece la obtención de la materia prima, costos, procesamiento y análisis de esfuerzos a los que se encuentra sometida la base del motor, método de moldeo por inyección para la manufactura de las bases del motor. Se desarrolla el estudio de factibilidad para la producción en el país con la finalidad de disminuir los costos de producción e implementar el producto ecuatoriano en la industria automotriz.

Palabras Clave: Base de motor, elastómeros, hule natural, hule sintético, siliconas, poliuretano

ABSTRACT

The analysis is presented to optimize the design manufacturing base engine for the Mazda BT-50 pickup, to counteract the vibration that causes the engine to the entire vehicle, for against mismatches and subtract general failure in components. The materials that make up the family of amorphous polymers (elastomers) having the ability to withstand large elastic deformations without breaking having the ability to absorb vibrational energy (damping) and to reduce the noise level is analyzed. Obtaining raw material costs, processing and analysis efforts that are under the engine base, injection molding method for manufacturing bases set engine. The feasibility study for the production in the country with the aim of reducing production costs and implement the Ecuadorian product in the automotive industry develops.

Keywords: Engine mount, elastomers, natural rubber, synthetic rubber, silicone, polyurethane.

1. INTRODUCCIÓN

Los elastómeros, denominados cauchos, son materiales poliméricos muy utilizados en la vida cotidiana y la industria en general. Mediante esta investigación se establece la obtención del caucho natural hasta llegar a los diversos derivados sintéticos, destacando sus características, clasificación en termoplásticos, identificando sus componentes, sus propiedades y sus aplicaciones. [2].

Para obtener los mejores resultados, desde el punto de vista técnico es importante que la sección elástica sea igual en todos los soportes. Ello se consigue colocando los elementos anti vibración de forma adecuada, escogiendo cada elemento elástico en proporción a la carga que debe soportar y fijándolos a las máquinas y al suelo o a contramarcos fijos [1], [3],[5].

1.1 Elastómeros

Son polímeros capaces de sufrir grandes deformaciones elásticas cuando se aplica esfuerzos relativamente bajos, soportan extensiones de hasta el 500% o más, pero retornan a su forma original. El ejemplo más popular del elastómero es el hule. Se divide en dos categorías: 1) hule natural, derivado de ciertas plantas y 2) polímeros sintéticos producidos por procesos de polimerización, similares a los que se utilizan en los termoplásticos y los termo fijos.[3]

1.1.1 Características de los elastómeros

Los elastómeros son moléculas de cadena larga que se encadenan transversalmente (como los polímeros termo fijos). Sus propiedades elásticas se deben a la combinación de dos características: 1) cuando las moléculas largas no están estiradas, se encuentran estrechamente retorcida y 2) el grado de encadenamiento transversal es sustancialmente más bajo que el de los termo fijos [3]. Este modelo se ilustra en el moldeo de la figura 1 (a), que muestra una molécula retorcida y encadenada transversalmente cuando no está bajo esfuerzos.

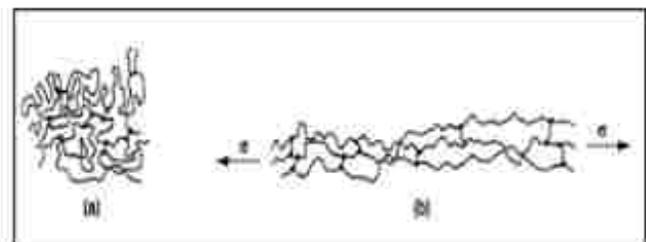


Figura 1 Modelo de moléculas elastoméricas largas con bajo grado de encadenamiento transversal: (a) sin estirar y (b) bajo esfuerzo a la tensión.

Sus efectos son:

- Presenta un cambio de propiedades asociado al cese virtual de movimiento molecular a escala local.
- Si la temperatura de reblandecimiento es mayor que la temperatura de transición vítrea, el polímero es suave.
- La temperatura de reblandecimiento es menor que la temperatura de transición vítrea, el material puede ser duro, quebradizo y amorfo.

Los elastómeros termoestables están constituidos por largas cadenas lineales o ramificadas entrecruzadas. Por lo general son más resistentes aunque más frágiles que los termoplásticos.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Mediante especificaciones de material y dimensiones para la elaboración del elemento de anti vibración de hule con chapa metálica, utilizado en la industria automotriz como base del motor, se definirán los procesos de manufactura analizando costos de inversión en herramientas y maquinaria para obtener un valor de venta competitivo.

2.1 Necesidad del mercado

Incrementar el producto ecuatoriano en la industria automotriz, cubrir la demanda de soportes de bases motor mediante un modelo general que posea pocas variaciones con respecto a la original, reduciendo costos y tiempos de obtención de la misma, además el mismo puede ser un elemento de repuesto cuando el soporte haya cumplido su vida útil.

2.2 Función del producto

Es un elemento de antivibración de goma (hule), fijada a una determinada base de metal y pernos que permiten la fijación de la base entre el motor y la carrocería, elimina las vibraciones producidas por el motor que se transmiten de forma dañina, ruidosa y destructiva al resto del vehículo. Los elementos antivibración pueden actuar por compresión, corte y torsión.



Figura 2. Elementos de la base motor

2.3 Características técnicas de la base motor

- La conexión goma-metal puede soportar la misma fuerza de tracción que el cuerpo de goma.
- La mezcla especial en NBR con SBR garantiza un largo ciclo de histéresis.
- El control de la vulcanización impide la formación de burbujas de aire dentro del cuerpo de goma.
- Todas las inserciones son de acero de calidad (inoxidable si se solicita).
- La unión entre partes metálicas es fuerte y robusta - galvanización fiable.

2.4 Alternativas de diseño

En la figura 3 se representa las dos posibilidades de diseño expuestas para el análisis: (a) representa una base de motor con chapa metálica superior en forma de C y la placa inferior de forma plana con el material elastómero PVMQ. (b) representa una base de motor con chapa metálica superior e inferior de forma plana con el material elastómero PVMQ.



Figura 3. Modelos considerados para el diseño de una base motor.

2.5 Evaluación y selección de la mejor alternativa

Para la selección de alternativas se usa el método ordinal de criterios ponderados, se toma en consideración criterios de forma, costo, montaje, recubrimiento, seguridad e innovación. Esta selección se muestra en las tablas 1 – 4 en donde se finaliza con una conclusión.

Tabla 1. Evaluación del peso específico del criterio evitar accidentes

| EVITAR ACCIDENTES | Soporte chapa metálica superior tipo C | Soporte chapa metálica superior plana | $\Sigma=1$ | PONDERACIÓN |
|--|--|---------------------------------------|------------|-------------|
| Soporte chapa metálica superior tipo C | | 1 | 2 | 0,66 |
| Soporte chapa metálica superior plana | 0 | | 1 | 0,33 |
| | | SUMA | 3 | 1 |

Tabla 2. Evaluación del peso específico del criterio precio

| PRECIO | Soporte chapa metálica superior tipo C | Soporte chapa metálica superior plana | $\Sigma=1$ | PONDERACIÓN |
|--|--|---------------------------------------|------------|-------------|
| Soporte chapa metálica superior tipo C | | 1 | 2 | 0,571 |
| Soporte chapa metálica superior plana | 0,5 | | 1,5 | 0,42 |
| | | SUMA | 3,5 | 1 |

Tabla 3. Evaluación del peso específico del criterio montaje

| SEGURIDAD | Soporte chapa metálica superior tipo C | Soporte chapa metálica superior plana | $\Sigma=1$ | PONDERACIÓN |
|--|--|---------------------------------------|------------|-------------|
| Soporte chapa metálica superior tipo C | | 1 | 2 | 0,57 |
| Soporte chapa metálica superior plana | 0,5 | | 1,5 | 0,42 |
| | | SUMA | 3,5 | 1 |

Tabla 4.1. Conclusiones para la selección del diseño

| CONCLUSIÓN | FORMA | PRECIO | MONTAJE | RECUBRIMIENTO |
|--|-------|--------|---------|---------------|
| Soporte chapa metálica superior tipo C | 0,095 | 0,054 | 0,095 | 0,095 |
| Soporte chapa metálica superior plana | 0,047 | 0,0408 | 0,071 | 0,071 |

Tabla 4.2. Conclusiones para la selección del diseño

| SEGURIDAD | INNOVACIÓN | Σ | PRIORIDAD |
|-----------|------------|----------|-----------|
| 0,163 | 0,095 | 0,6 | |
| | 1 | | |
| 0,122 | 0,047 | 0,4 | |
| | 2 | | |

La solución de la base de motor con chapa metálica en forma de C (figura 3. a), es la mejor valorada mediante la selección de alternativas por el método ordinal de criterios ponderados, y considerando especialmente el factor seguridad ya que su diseño proporciona mejor absorción de vibraciones y es más resistente a esfuerzos transversales (corte).

ENERGÍA Y MECÁNICA INNOVACIÓN Y FUTURO
 No. 4 Vol. 1 / 2015 (13) ISSN 1390 - 7395 (7/13)



2.6 Diseño de la base motor

2.6.1 Denominación y características de la base

Cuando se aprueba el diseño preliminar se puede construir un prototipo para análisis. En el diseño preliminar se toma en cuenta aspectos tales como costo, calidad y rendimiento del producto, el resultado debe ser un producto que resulte competitivo y atractivo para el mercado. En la tabla 5 se representa en forma técnica la denominación y características de la base de diseño los materiales utilizados, dimensiones.

Tabla 5. Propiedades de los materiales utilizados en el ensayo de diseño

| Referencia de modelo | Propiedades | Componentes | |
|---|--------------------------------------|---|--|
|  | Nombre: | Base P/MQ | Sólido (Zona Extrusión) (Centro estudio 1) |
| | Tipo de modelo: | Simulador sólido (Solid) | |
| | Criterio de análisis predeterminado: | Descomodido | |
| | Límite elástico: | $8 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ | |
| | Límite de tracción: | $2 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ | |
| | Módulo elástico: | 3000 N/m^2 | |
| | Coefficiente de Poisson: | 0.41 | |
| | Densidad: | 980 kg/m^3 | |
| Datos de curvas (A) | | | |
|  | Nombre: | Chapa metálica de acero SAE 1010 con recubrimiento orgánico por inmersión en zinc fundido (acero galvanizado) | Sólido (Zona Extrusión) (Zona superior 1) |
| | Tipo de modelo: | Simulador sólido (Solid) | |
| | Criterio de análisis predeterminado: | Descomodido | |
| | Límite de tracción: | $1.5355 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ | |
| | Límite de compresión: | $5.7218 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ | |
| | Módulo elástico: | $6.6178 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ | |
| | Coefficiente de Poisson: | 0.27 | |
| | Densidad: | 7300 kg/m^3 | |
| | Módulo cortante: | $5 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ | |
| | Coefficiente de dilatación térmica: | $12 \times 10^{-6} / \text{kelvin}$ | |

2.6.2 Fuerzas resultantes

En las figuras 4-7 se muestra los resultados obtenidos al aplicar las fuerzas que se muestran en las tablas 6-7.

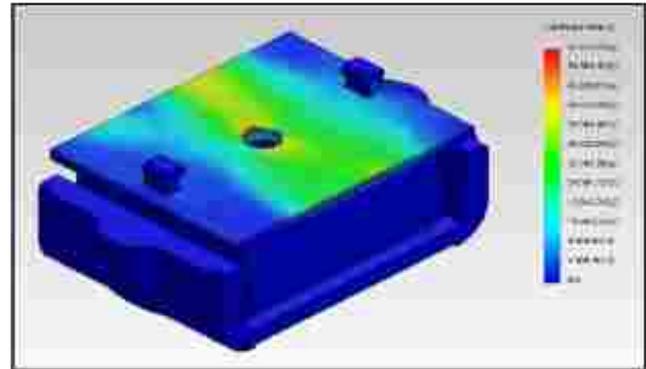


Figura 4. Base de motor estudio-Estudio 1-Tensiones-Tensiones 1

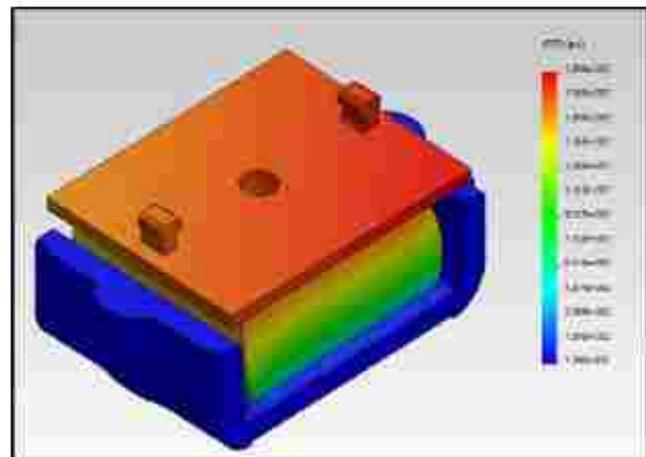


Figura 5. Base de motor estudio-Estudio 1-Desplazamientos-Desplazamientos 1

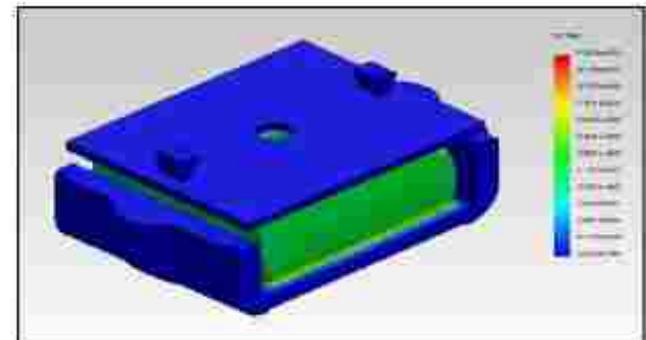


Figura 6. Base de motor estudio-Estudio 1-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias 1

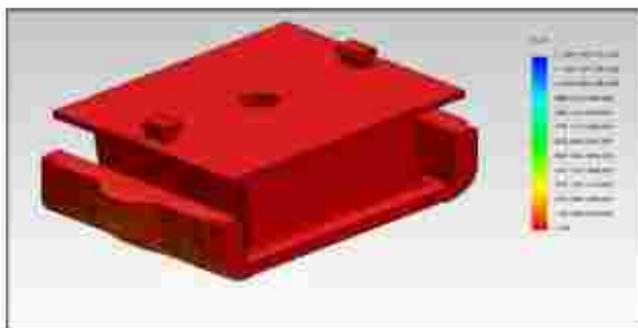


Figura 7. Base de motor estudio-Finido 1-Factor de seguridad-Factor de seguridad

Tabla 6. Fuerzas de reacción

| Conjunto de selecciones | Unidades | Suma X | Suma Y | Suma Z | Resultante |
|-------------------------|----------|-----------|---------|------------|------------|
| Todo el modelo | N | 0.0388711 | 1767.39 | -0.0126514 | 1767.39 |

Tabla 7. Resultado del análisis

| Nombre | Tipo | Min | Max |
|--------------------------|--|------------------|----------------|
| Construcción | CON: Tensión de Von Mises | 0.0473246 MPa | 5.95257 MPa |
| Desplazamiento | DESP: Desplazamiento máximo | Nodo 23212 | Nodo 21038 |
| Factor de seguridad | Autómático | 258.208 | 1.27E-14 |
| Definiciones de material | ESTR01: Definición de material equivalente | 2.03E-01 | 100.02 |
| | | Elemento 14615 | Elemento 14110 |

desempeñan mejor que el caucho vulcanizado y por su bajo precio.

Hay alrededor de 35 tipos disponibles en el mercado de cauchos crudos. Es suficiente señalar aquí que los cauchos crudos son esencialmente polímeros nocross-ligado y que son el componente básico para la fabricación de todos los productos elastoméricos.

El primer paso de la composición de goma por lo general es para ablandar la goma de crudo en trabajo mecánico. Esto se hace en mezcladores internos. En esta condición suave de la goma se mezclan fácilmente con una variedad de ingredientes compuestos que normalmente se dan en partes por peso, basado en 100 partes de caucho crudo (PHR). La fórmula de goma generalizada se da en la tabla 8.

Tabla 8. Fórmula del elastómero utilizado

| Material | Partes por Peso |
|-----------------|-----------------|
| Silicona | 100 |
| Rebino | 90 |
| Sulfonato | 5 |
| Amorfitos | 1 |
| Acido esteárico | 1 |
| Óxido de Zinc | 5 |
| Accelerador | 1 |
| Azufre | 2 |
| Total | 165 |

ENERGÍA Y MECÁNICA INNOVACIÓN Y FUTURO
 No. 4 Vol. 1 / 2015 (13) ISSN 1390 - 7395 (7/13)

El material seleccionado satisface el diseño requerido, se compara las deformaciones del material elastómero que permite soportar esfuerzos de compresión superiores a los ejercidos por el motor de la camioneta Mazda BT-50, y las respectivas vibraciones expuestas en su desplazamiento, esto se consigue por medio de la aproximación por métodos finitos realizados por el programa Solid Works Simulation 2010.

2.7 Proceso de producción

Los elastómeros sintéticos se utilizan porque se

2.7.1 Proceso de vulcanización

El proceso de vulcanización consiste esencialmente en dos o más placas que se pueden juntar y separar por presión hidráulica. Las placas suelen ser calentadas por el vapor o la electricidad. Los artículos de caucho vulcanizado están en varios moldes entre las placas calientes bajo presión. En su forma más simple, un molde formado por dos placas de metal con cavidades adapta a la forma exterior de la parte final deseado.

Las piezas moldeadas se encogen cuando se enfrían a temperatura ambiente después de la



extracción del molde de un tamaño menor que las cavidades. Esta contracción del molde se debe a la contracción térmica de los elastómeros, que es considerablemente más alto que de los metales, el coeficiente de expansión térmica de los elastómeros es aproximadamente 10 veces a la del acero. El coeficiente de expansión térmica de un compuesto de caucho depende en gran medida del tipo y la cantidad de cargas incorporados en el caucho crudo en general, la adición de cargas reduce el coeficiente debido a las variaciones de estos, los moldes de prueba se utilizan para medir con precisión el coeficiente térmico de cada compuesto [5]

Muchos de los compuestos de goma se realizan a contracción en un molde similar y cuando se moldea en el mismo molde de las piezas terminadas, estas tendrán las mismas dimensiones en otros compuestos, especialmente los a base de cauchos flourocarbon (FPM) y cauchos de silicona (Q), estos se contraen más y cuando se moldea en moldes estándar de las piezas terminadas serán menores que las de los compuestos estándar. El proceso utilizado para la vulcanización de la base será por medio del método de moldeo por compresión. [6]

1.7.2 Moldeo por compresión

Consiste en colocar un espacio en blanco con la forma adecuada, de las acciones sin vulcanizar en cada cavidad del molde. Los moldes se cierran y se colocan en una prensa hidráulica bajo la presión aplicada y el calor, la acción va a fluir y llenar completamente la cavidad del molde. El ligero exceso fluye a través de ranuras especiales, este exceso es el conocido como rebabas de prensado. [7]

El molde se mantiene cerrado bajo presión durante el tiempo prescrito en la temperatura de moldeo,

el molde se remueve de la prensa y se abre para retirar la pieza moldeada. Un molde simple de este tipo se muestra en la figura 8.

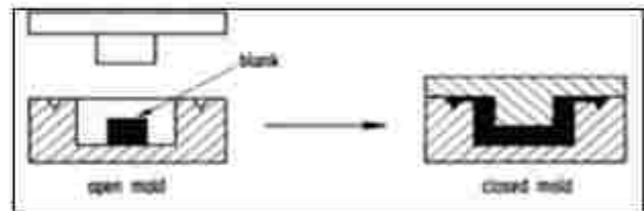


Figura 8. Métodos de la vulcanización de prensa

Demasiada acción o la colocación incorrecta de la pieza en la cavidad pueden causar defectos tales como líneas de flujo, ampollas o partes sin cubrir. El uso excesivo de material no sólo es costoso, sino que se hace rápidamente pesado el cual es más difícil de eliminar. Las operaciones de acabado de estos elastómeros requieren que las mismas sean después de la vulcanización, el método más utilizado es por desbarbado, el cual supone la exposición de las piezas de caucho de baja temperatura (con nitrógeno líquido o dióxido de carbón).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de la base de motor se realiza debido a la alta demanda que se analiza en el sector automotriz de camionetas Mazda.

Maresa, encargada de la marca Mazda en Ecuador desde agosto del 2010 hasta agosto del 2011 realizó la venta de esta base de código S10H39040F en una cantidad de 6 400 unidades, aproximadamente. Generando un porcentaje de utilidad en las ventas de alrededor del 35%. Esto se ve en el estudio realizado en un solo concesionario de los más de 20 concesionarios que existen y se analiza las ventas de esta base. En el concesionario se analizó las ventas en el periodo agosto 2013-2014, resultando un total de 312 unidades en este periodo. Como se analiza las ventas, los clientes que más necesitan

las bases son los talleres y empresas (Petroleras, camino malo en el oriente ecuatoriano), en segundo lugar están los particulares (clientes dueños de sus vehículos), luego las aseguradoras (las bases cuando el automóvil sufrió un siniestro demasiado grave en la parte frontal y se ve afectado parte del motor en el cual las bases se destruyen debido a la carga del choque en ese momento). En el análisis de valor de ventas se ve que el concesionario realizó las ventas de \$ 11 030, en un solo año por este tipo de producto.

Tabla 9. Ventas por cliente caucho soporte motor BT-50

| Descripción ítem | ASEGURADORAS | EMPLEADOS | TALLERES/EMPRESAS | PARTICULARES | Total general |
|----------------------|--------------|-----------|-------------------|--------------|---------------|
| CAUCHO SOPORTE MOTOR | 211 | 31 | 210 | 71 | 313 |
| Total general | 211 | 31 | 210 | 71 | 313 |

Tabla 10. Ventas totales caucho soporte motor BT-50

| Descripción ítem | Total |
|----------------------|-----------|
| CAUCHO SOPORTE MOTOR | \$ 11 030 |
| Total general | \$ 11 030 |

En base a lo explicado y viendo la gran utilidad que generan las bases (soportes) por la gran utilización de los propietarios de camionetas, esta investigación pretende reducir el costo en la fabricación de un producto alternativo que pueda satisfacer las demandas del consumidor ecuatoriano.

4. CONCLUSIONES

Finalizado el desarrollo del presente artículo de investigación, se pone en consideración las siguientes conclusiones con el propósito de que se constituyan en un referente y fuente de consulta por parte de profesionales relacionados al área.

La predicción de la fatiga y la evaluación de material de goma son muy importantes en el diseño de procedimientos para asegurar la seguridad y fiabilidad de los componentes de goma del automóvil.

La metodología de predicción de la fatiga de la vida caucho vulcanizado natural fue propuesta por el análisis de elementos finitos y los parámetros determinados daños por fatiga de ensayo de fatiga.

Los ensayos de fatiga se realizaron mediante el uso de la muestra en 3-D pesa en las durezas diferentes, desplazamiento de amplitud y periodo de calor en edad.

La resistencia a la fatiga estuvo representado eficazmente el máximo Green- Lagrange la tensión y la tensión normalizada.

El procedimiento de estimación de la vida de fatiga empleados en este estudio podría ser utilizado aproximadamente para el diseño de la fatiga de los componentes de goma en la etapa inicial de diseño.

REFERENCIAS

- [1] Gent Una ingeniería, con el caucho. Hanser Gardner, 2001.
- [2] Marte WV, Fatemi A, Estudio bibliográfico sobre los enfoques para el análisis de fatiga de goma. Revista Internacional de la fatiga, 2002, p. 949-961.
- [3] Lago GJ, la fatiga y la fractura de los elastómeros. Goma de Química y Tecnología, 1995, 68, pp.435-460
- [4] Hirakawa H, F Urano, Kida H, Análisis del proceso de fatiga de los vulcanizados de caucho, de goma y Tecnología Química, 1978, p. 201-214.
- [5] Yamaguchi H, N Nakagawa, técnica de ensayo de fatiga de los materiales de goma aislante de vibración, el INT. polimero de Ciencia y

Tecnología, 1993,20, p. 64-69

[6].Oh, HL, un modelo de la fatiga de la vida de un buje de goma, caucho y Tecnología Química, 1980, 53, p. 1226-1238.

[7].NAGDI, Kahiri, Rubber as an engineering material, Barcelona, España, 1993. (Art. Libro que trata sobre el estudio de los elastómeros, su composición, estructura química, fabricación, procesos de producción.)

BIOGRAFÍA



1 Marco V Noroña M, nació en Quito – Ecuador, Ingeniero Automotriz, Egresado Maestrante en la Escuela Politécnica Nacional en el programa de Sistemas

Automotrices. Docente tiempo completo en la Universidad Internacional del Ecuador UIDE en la ciudad de Guayaquil



2 Edwin G Puente M, nació en Quito, Ecuador, Ingeniero Automotriz, Posgrado en Autotrónica, Gerencia y Liderazgo Educativo. Docente de la Universidad Internacional del Ecuador y Director de la

Facultad de Ingeniería en Mecánica Automotriz de la UIDE extensión Guayaquil.

Registro de publicación:

| | |
|--------------------|-----------------------|
| Fecha de recepción | 10 de septiembre 2015 |
| Fecha aceptación | 28 noviembre 2015 |

ANÁLISIS DEL DESARROLLO DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN LA RED ELÉCTRICA INTERCONECTADA DE ECUADOR

ANALYSIS OF THE DEVELOPMENT OF SOLAR PHOTOVOLTAIC POWER IN THE INTERCONNECTED ELECTRIC GRID OF ECUADOR

¹Edwin Raul Grijalva Campana, ²María de los Ángeles Valdivia Antón, ³Luis Xavier Orbes Hinoyosa

^{1,2,3} Universidad Tecnológica Equinoccial, Ingeniería Electromecánica-Ingeniería Automotriz, Vía Chone Km 41/2, Santo Domingo – Ecuador
E-mail: ¹edwin.grijalva@ute.edu.ec, ²maria.valdivia@ute.edu.ec, ³luis.orbes@ute.edu.ec

Energía Mecánica Innovación y Futuro, IV Edición 2015, No.8 (13)

RESUMEN

En los últimos años el consumo de energía eléctrica ha estado creciendo de manera continua en Ecuador. Según el Plan Maestro de Electrificación 2013-2022, la tasa media de crecimiento anual del consumo de energía en el período 2001-2010 fue de un 6,3% y se espera que esta demanda continúe en aumento. Por este motivo y según el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, es necesario aumentar la infraestructura dedicada a la producción de energía eléctrica en el país para responder a esta demanda creciente de energía.

Sin embargo, el uso de fuentes de energía no renovables constituye un problema medioambiental importante. Por eso, desde el gobierno existe la voluntad de que se produzca un cambio de la matriz energética, el cual se recoge en el Plan del Buen Vivir. Las estrategias correspondientes incluyen una diversificación en las fuentes de energía renovables usadas para la obtención de la energía eléctrica, impulsando proyectos de instalaciones de energías renovables alternativas a la energía

hidroeléctrica, como geotermia, biomasa, eólica, solar y corrientes marinas. El presente artículo se enfoca en hacer un análisis de la potencia instalada actual de energía de origen solar fotovoltaico y lo que se tenía proyectado según el Plan Maestro de Electrificación.

Palabras Clave: Central solar fotovoltaica, energías renovables, plan maestro de electrificación, sistema eléctrico.

ABSTRACT

In recent years, power consumption has been growing steadily in Ecuador. According the Plan Maestro de Electrificación 2013-2022, the average annual growth rate of energy consumption in the period 2001-2010 was 6.3% and it is expected to continue to increase this demand. For this reason and according to Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, it is necessary to increase the infrastructure dedicated to the production of electricity in the country to meet this growing

energy demand.

However, the use of non-renewable energy sources is an important environmental problem. Therefore, from the government there will be a change in the energy matrix, which is reflected in the Plan del Buen Vivir. The corresponding strategies include diversification in sources of renewable energy used to produce electricity, promoting facilities projects of renewable energy alternatives to hydropower, like geothermal, biomass, wind, solar and ocean currents. This article focuses on an analysis of the current installed capacity of solar photovoltaic energy source and what was projected by the Plan Maestro de Electrificación.

Keywords: *Photovoltaic solar plant, renewable energy, plan maestro de electrificación, electrical system.*

1. INTRODUCCIÓN

La energía solar fotovoltaica se ha constituido en un aporte energético en el planeta. Según European Photovoltaic Industry Association [1], a final de 2013 existen alrededor de 139 Gigavatios de potencia instalada en centrales de este tipo, las cuales están ubicadas en distintos países, sobresaliendo los de la Unión Europea, como Alemania, Italia y España, además de Estados Unidos y China. Muchos países como Ecuador intentan incorporarse a este grupo, mirando futuros escenarios donde la demanda de energía eléctrica irá incrementándose cada vez, por lo que el gobierno ecuatoriano ha decidido invertir en energías de orden renovables.

El aporte de las energías renovables no convencionales (ERNC) al sistema eléctrico de un país, en particular la energía solar fotovoltaica, no es simple, ya que el LEC (costo normalizado de la electricidad, que representa el coste de la producción de electricidad a lo largo de la vida útil

de un proyecto de una central eléctrica [2]) está casi siempre por encima que el de las energías convencionales, de tal forma que la manera de incentivar el desarrollo de estas costosas energías es a través de primas y subvenciones, las cuales se consideran atractivas a muchos grupos de inversores deseosos de ingresar a este campo, por lo que les resulta un escenario rentable, contratos de largo plazo entre 15 y 25 años, que incluyen precios de venta de la energía producida muy superior a las tradicionales, e incluso con preferencia de ingreso a la red eléctrica.

Según el Plan Maestro de Electrificación 2013-2022 [3], la matriz eléctrica ecuatoriana ha tenido como base de producción de energía eléctrica las centrales hidráulicas con aproximadamente el 50 %, pero hay que tener en cuenta que el exceso de utilización de agua para los embalses puede crear cambios en el ecosistema [4].

También cabe mencionar que un 48 % es provisto por energías convencionales como centrales térmicas de motor de combustión interna, turbogas o turbo vapor y apenas el 2 % proviene de fuentes renovables no convencionales. Es por eso que para diversificar la matriz eléctrica del país se han propuesto otras alternativas, por mencionar un par de ejemplos palpables, la central eólica de Villonaco se encuentra ya inyectando energía limpia al sistema eléctrico ecuatoriano.

Según CELEC EP [5], dentro de las características que describen a esta central, posee una potencia instalada de 16,5 MW, está constituida por 11 generadores de 1,5 MW, el emplazamiento está a 2720 msnm y ha sido escogida por su alto promedio de la velocidad del viento, además se estima que esta central eólica tendrá una producción energética de 64 GWh anual. Continuando con esta misma tendencia, podemos nombrar la central fotovoltaica de Pimampiro con una potencia

instalada inicial de aproximadamente 1 MW, de la cual se prevé un aporte energético de 336 MWh al año [6].

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se pretende mostrar el aporte de las distintas fuentes para producir energía eléctrica en la matriz actual. Proyectar los datos de la incursión de nuevas centrales al sistema eléctrico ecuatoriano, relevando el énfasis en el aporte de la energía solar fotovoltaica y su participación en la matriz eléctrica ecuatoriana.

2.1 Infraestructura instalada en diciembre de 2012

A continuación, se presenta la distribución por sectores de la producción de energía eléctrica en Ecuador, según los datos del Plan Maestro de Electrificación 2013-2022 [3], la aprobación del cual fue ratificada por el Directorio del CONELEC mediante la Resolución No. 041/13, de 10 de septiembre de 2013. Los datos presentados en el Plan Maestro de Electrificación 2013-2022 son los correspondientes a la infraestructura existente en diciembre de 2012. Según el Plan Maestro de Electrificación 2013-2022, la distribución de la potencia efectiva generada en el sistema eléctrico ecuatoriano, teniendo en cuenta las centrales incorporadas al Sistema Nacional Interconectado, según la fuente de energía es la siguiente:

Tabla 1: Distribución de la potencia efectiva disponible en el Sistema Nacional Interconectado por fuentes de energía.

| FUENTE DE ENERGÍA | POTENCIA EFECTIVA |
|-------------------|-------------------|
| Hidroeléctrica | 2256,00 |
| Termoeléctrica | 2136,54 |
| Biomasa | 93,40 |
| Eólica | 16,50 |
| TOTAL | 4502,44 |

Como se puede ver a partir de la tabla 1, a diciembre de 2012, la fuente de energía predominante en Ecuador para la generación de

electricidad en el Sistema Nacional Interconectado es la hidroeléctrica, contribuyendo con un 50,11% de la potencia efectiva disponible; seguida de la termoeléctrica, con un 47,45%; mientras las energías renovables no convencionales incorporadas al Sistema Nacional Interconectado (ERNC) tan solo representan un 2,44% del total de la potencia efectiva disponible. Dentro de estas energías renovables no convencionales instaladas a diciembre de 2012, se cuenta con tres centrales de biomasa, la potencia efectiva de las cuales suma un 2,07% del total, y una central de energía eólica, cuya potencia efectiva representa un 0,37% del total.

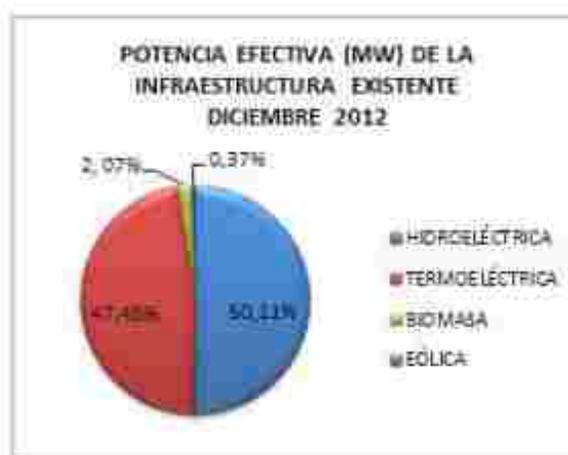


Figura 1: Potencia efectiva, expresada en MW, de la infraestructura existente a diciembre 2012.

Como se puede observar en la figura 1, a diciembre de 2012, el Sistema Nacional Interconectado sólo cuenta con la contribución de dos fuentes de energías renovables no convencionales, biomasa y eólica. Pero no existen centrales de energías renovables como la geotérmica o la fotovoltaica.

2.2 Plan de Expansión

Teniendo en cuenta el incremento previsto de la demanda energética, el CONELEC ha desarrollado el Plan de Expansión de Generación 2013 - 2022 con la finalidad de asegurar el abastecimiento

de energía eléctrica suficiente para cubrir la demanda del país, sin necesidad de depender de interconexiones eléctricas internacionales.

Este plan es presentado en el apartado 3.4 del Volumen 1 del Plan Maestro de Electrificación 2013-2022. Así, en la tabla 3.3 (*PLAN DE EXPANSIÓN DE LA GENERACIÓN 2013-2022*) de este texto, se observa que están incluidos 200 MW de potencia procedentes de proyectos solares fotovoltaicos y de otras fuentes de ERNC, los cuales se espera que estén en funcionamiento para julio de 2014. De esta manera, la energía solar fotovoltaica pasa a formar parte de las fuentes de energía que abastecen al Sistema Nacional Interconectado.

Según los datos disponibles en el Plan Maestro de Electrificación 2013-2022, la distribución de la potencia instalada por fuentes de energía para el año 2013 es la mostrada en la figura 2.

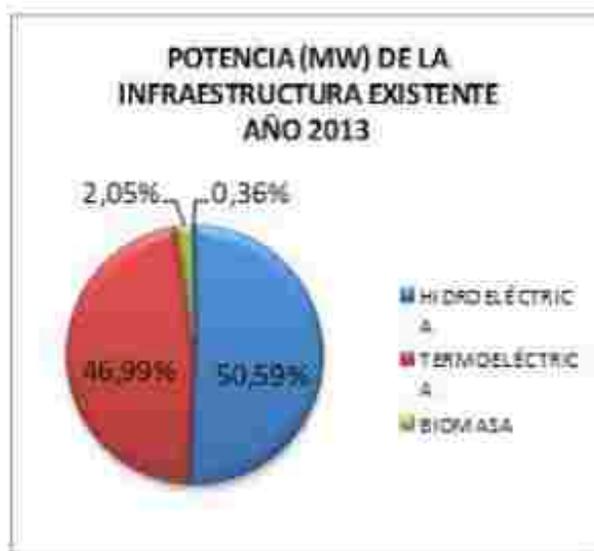


Figura 2: Potencia, expresada en MW, de la infraestructura existente el año 2013.

En este año, con la operación completa de dos nuevas centrales hidroeléctricas, Baba (junio) e Isimanchi (octubre), el porcentaje de potencia generada mediante esta fuente de energía aumenta

ligeramente hasta un 50,59% del total, quedando una distribución por tipo de energía similar a la del año 2012.

En cambio, para el año 2014, estaba prevista la incorporación de varias centrales de energía renovable no convencional. En este año, la potencia instalada asociada a las energías renovables no convencionales alcanza un 5,89% del total. Este porcentaje comprende, las tres centrales de biomasa y la central eólica ya presentes en el año 2012 más los 200MW de potencia procedente de proyectos solares fotovoltaicos y de otras fuentes de ERNC proyectada para incorporarse al sistema eléctrico en el año 2014, distribuidos en diferentes centrales. A 31 de enero de 2013, un total de 98 proyectos de ERNC, con capacidad para generar 368 MW, disponen de título habilitante o registro otorgado por el CONELEC, los cuales se irán incorporando progresivamente al sistema eléctrico, estando previsto (*EL PLAN DE EXPANSIÓN DE LA GENERACIÓN 2013-2022*) del Volumen I del Plan Maestro de Electrificación 2013-2022, la incorporación de 200 MW procedentes de estas centrales durante 2014.

Así, teniendo en cuenta los datos publicados en (*INFRAESTRUCTURA EN GENERACIÓN PARA EL PLAN DE EXPANSIÓN DE GENERACIÓN 2013-2022*) del Plan Maestro de Electrificación 2013-2022, la distribución de la potencia instalada por fuentes de energía para el año 2014 sería la mostrada en la figura 3.



Figura 3: Potencia, expresada en MW, de la infraestructura proyectada para el año 2014, de Electrificación.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se estima que las energías renovables no convencionales tomarán mayor protagonismo en el sistema energético Ecuatoriano. Está planificado que aproximadamente el 6% de la potencia de centrales eléctricas sea proveniente de energías renovables [7], de esta manera el estado pretende tener un matriz energética variada (mix energético), lo que ha promovido la construcción de varias centrales de diferentes tipos.

Dentro de este aporte, está planificada la incursión de energía solar fotovoltaica en la matriz eléctrica ecuatoriana. Hay que recalcar que para incentivar la construcción de centrales de esta costosa energía se ha propuesto un concurso que otorga permisos para centrales de este tipo, además de otras renovables (eólica, biomasa, geotérmicas), las cuales tienen derecho a un incentivo económico. De esta manera el CONELEC (Consejo Nacional de Electricidad), que es el ente encargado de gestionar la energía eléctrica en todo el país, en resolución de directorio el día 14 de abril de 2011 gestiona una regulación que es codificada luego el 1 de noviembre de 2012. Esta regulación denota lo concerniente al aporte energético de energías no convencionales a la red eléctrica ecuatoriana denominándolo:

“Tratamiento para la energía producida con Recursos Energéticos Renovables No Convencionales”

El precio de subvención está detallado en la tabla 2, el cual se encuentra en el documento detallado en la REGULACIÓN No. CONELEC – 004/11 [8].

Tabla 2: Precios Preferentes para Energía Renovables No Convencionales en (cUSD / KWh).

| TIPO CENTRAL | REMUNERACION EN EL ECUADOR CONTINENTAL | REMUNERACION EN ECUADOR INSULAR |
|----------------------|--|---------------------------------|
| Eólica | 9,13 | 10,04 |
| Fotovoltaica | 40,03 | 44,03 |
| Solar Termoelectrica | 31,02 | 34,12 |
| Corrientes Marinas | 44,77 | 49,25 |
| Biomasa < 5 MW | 11,05 | 12,16 |
| Biomasa > 5 MW | 9,6 | 10,56 |
| Biogás < 5 MW | 11,05 | 12,16 |
| Biogás > 5 MW | 9,6 | 10,56 |
| Geotérmicas | 13,21 | 14,33 |

Bajo estas circunstancias, a 31 de enero de 2013, muchas empresas nacionales e internacionales firmaron un contrato que los cobija bajo las tarifas detalladas en la tabla anterior. Se prevé un total de 275 MW de potencia en centrales solares fotovoltaicas mayores a 1 MW y menores a 50 MW. Complementariamente, también se instalarán alrededor de 75 MW en minicentrales menores a 1 MW de potencia. En resumen, Ecuador va a tener un aporte aproximado de 350 MW en centrales renovables de origen solar fotovoltaico, lo cual representa un aporte relativamente importante [8].

El Directorio del CONELEC aprobó la regulación CONELEC 001/13, mediante Resolución No. 010/13 en sesión del 21 de mayo de 2013, que sustituye a la REGULACIÓN No. CONELEC – 004/11 [8], y en la cual se modifica las tablas de remuneraciones, dejando sin subvención a la

energía solar fotovoltaica [9].

Actualmente, la regulación CONELEC 001/13, aprobada por el Directorio del CONELEC mediante Resolución No. 014/14 en sesión de 13 de marzo de 2014 [10], sustituye a la Regulación No. CONELEC - 001/13 (con la misma denominación aprobada a mayo del 2013). Según la nueva regulación, no existe precio preferente para energía solar y eólica. A continuación, en la tabla 3 se muestran las nuevas remuneraciones para las energías renovables:

Tabla 3: Precios Preferentes para Energía Renovables No Convencionales en (cUSD / KWh).

| TIPO DE CENTRAL | REMUNERACIÓN EN ECUADOR CONTINENTAL | REMUNERACIÓN EN ECUADOR INSULAR |
|---------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|
| Biomasa | 9,67 | 10,44 |
| Biogas | 7,32 | 8,03 |
| Hidroeléctricas C < 30 MW | 6,48 | - |

Hay que acotar algo muy interesante, el Ecuador, por estar en una zona con latitud cercana a 0°, tiene una radiación solar muy buena refiriéndonos al sector continental y parecida en muchos lugares, resaltando provincias como Imbabura, Pichincha y Santo Domingo de los Tsáchilas en la zona norte y la provincia de Loja en la zona sur, las cuales poseen un valor medio anual de la irradiación global diaria sobre una superficie horizontal (G_{d,a}) [11]-[12] más alta que las demás provincias, lo que es demostrado por el atlas solar publicado por el CONELEC en agosto de 2008[13].

A continuación, la tabla 4 muestra detalladamente las provincias y cantones de Ecuador con mayor promedio G_{d,a}, destacando las zonas con mayor radiación solar, este análisis está basado en el atlas solar antes mencionado y que es publicado por el CONELEC[13].

Tabla 4: Radiación Solar en Ecuador.

| PROVINCIA | CANTÓN | VALOR MEDIO DE G _{d,a} (WH/M/DÍA) |
|--------------------------------|--|--|
| Loja | Zapotillo | 5700 |
| | Pindal | 5400 |
| | Macara, Celica, Saraguro | 5350 |
| | Loja | 4500 |
| Pichincha | Quito | 5250 |
| | Pedro Moncayo, Rumiñahui, Mejía | 5250 |
| | Cayambe | 4800 |
| | Pedro Vicente Maldonado, San Miguel de los Bancos | 4500 |
| Imbabura | Ihara, Pimampiro, Otavalo, Antonio Ante | 5100 |
| | Cotacachi, San Miguel de Urcuquí | 4500 |
| Santo Domingo de los Tsáchilas | Santo Domingo | 4950 |
| | La Concordia | 4500 |
| Bolívar | Guaranda, Chumbo | 4950 |
| | Las Navas, Echeandía, Caluma, San Miguel, Chitlanes | 4800 |
| Chimborazo | Cumanda, Chunchi, Sector al Oeste de Alausí | 4950 |
| | Colta, Paltranga | 4800 |
| | Piobamba, Guano, Penipe, Chambo, Guano, Sector al este de Alausí | 4200 |
| Resto del País | Región Costa | 4200 |
| | Región Sierra | 3900 - 4500 |
| | Región Amazónica | 3900 - 4800 |

3.1 Proyectos de generación mediante energías renovables no convencionales acogidos a la Regulación N°. CONELEC-004/11

La instalación de las nuevas centrales de energías renovables no convencionales es regulada por el Consejo Nacional de Electricidad. Así, con el objetivo de establecer los requisitos, precios, su período de vigencia y forma de despacho para la energía eléctrica entregada al Sistema Nacional Interconectado y sistemas aislados por los generadores que utilizan fuentes renovables no

convencionales, el Consejo Nacional de Electricidad expidió la Regulación N°. CONELEC-004/11 [8], denominada "Tratamiento para la energía producida con Recursos Energéticos Renovables No Convencionales", la cual fue aprobada por el Directorio del CONELEC, mediante Resolución No. 023/11 en sesión de 14 de abril de 2011.

la figura 4 se ha elaborado según los datos del listado de proyectos de ERNC de más de 1 MW con título habilitante otorgado por el CONELEC y del listado de proyectos de menos de 1 MW con registro otorgado por el CONELEC. Proyectos de generación solar con interés de empresas privadas (Estudios complementarios de proyectos con fuentes de energía renovable) del volumen 4 del plan maestro de electrificación 2013-2022 [3].

Estas tablas contienen los datos de los proyectos que constan con título habilitante a 31 de enero de 2013 o con registro otorgado por el CONELEC, según el caso. Así, la figura 4 muestra la distribución de la capacidad, expresada en MW, correspondiente a cada fuente de energía renovable no convencional asociada a los proyectos aprobados al amparo de la Regulación N°. CONELEC-004/11.



Figura 4: Distribución de la capacidad (en MW) proyectada por tipo de fuente de energía renovable no convencional.

Las energías renovables no convencionales consideradas en la Regulación N°. CONELEC-004/11 son la eólica, biomasa, biogás, fotovoltaica, geotermia, corrientes marinas, solar termoeléctrica y centrales hidroeléctricas de hasta 50 MW de capacidad instalada. Sin embargo, se puede observar en la figura 4 que los proyectos aprobados son en su mayoría de energía fotovoltaica, representando un 94,64% del total, entre las centrales proyectadas con capacidad superior a 1 MW (74,79%) y las de capacidad inferior a 1 MW (19,85%). La capacidad asociada a los proyectos de biomasa es de un 2,91% y con los proyectos de biogás se aportará un 1,36% del total de la potencia.

Mientras que las contribuciones de los proyectos de energía hidráulica y eólica representan tan sólo un 0,55% y un 0,54% del total, respectivamente. Por otra parte, según los datos disponibles, no se ha aprobado ningún proyecto de centrales de energía geotérmica, corrientes marinas o solares termoeléctricas.

3.2 Sistemas fotovoltaicos conectados a la red Eléctrica en Ecuador.

Actualmente, se encuentran instalados 13,4 MW de potencia conectada a la red eléctrica del país, a continuación, se detalla en la siguiente tabla.

Tabla 5: Centrales fotovoltaicas conectadas a la red eléctrica en Ecuador

| EMPRESA | NOMBRE DE LA CENTRAL | POTENCIA INSTALADA A LA RED (MW) |
|-----------------|-------------------------------|----------------------------------|
| Algenotec | Algenotec | 0.994 |
| E.E. Centro Sur | Panel Fotovoltaico | 0.373 |
| E.E. Galápagos | Floreana Perla Solar | 0.021 |
| E.E. Galápagos | San Cristóbal Solar Eólica | 0.013 |
| E.E. Galápagos | Santa Cruz Solar Puerto Ayora | 1.521 |
| Electrial | Paneles Electrial | 0.999 |
| Enercol | Enercol 1-500 | 0.500 |

| | | |
|----------------|-------------------|-------|
| Epfotovoltaica | Mulalo | 1.000 |
| Epfotovoltaica | Pastocalle | 1.000 |
| Genrenotec | Genrenotec | 0.994 |
| Gransolar | Salinas | 2.000 |
| Gransolar | Tren Salinas | 1.000 |
| Sansau | Sansau | 0.992 |
| Valsolar | Central Paragachi | 0.990 |
| Wildtecsa | Wildtecsa | 0.995 |

Se puede observar que los proyectos fotovoltaicos de gran capacidad aún no están ejecutados, lo que refleja el bajo aporte de este tipo de energía al país; y teniendo en consideración que la central de mayor potencia instalada es "Salinas" de la empresa "Gransolar" que aporta 2,00 MW, seguida por la central "Santa Cruz Solar Puerto Ayora" de la empresa "E.E. Galápagos" que aporta 1,52 MW, la cual se encuentra en la región Insular.

De las 15 centrales instaladas en el país, el 66,67 % son centrales menores a 1MW, esto se debe a las mayores facilidades de trámite para la construcción de centrales de esta capacidad, las cuales no requieren ningún título habilitante, sino únicamente registro otorgado por el CONELEC.

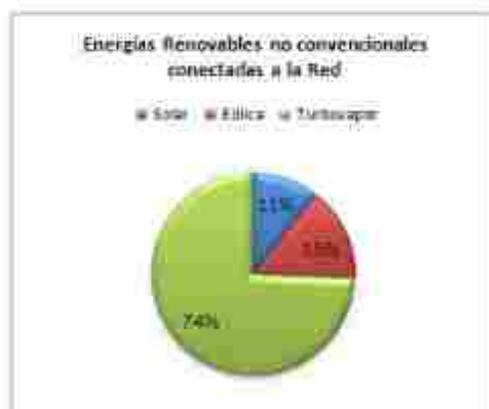


Figura 5: Energías renovables no convencionales conectadas a la red.

En la figura 5 muestra el aporte de las energías renovables no convencionales a la red eléctrica al mes de julio del 2014, datos recolectados de la página web del CONELEC [14]. El mayor aporte es de centrales de biomasa con el 74%, seguida de

las centrales eólicas con el 15%, y por último el aporte de las centrales solares fotovoltaicas, que presenta el 11%, en la figura 5 se ha excluido la energía hidráulica ya que es una energía renovable convencional.

El aporte de estas tres fuentes de energías renovables no convencionales al sistema nacional interconectado de red eléctrica es de 125,68 MW. Es un aporte relativamente bajo, apenas de 2,41% de la capacidad total instalada en el país, en relación a lo previsto que era del 6%.

4. CONCLUSIONES

El costo de la energía solar fotovoltaica es elevado respecto a otros tipos de energías convencionales, además varía en cada país por distintos factores, como transporte del panel y, principalmente, el impuesto al producto. Según una publicación de la empresa española ISOFOTON [15] (empresa fabricante de paneles solares) en su página web oficial comunica que va a invertir alrededor de 100 millones de dólares en la central solar denominada SHIRI I ubicada en la parroquia Calderón a 10 Km de Quito, de lo que se puede deducir que el costo de cada megavatio conectado a la red eléctrica es aproximado a 2 millones de dólares.

De la tabla 2, se observa que la mayor subvención es para la energía solar fotovoltaica, a excepción de la energía generada por corrientes marinas, la cual tiene una construcción más complicada y con costos más altos.

La práctica totalidad de los proyectos presentados fueron para la generación de energía solar fotovoltaica, teniendo un mínimo aporte de proyectos para el resto de energías. Para evitar esto, el gobierno en la actualidad ha publicado una nueva regulación [10], en la cual ha excluido la energía solar fotovoltaica, priorizando otras

energías renovables no convencionales sujetas a subvención, con el objetivo de diversificar la matriz eléctrica.

En la actualidad, no se han incorporado la mayor parte de centrales fotovoltaicas proyectadas al sistema eléctrico Ecuatoriano [16].

En total se han instalado 13,4 MW de capacidad efectiva en generación, lo que representa el 0,26% de la capacidad total. El alto costo se ha derivado en retrasos en la construcción de las centrales.

Los problemas radican en el financiamiento, ya que para obtenerlo deben tener las justificaciones técnicas y estudios de impacto ambiental correspondientes [17]. Además de contar con un respaldo del pago que se va a realizar por la venta de la energía.

Los problemas de financiamiento han provocado que las empresas no pudieran cumplir con los plazos establecidos por el gobierno, produciendo retrasos en la construcción [17], o, en algunos casos, la terminación del contrato por mutuo acuerdo [18].

Otro de los contratiempos ha sido el cambio de titularidad de algunos contratos, que ha demorado la gestión de los permisos [19]. Por otro lado, han existido empresas que han decidido construir sin contar con todos los permisos necesarios [16], por lo cual se han revocado estos contratos.

Todos estos inconvenientes han tenido como consecuencia el no cumplimiento de las expectativas que se tenían para estas fechas [3], siendo la producción de energía solar desde septiembre del 2013 hasta agosto del 2014 de 9,62 GWh [20].

REFERENCIAS

- [1] European Photovoltaic Industry Association. (2014). 2013: Record-year for solar photovoltaics, accelerating market globalization. Recuperado 4 de agosto de 2014, de http://www.epia.org/index.php?eID=tx_nawsecured1&u=0&file=/uploads/tx_epiapressreleases/Global_Market_Outlook_2014_Press_Release.pdf&t=1408033444&hash=efb3121715bf203ed6d6dfe88e6a410227c66e43b
- [2] Linares, P., Frias, P., Gómez, T. (2014). Evaluación del potencial de las diversas fuentes de energía renovable y de las tecnologías para su aprovechamiento: oportunidades y retos para el sector de la energía. Recuperado 10 de marzo de 2014, de http://economia.gencat.cat/web/.content/documents/articles/arxius/doc_26617535_1.pdf
- [3] CONELEC, Consejo Nacional de Electricidad. (2013). Plan Maestro de Electrificación 2013 – 2022. Recuperado de 29 de noviembre de 2013, de <http://www.conelec.gob.ec/contenido.php?cd=10329>
- [4] Bódis, K., Monforti, F., Szabó, S. (2014). Could Europe have more mini hydro sites? A suitability analysis based on continentally harmonized geographical and hydrological data, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 37, 794–808. Recuperado el 12 de mayo de 2014, de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032114003967>
- [5] CELEC EP, Corporación Eléctrica del Ecuador. (2014). Parque Eólico Villonaco. Recuperado 10 de junio de 2014, de https://www.celec.gob.ec/index.php?option=com_content&view=article&id=189:eólico

- [6] SmartGrid. (2014). ECUADOR INAUGURA SU PRIMERA PLANTA SOLAR. Recuperado 12 de junio de 2014, de <http://www.smartgridcostarica.com/2013/01/05/ecuador-inaugura-su-primera-planta-solar>.
- [7] CONELEC, Consejo Nacional de Electricidad. (2012). Participación privada en proyectos de generación eléctrica con energías renovables. Recuperado 11 de abril de 2014, de <http://www.conelec.gob.ec/contenido.php?cd=10167>
- [8] CONELEC, Consejo Nacional de Electricidad. (2013). REGULACIÓN No. CONELEC - 004/11. Recuperado 11 de abril de 2014, de http://www.conelec.gob.ec/normativa/CONELEC_004_11_ERNC.pdf
- [9] CONELEC, Consejo Nacional de Electricidad. (2014). Regulación No. 001/13. Recuperado 2 de septiembre de 2014, de http://www.conelec.gob.ec/normativa/001_13%20Energias%20Renovables.pdf
- [10] CONELEC, Consejo Nacional de Electricidad. (2014). Regulación No. 001/13. Recuperado 17 de octubre de 2014, de http://www.conelec.gob.ec/normativa/REGULACION%20001_13_CODIFICADA.pdf
- [11] Lorenzo, E. (2006). Radiación solar y dispositivos fotovoltaicos, Electricidad Solar Fotovoltaica Vol. 2, Madrid: Editorial Progensa.
- [12] Martínez, F. (2012). Caracterización y Modelado de Grandes Centrales Fotovoltaicas. Tesis de doctorado, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España.
- [13] CONELEC, Consejo Nacional de Electricidad. (2008). ATLAS SOLAR DEL ECUADOR CON FINES DE GENERACIÓN ELÉCTRICA. Recuperado 22 de enero de 2014, de http://www.conelec.gob.ec/archivos_articulo/Atlas.pdf
- [14] CONELEC, Consejo Nacional de Electricidad. (2014). Balance nacional de energía eléctrica. Recuperado 27 de octubre de 2014, de <http://www.conelec.gob.ec/contenido.php?cd=10261&l=1>
- [15] ISOFOTON. (2012). Isofoton desarrolla una de las mayores plantas fotovoltaicas (50 MW) de América Latina en Ecuador. Recuperado 3 de junio de 2014, de <http://www.isofoton.com/es/node/681>
- [16] Araujo, A. (2014). Los proyectos fotovoltaicos se estancaron, EL COMERCIO. Recuperado 12 de agosto de 2014, de <http://www.elcomercio.com/actualidad/negocios/proyectos-fotovoltaicos-se-estancaron.html>
- [17] CONELEC, Consejo Nacional de Electricidad. (2014). Resolución No. 037/14. Recuperado 31 de julio de 2014, de <http://www.conelec.gob.ec/normativa/037-14.pdf>
- [18] CONELEC, Consejo Nacional de Electricidad. (2014). Resolución No. 007/14. Recuperado 31 de julio de 2014, de <http://www.conelec.gob.ec/normativa/007-14.pdf>
- [19] CONELEC, Consejo Nacional de Electricidad. (2014). Resolución No. 034/14. Recuperado 31 de julio de 2014, de <http://www.conelec.gob.ec/normativa/034-14.pdf>
- [20] CONELEC, Consejo Nacional de Electricidad. (2014). Producción mensual de energía eléctrica a nivel nacional por tipo de fuente energética (Gwh). Recuperado 17 de octubre de 2014, de http://www.conelec.gob.ec/enlaces_externos.php?l=1&cd_menu=4224

BIOGRAFÍA

1 Edwin Grijalva, Master Universitario en energía solar fotovoltaica, Ingeniero en Mecánica Automotriz, Docente Tiempo Completo, Coordinador de las carreras de Ingeniería Automotriz e Ingeniería Electromecánica de la Universidad Tecnológica Equinoccial.



2 Xavier Orbea, Ingeniero Automotriz, Diplomado superior en Autotrónica, Egresado de la maestría en Gestión de la Producción, Estudiante de la Maestría en Energías Renovables y Sostenibilidad Energética Universidad de Barcelona, Vicepresidente administrativo INGAUTO-TEC, Supervisor de prácticas Universidad Tecnológica Equinoccial.



3 María de los Ángeles Vallvé, Doctora en Física Avanzada, Diploma de Estudios Avanzados en Física de la Materia Condensada, Licenciada en Física, Docente Tiempo Completo de las carreras de Ingeniería Automotriz e Ingeniería Electromecánica de la Universidad Tecnológica Equinoccial.

Registro de publicación:

| | |
|--------------------|-------------------|
| Fecha de recepción | 21 de julio 2015 |
| Fecha aceptación | 18 diciembre 2015 |

SISTEMA DE GENERACIÓN DE HIDRÓGENO PARA LA ALIMENTACIÓN VEHICULAR DUAL GASOLINA- HHO EN MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA

HYDROGEN GENERATING SYSTEM FOR VEHICULAR POWER DUAL FUEL - HHO IGNITION ENGINES

¹Germán Erazo Laverde, ²Diego Juma Jar, ³Wladimir Martínez Anangón, ⁴Juan Castro Clavijo

^{1,4} Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica Quijano y Ordoñez y Marqués de Maínza s/n
E-mail: ¹wgerazo@espe.edu.ec, ²dajuma@yahoo.com, ³wlamarand1@hotmail.com, ⁴juccastro@espe.edu.ec

Energía Mecánica Innovación y Futuro, IV Edición 2015, No.9 (13)

RESUMEN

La investigación tiene como propósito el diseño, construcción, implementación y pruebas de un sistema de generación a bordo de gas HHO también conocido como gas Brown en un motor de cuatro tiempos marca Kawasaki modelo ZX 750F de un vehículo monoplace.

El gas HHO que se produce a demanda se suministra de forma directa al sistema de alimentación del motor, el cual se combina con la mezcla aire combustible obteniéndose como resultado un carburante complementario a la gasolina. Se desarrolla un sistema eficiente que, sin realizar modificaciones, busca mejorar las condiciones de funcionamiento del motor de combustión.

El gas combustible se obtiene mediante electrólisis del agua químicamente pura y un electrolito el cual permite separarla en sus elementos constitutivos, hidrógeno y oxígeno, en forma gaseosa.

Instalado el sistema se determina los efectos

del gas HHO, mediante el análisis de las curvas características como: potencia, torque, autonomía (consumo de combustible) y emisión de gases contaminantes para determinar la factibilidad técnica del uso del hidrógeno como combustible alternativo.

Palabras Clave: Gas HHO, electrólisis, hidrógeno, combustible alternativo

ABSTRACT

The research aims to design, construction, implementation and testing of a system for generating HHO gas aboard also known as Brown gas into a four-stroke engine Kawasaki ZX 750F brand of car vehicle type.

The HHO gas produced on demand is supplied directly to the motor supply system, which is combined with the fuel air mixture to obtain as a result a complementary fuel to gasoline. An efficient system, without modification, seeks to

improve the operating conditions of the combustion engine is developed.

The fuel gas is produced by electrolysis of chemically pure water and an electrolyte which allows separate it into its components, hydrogen and oxygen, in gaseous form.

Installed the system effects HHO gas is determined by analyzing the characteristic curves as: power, torque, autonomy (fuel) and greenhouse gas emissions to determine the technical feasibility of using hydrogen as an alternative fuel.

Keywords: *HHO gas, electrolysis, hydrogen, alternative fuel.*

1. INTRODUCCIÓN

La marcada dependencia hacia los combustibles fósiles en los últimos años (carbón, petróleo y gas natural) plantea un difícil inconveniente ya que éstos no representan un recurso infinito, con el tiempo, el planeta se quedará sin combustibles fósiles o el costo por obtenerlos será demasiado elevado.

Adicionalmente, los combustibles fósiles hacen que la contaminación del aire, agua y suelo provoque gases de efecto invernadero que contribuyen al calentamiento global, estos factores negativos traen consigo efectos negativos en la salud de los seres vivos.

El desarrollo de las principales ciudades en el Ecuador en los últimos años ha sido muy notable, así como también el crecimiento del parque automotor y el uso excesivo del petróleo como fuente principal de combustible para los vehículos con motores gasolina y diesel.

En los últimos años se ha visto la necesidad de desarrollar mecanismos efectivos y eficientes que permitan optimizar los principales parámetros de los motores de combustión interna: potencia, torque y consumo de combustible.

Esto ha incentivado a impulsar el desarrollo y ejecución de este proyecto vinculado con la energía alternativa por medio de la utilización de combustibles amigables con el medio ambiente.

Con la ejecución de esta idea se espera obtener beneficios a corto y largo plazo, mediante la instalación de un generador de gas HHO, intentando obtener un mayor recorrido del vehículo con menor cantidad de gasolina, además de disminuir el alto grado de contaminación que producen los vehículos, con el fin de aminorar el índice de enfermedades causadas por la polución.

La principal ventaja de usar gas HHO como fuente de energía en el proceso de combustión es que no genera emisiones contaminantes debido a que como resultado de la combustión se genera vapor de agua, disminuyendo de esta manera el impacto al medio ambiente producido por motores y el funcionamiento de sus sistemas de alimentación.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. *Uso del hidrógeno en automoción*

El hidrógeno se puede emplear en automoción de dos formas distintas. Como combustible de un motor de combustión interna alternativo (M.C.I.). En este caso su rendimiento máximo sobre el poder calorífico inferior (P.C.I.) es del 27% aproximadamente (rendimiento medido como el cociente entre la energía mecánica a la salida del eje del motor y la energía entregada por el combustible). También se puede emplear como combustible de una pila de combustible. En este

caso el rendimiento está en torno al 60% sobre el P.C.I. (rendimiento medido como el cociente entre la energía entregada por el eje del motor eléctrico y la energía entregada por el combustible de la pila) [1].

2.2. Gas Brown



Figura 1. Antorcha de soldadura con gas Brown

El gas HHO es conocido también como gas Brown, en honor a Yull Brown, a quien se le acredita la patente de producción del gas HHO en el año 1974. Yull desarrolló un método para electrolizar el agua en una mezcla estequiométrica exacta obteniendo como resultado una sustancia utilizada en procesos de soldadura, la cual es altamente inflamable pero no es combustible, cuando se utiliza correctamente. En los últimos años se han desarrollado dispositivos que bajo este principio generan el gas Brown a demanda, siendo utilizado como combustible complementario a la gasolina, mejorando su rendimiento y reduciendo además el nivel de emisiones. De esta manera se puede electrolizar pequeñas cantidades de agua en un sistema a bordo del vehículo y convertirla en gas HHO, el cual se envía de forma directa al sistema de admisión del motor ayudando a que la combustión sea más completa y limpia. [2]

2.3. Tipo de celdas electrolizadoras

Existen dos tipos de celdas electrolizadoras que se utilizan en el campo automotriz. Ambos diseños se fabrican en acero inoxidable.

Celdas secas

Son celdas más fáciles de manejar y diseñar. Las celdas secas o conocidas como dry cells se

caracterizan porque, a diferencia de las celdas húmedas, no se encuentran sumergidas en agua, es decir, la misma celda es el contenedor. Los electrodos de este tipo de celdas están separadas por juntas (generalmente de caucho) las cuales evitan que el agua se escape de la celda hacia las conexiones eléctricas, o que el electrolito se ponga en contacto con los bordes de dichas placas [4][5].

Celdas húmedas

También llamadas sumergibles, se caracterizan porque los electrodos van sumergidos en la solución de electrolito dentro de un contenedor. Es un diseño poco eficiente ya que trae consigo varios inconvenientes de funcionamiento. El oxígeno producido en el proceso empieza a reaccionar con la superficie metálica del ánodo provocando oxidación, erosionándola. Otro inconveniente radica en que no se puede disipar el calor producido por la electrolisis, produciéndose vapor de agua que se mezcla con el gas HHO [6][7].

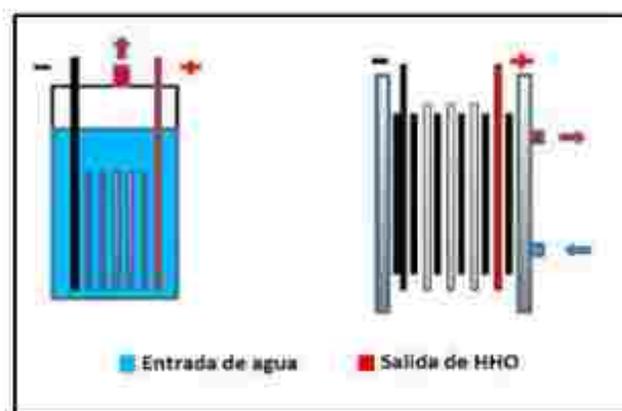


Figura 2. Representación de la celda húmeda y celda seca

2.4. Diseño y construcción

Se procede a diseñar y construir el sistema de generación de gas HHO para vehículos, con las siguientes características:

En la tabla 1 se presentan las especificaciones de cada uno de los elementos constitutivos del generador diseñado.

Tabla 1. Ficha técnica del generador de gas HHO

| ESPECIFICACIONES DEL GENERADOR DE GAS HHO | |
|---|--|
| Número de placas | 20 |
| Número de placas negativas | 4 |
| Número de placas positivas | 3 |
| Número de placas neutras | 13 |
| Número de separadores | 22 |
| Cámaras generadoras | 6 |
| Toma de abastecimiento | 1 |
| Toma de salida de gas al burbujeador | 2 |
| Voltaje | 12 V DC |
| Consumo eléctrico | 12 A |
| Caudal | $1,33 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}$ |
| Capacidad de agua | $6,132 \times 10^{-2} \text{ m}^3$ |

Para realizar el cálculo de producción de gas HHO, se calcula la cantidad de gas que genera en 1 minuto (60s), con una intensidad de 12 A y en condiciones de presión y temperatura normales, es decir a 1 atm y 25°C (298°K) respectivamente para lo cual es necesario utilizar las siguientes ecuaciones:

$$m = \frac{EIt}{F} \quad \text{Ec. 1}$$

Donde:

m= Masa de la sustancia alterada (g)

E= Peso equivalente (g/mol)

I= Intensidad de corriente (A)

t= Tiempo (s)

F= Constante de Faraday= 96500 C/mol

$$E = \frac{Pa}{V} \quad \text{Ec. 2}$$

Donde [7][8]:

Pa= Peso atómico (g)

V= Valencia (mol)

$$I = \frac{Q}{t} \quad \text{Ec. 3}$$

Donde:

I= Intensidad (A)

Q= Carga eléctrica (Coulomb)

t= Tiempo (s)

$$PV = nRT \quad \text{Ec. 4}$$

Donde:

P= Presión (atm)

V= Volumen (l)

n= Numero de moles (mol)

R= constante universal de los gases 0,082 (atm×l)/(mol×°K)

T= Temperatura (°K)

La tabla 2 muestra el flujo total de HHO producido por el generador, luego de calcular los volúmenes de sus gases componentes, es decir, oxígeno e hidrógeno

Tabla 2. Volúmenes obtenidos

| | |
|------------------------------------|---|
| Volumen de hidrógeno en cada celda | $V_{\text{H}}=9,1 \times 10^{-4} \text{ m}^3$ |
| Volumen total de hidrógeno | $V_{\text{totalH}}=5,46 \times 10^{-2} \text{ m}^3$ |
| Volumen de oxígeno en cada celda | $V_{\text{totalO}}=2,73 \times 10^{-2} \text{ m}^3$ |
| Volumen total de oxígeno | $V_{\text{O}}=4,55 \times 10^{-2} \text{ m}^3$ |
| Volumen de HHO producido | $V_{\text{HHO}}=8 \times 10^{-2} \text{ m}^3$ |

Se eligió un mayor número de placas negativas debido que en la reacción de la electrólisis el oxígeno se genera en las placas positivas y el hidrógeno en las placas negativas, Estas placas están situadas a los extremos del generador antes de las placas tope, de esta manera el gas producido sale con facilidad.

El generador consta de las siguientes partes:

- 13 placas neutras.
- 4 placas negativas.
- 3 placas positivas.
- 2 placas para topes.

Se ajustan los pernos figura 3 existentes en el generador de gas HHO para mantener su hermeticidad.

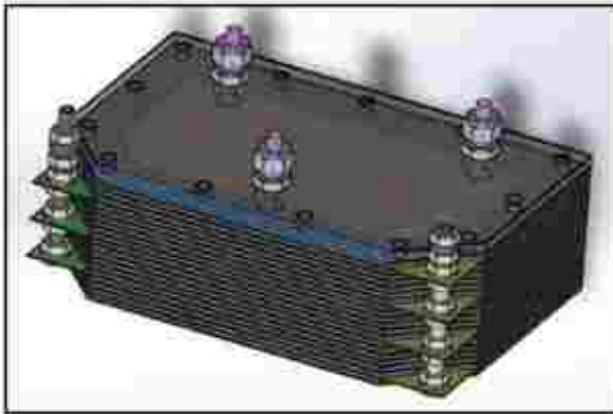


Figura 3. Generador de gas HHO

El depósito está diseñado para albergar $2 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ (2 litros) de agua destilada con electrolito (KOH) y los $5 \times 10^{-4} \text{ m}^3$ (0,5 litros) donde se aloja el gas HHO para luego ingresar a la admisión del motor de combustión interna.

El burbujeador es un dispositivo de seguridad que funciona como válvula unidireccional. En lo referente a su estructura, básicamente es un recipiente parcialmente lleno de agua, en este caso el nivel del depósito no debe ser menor a $\frac{1}{4}$ de la capacidad total del mismo.

Tabla 3. Ficha técnica del depósito y burbujeador

| ESPECIFICACIONES DEL DEPÓSITO Y BURBUJEADOR | |
|---|--------------------------------|
| Capacidad | $2 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ |
| Altura | 0,27 m |
| Diámetro | 0,11 m |
| Toma del burbujeador | 2 |
| Toma de abastecimiento al generador | 1 |

| | |
|-------------------------------------|---|
| Toma de salida de gas a la admisión | 1 |
| Tapa de suministro al depósito | 1 |

El depósito y el burbujeador figura 4 son construidos en un solo conjunto con todos los componentes establecidos previamente en el diseño

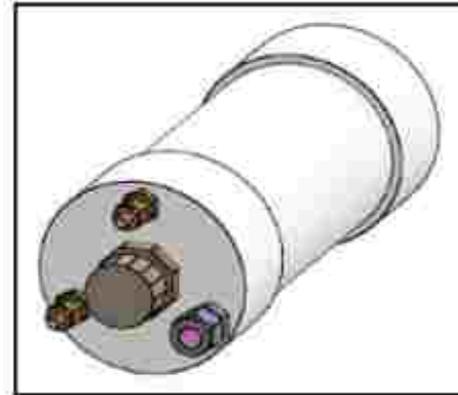


Figura 4. Depósito y burbujeador

El circuito eléctrico figura 5 consta de varios elementos para comprobar el buen funcionamiento del generador

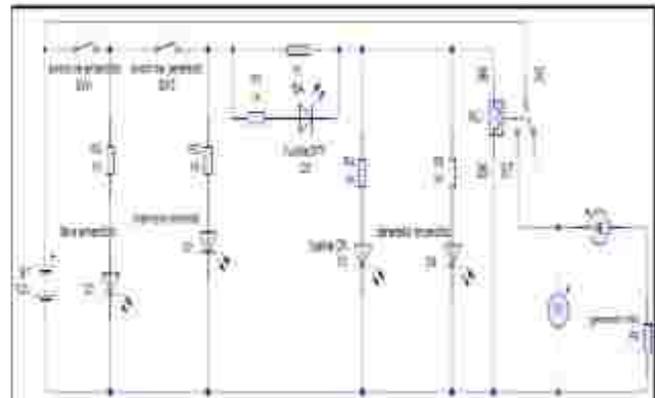


Figura 5. Esquema eléctrico

Con los materiales se instaló los componentes del módulo de control figura 6.



Figura 6. Módulo de control

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para verificar los efectos producidos por el sistema de generación de gas HHO diseñado, se procedió a realizar el análisis de cada uno de los parámetros característicos del motor de combustión interna del vehículo monoplaza (torque, potencia, consumo de combustible y emisión de gases). Dicho análisis se realiza en primera instancia con el motor del vehículo en condiciones normales de funcionamiento figura 7, es decir, con el sistema de alimentación convencional del motor. Posteriormente, el análisis se ejecuta en el sistema dual gasolina - HHO figura 8. Finalmente se compará los parámetros analizados en ambas condiciones mediante la tabulación de los datos obtenidos [9].

Potencia y Torque

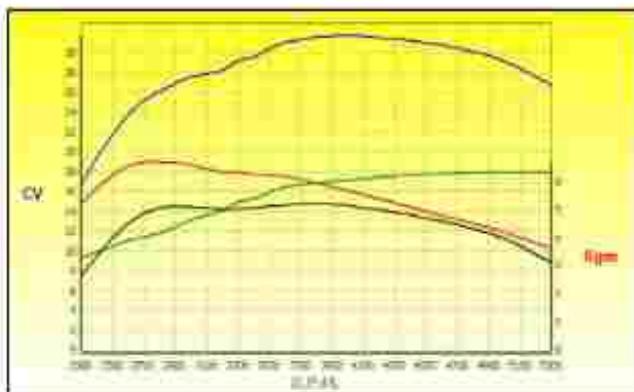


Figura 7. Curvas de torque y potencia con el sistema convencional de gasolina

La potencia máxima a 4000 rpm utilizando el sistema convencional de alimentación de gasolina es de 31,7 CV y utilizando el sistema dual se observa una potencia máxima de 36,5 CV a 4800 rpm.

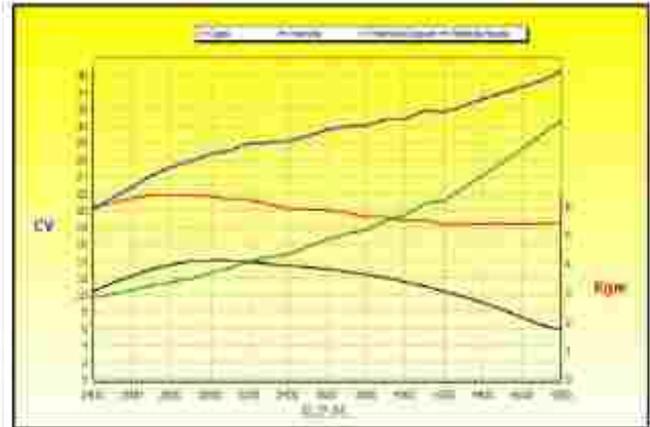


Figura 8. Curvas de torque y potencia con el sistema dual gasolina - HHO implementado

Las pruebas de consumo de combustible figura 9 se ejecutaron mediante una ruta previamente establecida de 35 kilómetros, empezando la prueba en el sector de Machachi, provincia de Pichincha y concluyendo la misma en Lasso, ubicado en la provincia de Cotopaxi. Las seis pruebas de autonomía se desarrollaron con el depósito de combustible lleno a toda su capacidad de almacenamiento, es decir 5 galones equivalente a 18,297 litros de gasolina.

Gráfico comparativo de consumo de combustible sistema convencional vs. sistema gasolina - HHO

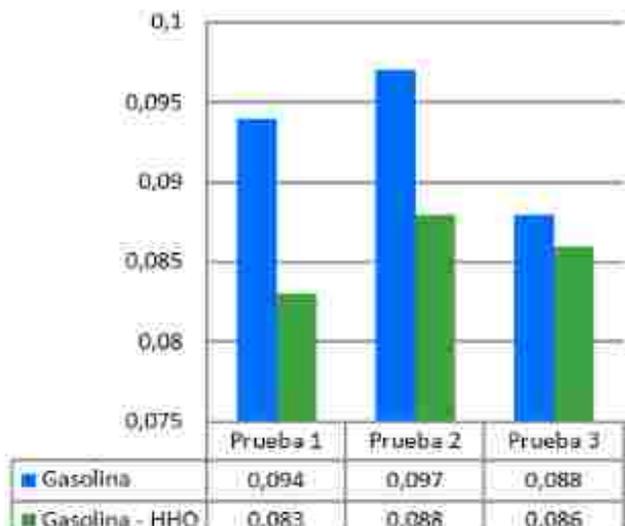


Figura 9. Análisis de consumo de combustible con ambos sistemas

Al obtener un promedio de las tres pruebas realizadas figura 9 con el sistema de alimentación convencional y con el sistema dual gasolina – HHO se obtuvieron valores de 0,093 y 0,088 litros por cada kilómetro recorrido respectivamente. Con ello se obtuvo una variación de 7,53%, que representa el ahorro de combustible obtenido utilizando al hidrógeno como complemento de la gasolina.

Emisiones de gases contaminantes

En la tabla 4 se muestran los resultados obtenidos al realizar la prueba de emisiones. Se analiza el aumento o disminución de cada uno de los gases producidos en el proceso de combustión del motor.

Tabla 4. Resultados obtenidos prueba de gases (ralenti)

| Gas | Sistema convencional gasolina | Sistema dual gasolina - HHO | Porcentaje de Variación |
|----------|-------------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| CO (%) | 0,39 | 0,31 | 20,51% (disminución) |
| HC (ppm) | 275 | 143 | 48,00% (disminución) |
| CO2 (%) | 14,5 | 13,7 | 5,52% (disminución) |
| O2 (%) | 3,89 | 3,93 | 1,02% (aumento) |
| Lambda | 1,154 | 1,175 | 1,79% (aumento) |

Las emisiones de CO, en las pruebas realizadas son de 0,39% con el sistema convencional y de 0,31% figura 10 con el sistema implementado, produciéndose una variación de 20,51%. El porcentaje de CO es mayor utilizando gasolina como combustible, lo cual indica que existe una combustión incompleta.

Las emisiones de CO, en las pruebas realizadas son de 0,39% con el sistema convencional y de 0,31% figura 10 con el sistema implementado, produciéndose una variación de 20,51%. El

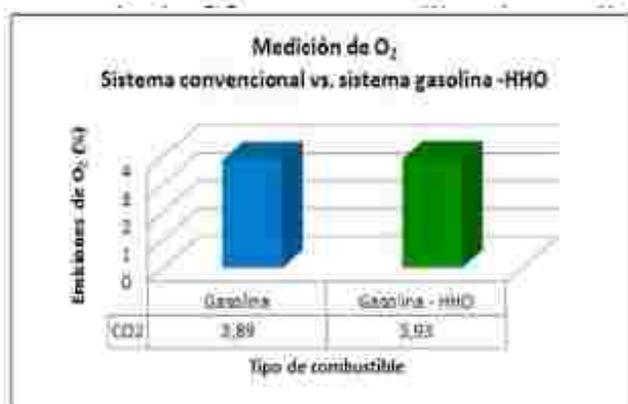


Figura 10. Emisiones de CO

En cuanto se refiere a los hidrocarburos no combustionados, existe una considerable disminución en partículas por millón figura 11. El sistema convencional general 275 ppm de HC, a diferencia del sistema dual que produce 143 ppm de HC, obteniéndose una disminución del 48%



Figura 11. Emisiones de HC

En el caso del CO2, figura 12 existe una ligera variación entre los sistemas de alimentación. Con sistema convencional el valor es de 14,5% mientras que con el sistema con gas HHO el valor es de 13,7%, con una variación de 5,52%. Mientras más alto sea el porcentaje de CO2 mejor será el proceso de combustión.

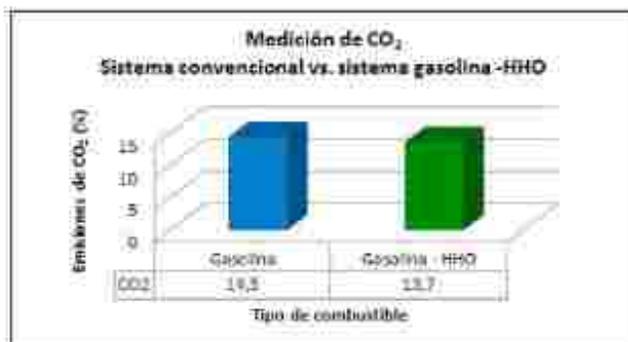


Figura 12. Emisiones de CO2

ENERGÍA Y MECÁNICA INNOVACIÓN Y FUTURO
 No. 4 Vol. 1 / 2015 (13) ISSN 1390 - 7395 (9/13)

El contenido de O₂ figura 13 con gasolina es de 3,89% y con gas HHO es de 3,93%, produciéndose una leve variación de apenas 1,02%, lo cual demuestra que la lectura con ambos sistemas es de una mezcla pobre.



Figura 13. Emisiones de O₂

CONCLUSIONES

Se instaló de manera favorable el sistema dual (HHO/gasolina) en el vehículo monoplaza, obteniéndose como resultados finales que la potencia máxima aumentó en un porcentaje de 15,14%.

El torque máximo tuvo una reducción de 4,91%. La prueba de autonomía, el sistema dual gasolina HHO permitió obtener un ahorro de combustible de 7,53%.

El sistema de alimentación dual diseñado e instalado permite que se realice una combustión más completa en relación al sistema convencional de gasolina, lo cual se refleja en la disminución en porcentaje de emisiones de C, HC y una relativa igualdad en la emisión de CO₂.

REFERENCIAS

[1] Atkins, P. (2006). Principios de química los principios del descubrimiento. Madrid: Editorial Médica Panamericana S.A.

[2] BOSCH. (2003). Técnica de los gases de escape para motores de gasolina. BOSCH.

[3] Crouse, W., & Anglin, D. (1992). Mecánica de la motocicleta. Barcelona: MARCOMBO.

[4] Fowler, R. (1994). Electricidad: principios y aplicaciones. Barcelona: Reverté S.A.

[5] Gayoso, M. (1991). Resolución de problemas de química general. Barcelona: Reverté S.A.

[6] Gutiérrez, L. (2005). El hidrógeno, combustible del futuro. Obtenido de Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales: México: Editorial Prentice Hall.

[7] Llorca, J. (2010). El hidrógeno y nuestro futuro energético. Barcelona: UPC.

[8] Sullivan, M. (2006). Álgebra y Trigonometría. Prentice Hall.

[9] Zaki, A. (2012). UMP Institutional Repository. Obtenido de DEVELOPMENT HYDROGEN GAS GENERATOR FOR DUAL FUEL ENGINE USING YULL BROWN METHOD: <http://umpir.ump.edu.my/2980/1/CD6124.pdf>

BIOGRAFÍA



Germán Erazo, nació en la ciudad de Latacunga, Ecuador. Es Ingeniero Automotriz e Industrial, Estudios de Posgrado en Autotrónica, Gestión de Energías y Administración de Empresas. Docente Tiempo completo en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Latacunga.

| Registro de publicación: | |
|--------------------------|-----------------------|
| Fecha de recepción | 10 de septiembre 2015 |
| Fecha aceptación | 28 noviembre 2015 |



Juma Yar Diego Alonso, nació en la ciudad de Ibarra, Ecuador. Es Ingeniero Automotriz, profesional independiente asesor en sistemas mecánicos y electrónicos del automóvil.



Martínez Anangonó Holguer Wladimir, nació en la ciudad de Quito, Ecuador. Es Ingeniero Automotriz, profesional independiente asesor en sistemas mecánicos y electrónicos del automóvil.



Juan Castro, nació en la ciudad de Ambato, Ecuador. Es Ingeniero Mecánico, Estudios de Posgrado en Docencia y Gestión de Energías. Docente Tiempo completo en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Latacunga.

ESTUDIO DE TECNOLOGÍAS DE LUCES CONVENCIONALES, DE BOMBILLAS INCANDESCENTES Y LUCES LED

STUDY OF CONVENTIONAL LIGHTING TECHNOLOGIES OF INCANDESCENT BULBS, AND LED LIGHTS.

¹Santiago Fernando Celi Ortega, ²Abel Polvino Remache Coyago, ³Miguel Eduardo Martínez Betancourt, ⁴Luis Eduardo Tipanlúña Sarchi

^{1,2,3,4} Universidad Internacional SEK - Facultad de Ingeniería Mecánica, Alberto Einstein y Sta Transversal (Quito)

²Universidad Central del Ecuador - Facultad de Ingeniería, Ciencias Físicas y Matemáticas - Carrera Diseño Industrial

E-mail: ¹santiago.celi@unsek.edu.ec ²apremache@uce.edu.ec ³miguelmarfinezbetancourt@hotmail.com ⁴luis.tipanluna@unsek.edu.ec

Energía Mecánica Innovación y Futuro, IV Edición 2015, No.10 (13)

RESUMEN

Este documento muestra de forma breve los resultados de los ensayos realizados en un banco simulador de un sistema de iluminación de vehículos livianos. El banco simulador fue creado con el fin de ser un método genérico de estudio del sistema de iluminación, y ser la herramienta adecuada para la creación de nuevos diseños y realizar los ensayos necesarios para la seguridad de los ocupantes de los vehículos. Se realizó varios ensayos tales como: Ensayo de conformidad (CFN), ensayo de cantidad y condiciones de iluminación (CIL), ensayo de simulación de anomalías (SAN), ensayo de tiempos de reacción (TRE), ensayo de Recuperación de deslumbramiento (RDE), y ensayo de consumo de energía (CEN) con los que se obtuvo resultados adecuados.

Palabras claves: iluminación automotriz, seguridad vial, eficiencia energética.

ABSTRACT

This document briefly shows the results of tests conducted in a bench simulator illuminated light vehicle. The simulator bank was created to be a generic method of study of the lighting system, and be the right tool for the creation of new designs and perform the tests required for the safety of vehicle occupants. Several tests such as was done. Test of conformity (CFN), test quantity and lighting conditions (CIL), simulation test abnormalities (SAN) test reaction times (TRE), test Recovery glare (RDE), and energy consumption test (CEN) with which adequate results were obtained.

Keywords: automotive lighting, road safety, energy efficiency.

1. INTRODUCCIÓN

La iluminación vehicular es un tema de alta atención en lo que se refiere a la seguridad vial. Los esfuerzos por reducir accidentes de tránsito y conseguir un mayor confort a los conductores debe ser el principal objetivo [1]. La investigación busca atender los problemas evidenciados en el parque automotor ecuatoriano. La fase inicial fue construir un banco de pruebas que permita recopilar datos y realizar pruebas con diferentes sistemas de iluminación, de esta manera determinar las principales anomalías de iluminación que presentan los automotores.

Debido a las condiciones de uso de los vehículos, las condiciones de camino, y vibraciones hacen que los componentes mecánicos de los faros presenten desalineamiento, lo que ocasiona pérdida de la iluminación del terreno y en casos más severos, deslumbramiento a conductores que circulan en sentido contrario [2].

Se han dado diversas alternativas de solución a este problema como es el caso de las lámparas de xenón que se dan en vehículos únicamente de alta gama por los altos costos de los materiales y su fabricación [3].

La investigación concientiza a la comunidad, al enfatizar el adecuado uso del sistema de iluminación, poniendo atención en el uso correcto de luces direccionales, de parqueo, luces de ráfaga y de carretera de forma correcta.

En el Ecuador, es muy común observar en conductores jóvenes que se adaptan sistemas de accesorios visuales, con intensidades luminosas excesivamente altas, que al no tener un adecuado control, provoca deslumbramientos a los conductores. Se utilizan accesorios, tales como imitaciones de bombillas LED con funciones

intermitentes, que no brindan las adecuadas funciones de visibilidad.

2. MÉTODO

El banco de ensayos utilizado, cuenta con mecanismos de sencilla ejecución mediante los cuales es posible modificar sus dimensiones de forma rápida durante los ensayos. Permitiendo recrear y reproducir diseños existentes en el parque automotor.

Los principales parámetros a tomar en cuenta en los sistemas de iluminación vehicular son: Cantidad de iluminación [Lux], distancia, alcance de iluminación y corriente consumida, para realizar posteriores análisis de la potencia consumida y eficiencia energética.

El equipo dispone de interruptores conectados en serie con cada elemento y consumidor del banco simulador, con el fin de simular la falla de cualquier elemento deseado.

Se realizaron diferentes ensayos, que involucran el estudio del sistema de iluminación en distintas condiciones ambientales: ambientes nocturnos, ambientes diurnos en condiciones adversas y ambientes nocturnos en condiciones escasas. Dichos ensayos son:

Ensayo Preliminar

Se establece los parámetros de una inspección básica [4] que se debe realizar al sistema de iluminación de un vehículo, tal como se muestra en la Figura 1:

Distancia de revisión a la superficie iluminada (dr): 5 m.

Altura de la zona iluminada en la superficie desde el piso (h1): 0,9 h.

Ancho de la zona iluminada en superficie (a1): > 1.2 m.

Ancho de la zona iluminada en superficie (a1): + 0,1 m -- + 0,3 m.

Alcance de iluminación: 50 m.

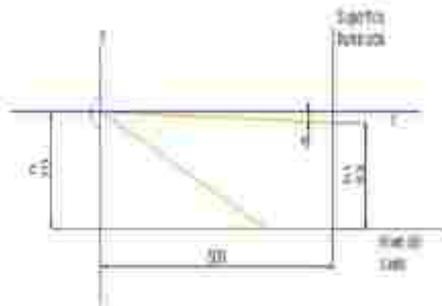


Fig. 1. Esquema de inspección básica, visto desde un punto lateral al banco simulador.

Ensayos

El Ensayo de conformidad (CFN), realiza pruebas de conformidad con sujetos observadores distintos, que realizan apreciaciones visuales de la calidad de la iluminación presentada por cada grupo de iluminación de luces piloto, siendo estas: luces de posición, reversa, freno, intermitentes y direccionales. Los ensayos se realizan involucrando ambos sistemas, tanto con luces convencionales de bombillas incandescentes como con luces LED, sometidos a prueba en ambientes diurnos y nocturnos, en condiciones climatológicas favorables y escasas.

El luxómetro se coloca a distancias de 15 m, 25 m, 40 m y 60 m. Se toman en cuenta los valores nocturnos únicamente, puesto que durante el día las mediciones de cantidad de iluminación hacen referencia a las mediciones de luz natural.

Ensayo de cantidad y condiciones de iluminación (CIL) este ensayo se realiza una medición del parámetro físico de la cantidad de iluminación, expresada en Luxes. Se debe considerar este dato para futuros ensayos de comparación y poder

contar con parámetros válidos de repetitividad.

Con el ensayo se demuestra la invalidez de elementos que simulan bombillas de uso automotriz con conexión H4, con luces LED, bombillas incandescentes con luz de 0 Lux.

Con el ensayo de simulación de anomalías (SAN), se establecen los límites de reglaje de la posición de las luces, en relación a sus parámetros de inclinación y desviación.

El ensayo de tiempos de reacción (TRE) involucra el estudio de las luces piloto de freno, utilizando ambos sistemas, tanto con luces LED, como con luces convencionales. La medición simula un ambiente de ciudad, con un vehículo real circulando a 25 km/h hacia el banco simulador detenido, y encendiendo las luces de freno cuando el auto real se encuentra a una distancia de 30 m.

Se analiza la distancia restante entre el vehículo real, una vez que este se haya detenido completamente y el banco simulador.

La distancia restante entre el vehículo real, una vez que este se haya detenido completamente y el banco simulador. El ensayo es durante el día y la noche, en condiciones climatológicas favorables. El ensayo de recuperación de deslumbramiento (RDE) realiza un deslumbramiento intencional a distintos sujetos a una distancia de 1 m, en donde se establecen los tiempos normales de recuperación de los sujetos en prueba. El ensayo se desarrolla durante el día y la noche, en condiciones climatológicas favorables.

A través del ensayo de consumo de energía (CEN) se encuentran los menores consumos de corriente, teniendo una notoria mejora de la eficiencia energética utilizando luces LED.

Todos los ensayos fueron realizados para: un joven de 17 años sin problemas de visión, un joven de 23 años con problemas de astigmatismo e hipermetropía, y un adulto mayor de 70 años con problemas de astigmatismo e hipermetropía

3. RESULTADOS

Conformidad - Ensayo CNF

El ensayo muestra que las luces LED, en todas las variaciones de condiciones ambientales, muestran un mejor comportamiento, presentando información de forma más precisa, gracias a su propiedad de encendido inmediato, colores más definidos y formas más detalladas de acuerdo al diseño. De esta manera, las señales de giro y cambios de velocidad son mejor apreciadas si son emitidas por un aparato que involucre luces LED. Esta utilización se limita únicamente a luces piloto.

En las siguientes figuras, se muestra los promedios de las evaluaciones de apreciación realizada por los sujetos observadores. Se otorgan valores desde 4 a 1 siendo calificaciones para valoraciones abstractas que son excelente, buena, aceptable y deficiente respectivamente.

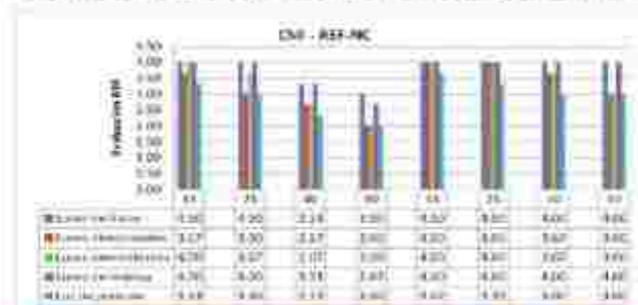


Fig. 2. Cuadro demostrativo del Resumen de Ensayo Final, para el ensayo PEF en condiciones climatológicas de noche clara.

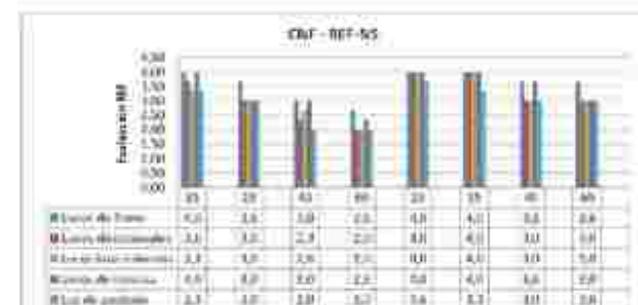


Fig. 3. Cuadro demostrativo del Resumen de Ensayo Final, para el ensayo PEF en condiciones climatológicas de noche con niebla superficial fina.

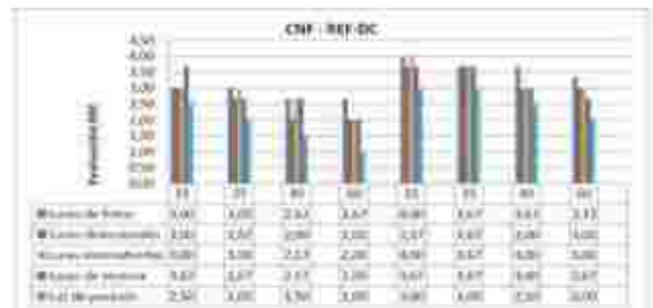


Fig. 4. Cuadro demostrativo del Resumen de Ensayo Final, para el ensayo PEF en condiciones climatológicas de día claro.

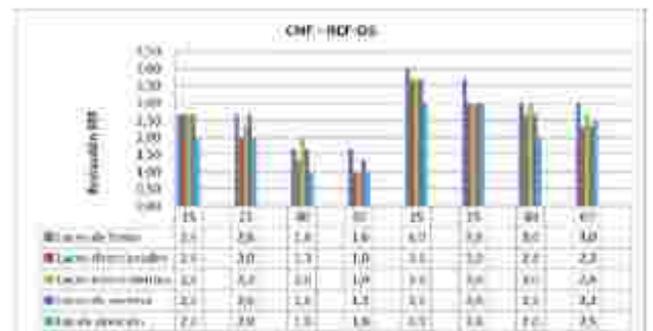


Fig. 5. Cuadro demostrativo del Resumen de Ensayo Final, para el ensayo PEF en condiciones climatológicas de día con niebla superficial fina.

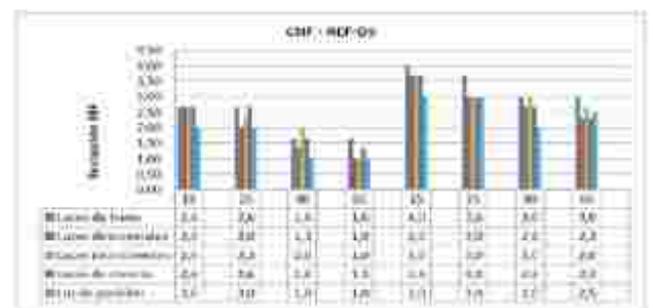


Fig. 6. Cuadro demostrativo del Resumen de Ensayo Final, para el ensayo CIL durante la noche.

La disminución de la calidad de la iluminación, con presencia de niebla fina o polvo, desciende en un 46% en comparación a las condiciones favorables, y descienden en un 60% para condiciones adversas, entendiéndose estas como la presencia de niebla muy espesa, o lluvia fuerte. De esta forma se definen las recomendaciones necesarias para límites de velocidad durante la noche.

Simulación de anomalías Ensayo SAN.

Para los parámetros de desviación, los máximos

valores son de $\pm 3.8^\circ$, para evitar el deslumbramiento de otros conductores, y de $\pm 8.5^\circ$ para evitar la pérdida de iluminación del terreno.

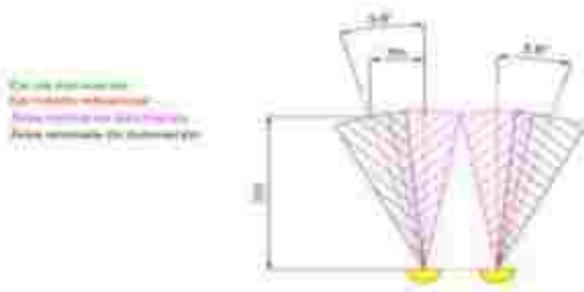


Fig. 7. Límites de reglaje desviación para evitar deslumbramiento.

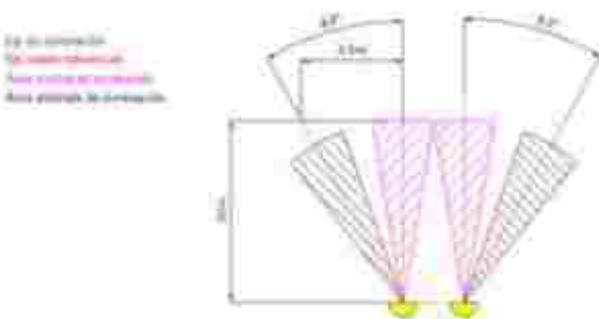


Fig. 8. Límites de reglaje desviación para evitar pérdida de iluminación del terreno.

Para los parámetros de inclinación, los máximos valores son de 0° a $+0.95^\circ$ para evitar un deslumbramiento, y de -0.58° a -2.67° , para evitar la pérdida de la iluminación del terreno. Estos últimos valores son tomados en cuenta desde un eje con centro en el faro del banco simulador y paralelo al suelo.

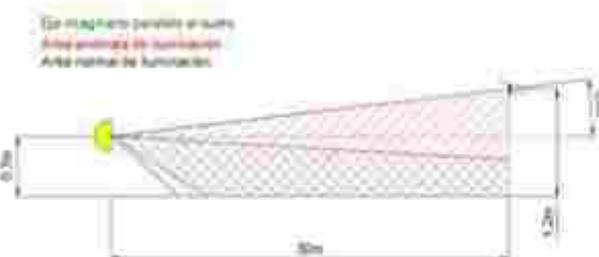


Fig. 9. Límites de reglaje inclinación para evitar deslumbramiento.



Fig. 10. Límites de reglaje inclinación para evitar pérdida de iluminación del terreno.

Al simular una lámpara principal fundida y medir la cantidad de iluminación a 30m de distancia, se tiene una disminución de la cantidad de iluminación de 11.7 Lux a 7.3 Lux, una disminución de 37%, parámetros importante que debe ser tomado en cuenta debido a los tiempos de reacción relativamente largos entre 0.75 s a 2 s, y las velocidades promedio alcanzadas por un vehículo en carreteras perimetrales, entre 60 km/h a 90 km/h.

Tiempos de Reacción – Ensayo TRE.

Los resultados muestran que la utilización de bombillas LED en luces de freno, representa una disminución de los tiempos de reacción de 33% durante la noche, y de un 29% durante el día. Esto se traduce en mayores distancias para realizar maniobras de emergencia.

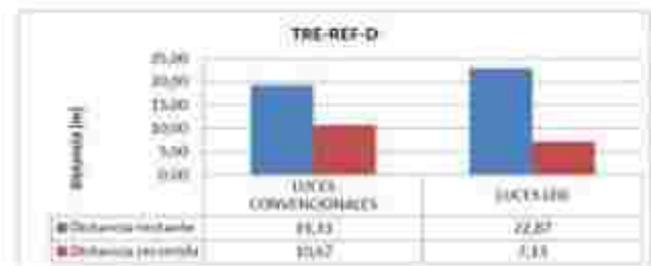


Fig. 11. Cuadro demostrativo del Resultado de Ensayo Final para la medición de tiempos de reacción durante el día.

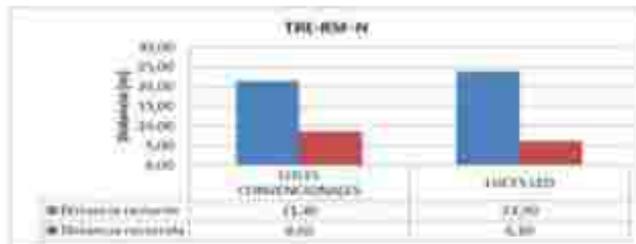


Fig. 12. Cuadro demostrativo del Resumen de Ensayo Final para la medición de tiempos de reacción durante la noche.

Recuperación del Deslumbramiento – Ensayo RDE

Al provocar un deslumbramiento a esta distancia se provoca una ceguera total momentánea y se encuentra que la recuperación del deslumbramiento se da en tres etapas: la recuperación de la ceguera dentro de 2.5 a 3.5 s después del deslumbramiento, en la que se restablece parcialmente la visión central, seguida por la recuperación total de la visión periférica, dentro de 40s a 55s manteniéndose afectada la visión central, y la recuperación total, en la que la visión central se restablece completamente, después de 70s a 90s de provocar el deslumbramiento. Los menores tiempos de recuperación se tienen con el sujeto de 17 años, concluyendo que estos tiempos de recuperación son inversamente proporcionales a la edad de los sujetos. Con los sujetos de 17 y 23 años, se tiene el fenómeno que durante los ensayos iniciales los tiempos de recuperación tienen una tendencia a disminuir, pero a medida que se repiten los ensayos estos tiempos cambian a una tendencia al aumento, entendiéndose esto como la aparición del cansancio de la visión.

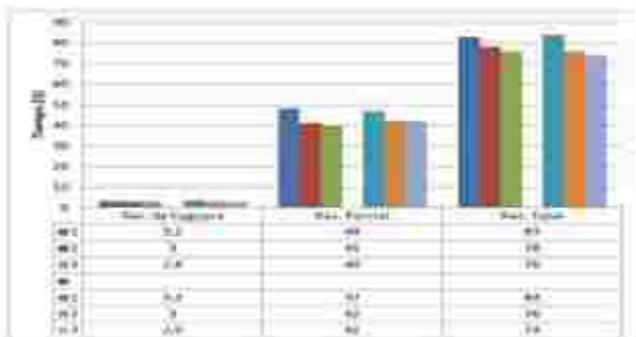


Fig. 13. Ensayos realizados en un sujeto joven de 17 años con problemas de visión.

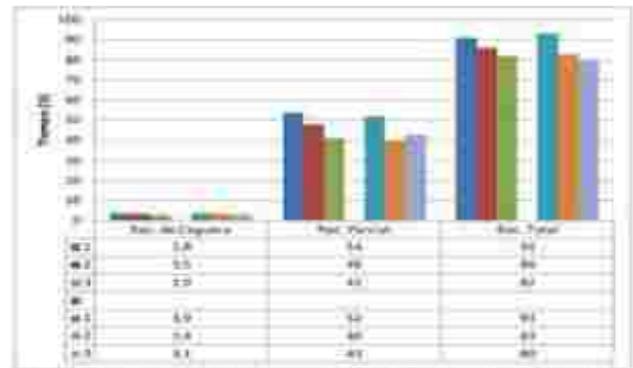


Fig. 14. Ensayo realizado en un sujeto adulto de 23 años con problemas de visión de astigmatismo e hipermetropía

Para el caso del adulto mayor, esta primera tendencia de disminución de tiempos no existe, teniendo siempre aumentos de los tiempos, llegando a casos críticos de 4.8 s para la primera etapa de recuperación, traduciéndose en que un sujeto de 70 años que ha sido perjudicado con un fuerte deslumbramiento en la carretera, permanecerá en promedio 4 s prácticamente ciego. Para condiciones climáticas escasas, esto es con la presencia de niebla fina, una conducción de varias horas en estas condiciones, se puede producir cansancio prematuro ocasionando un aumento en los tiempos de reacción, entre 1.5 s a 2 s [5]

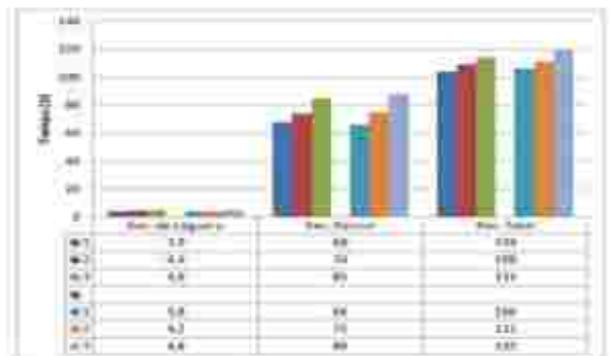


Fig. 15. Ensayo realizado en un sujeto adulto mayor de 70 años con problemas de visión de astigmatismo e hipermetropía.

ENERGÍA Y MECÁNICA INNOVACIÓN Y FUTURO
 No. 4 Vol. 1 / 2015 (13) ISSN 1390 - 7395 (10/13)

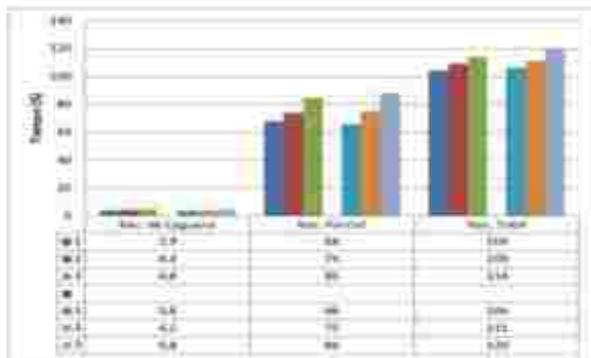


Fig. 15. Ensayo realizado en un sujeto adulto mayor de 70 años con problemas de visión de astigmatismo e hipermetropía.

Pruebas de Consumo de energía – Ensayo CEN.

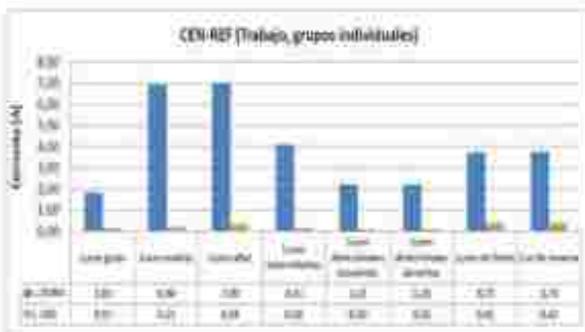


Fig. 16. Resumen de Ensayo final de mediciones de corriente con sistema de luces convencionales y luces LED.

Se da el fenómeno, al utilizar luces convencionales, que se tienen picos de corriente de arranque, llegando a valores de un 35% más de consumo de corriente durante breves instantes, a iniciar el funcionamiento de una bombilla incandescente. Estas corrientes de arranque no existen al utilizar luces LED, puesto que esta nueva tecnología, al ser energizadas consumen su inmediatamente su corriente nominal sin bruscos aumentos de potencia durante esta etapa.

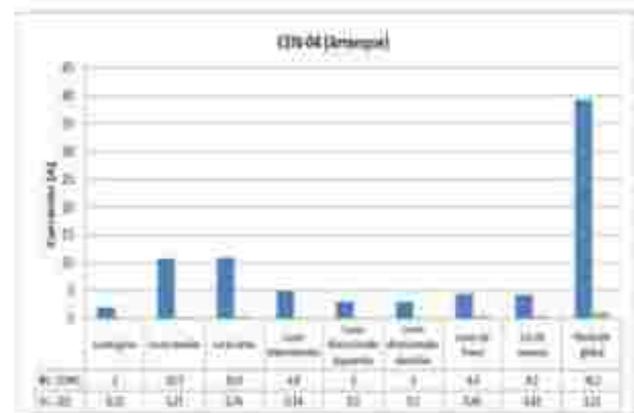


Fig. 17. Comparación de corrientes de arranque con los sistemas convencional y LED.

Finalmente, se realizó una medición del consumo de corriente tanto para un sistema convencional como para uno con luces LED. La tabla 1, muestra la comparación de las corrientes, en etapas de trabajo consumiendo corrientes nominales, presenta una ventaja de un 89% de mayor eficiencia, al utilizar luces LED.

Tabla 1. Detalle de consumo de potencia en varias [W] con los sistemas convencional y LED, en etapas de arranque y trabajo normal.

| | ARRANQUE | | TRABAJO | |
|-------------------------------|----------|-------|---------|-------|
| | L CONV | L LED | L CONV | L LED |
| Luces bajas | 24.00 | 1.00 | 21.00 | 1.00 |
| Luces medias | 120.00 | 2.52 | 83.24 | 2.52 |
| Luces altas | 120.00 | 4.00 | 84.00 | 4.00 |
| Luces intermedias | 98.00 | 1.68 | 72.00 | 1.68 |
| Luces direccionales izquierda | 38.00 | 1.20 | 8.00 | 1.20 |
| Luces direccionales derecha | 36.00 | 1.20 | 8.00 | 1.20 |
| Luces de freno | 52.00 | 4.92 | 44.72 | 4.92 |
| Luz de reversa | 30.00 | 4.92 | 44.00 | 4.92 |
| Medición global | 470.00 | 14.64 | 305.00 | 14.64 |

4. CONCLUSIONES

Las bombillas de imitación con luces LED con conexión H4, son inservibles como iluminación principal.

Las velocidades recomendadas para circulación en carretera durante la noche son de 70 km/h en condiciones climatológicas favorables, 60 km/h en condiciones escasas, y menos de 50 km/h para condiciones adversas.

La pérdida de la calidad de la iluminación cuando no funciona una de las bombillas principales se

ENERGÍA Y MECÁNICA INNOVACIÓN Y FUTURO
No. 4 Vol. 1 / 2015 (13) ISSN 1330 - 7395 (10/13)



estima en un 37%.

Las ventajas que comprende el uso de la tecnología de luces LED son una mejora en la comunicación de intenciones de cambio de giro y velocidad a otros conductores, un 30% en promedio de disminución de tiempos y distancia de reacción, un 89% de reducción de la energía consumida y la ausencia de picos de corriente.

Es necesario desarrollar un método genérico y funcional para reemplazar el sistema de iluminación convencional del vehículo a uno de luces LED.

Se motiva a generar políticas de homologación a vehículos que ingresen al parque automotor, solamente a aquellos que involucren luces LED para sus luces piloto.

Debido a las importantes disminuciones de apreciación con la presencia de niebla fina en las mañanas en la sierra ecuatoriana, se recomienda mantener luces medias encendidas durante la mañana, aproximadamente hasta las 7:00 am, mientras se tiene completa presencia de luz natural.

Es necesario desarrollar un sistema de luces de circulación diurna para vehículos de media y baja gama.

Se debe desarrollar un sistema de iluminación inteligente para vehículos de media y baja gama, que pueda cambiar de forma automática el comportamiento de las luces, de acuerdo a la presencia de tráfico.

REFERENCIAS

- [1]Alonso, J. M. (2004). Circuitos Eléctricos Auxiliares. Madrid: Thomson Paraninfo.
 [2]Alonso, J. M. (2004). Técnicas del automóvil. Equipo eléctrico. Madrid: Thomson Paraninfo.

- [3]Ferrer, V. S. (2006). Circuitos Eléctricos del Automóvil. Madrid: Thomson Paraninfo.
 [4]ISO, I. O. (2004). ISO 2575-2004 Road vehicles - Symbols for controls, indicators and telltales. Geneva: ISO, International Organization of Standardization
 [5]CINAE, C. d. (2013). CINAE, Cámara de la Industria Automotriz Ecuatoriana. Recuperado el 25 de Noviembre de 2013, de <http://www.cinae.org.ec/>

BIOGRAFÍAS



1 Santiago Celi, Magister en Administración de Empresas y Marketing, Ingeniero Automotriz, Profesor Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Internacional SEK.



2 Abel Remache, Magister en Gerencia y Liderazgo Educacional, Ingeniero Automotriz, Estudiante de Maestría en Energías Renovables y Sostenibilidad Energética Universidad de Barcelona, Profesor tiempo completo Facultad de Ingeniería, Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad Central del Ecuador, Carrera de Diseño Industrial



3 Miguel Martínez Betancourt, Ingeniero Mecánico Automotriz, Asesor Técnico en La Llave S.A. Técnico en maquinaria industrial y minería.



4 Luis Tipanluisa -
Magister en Energías
Renovables, Ingeniero
Automotriz, Profesor
Facultad de Ingeniería
Mecánica de la Universidad
Internacional SEK,
Encargado de Laboratorio de
Termodinámica.

Registro de publicación:

| | |
|--------------------|-----------------------|
| Fecha de recepción | 15 de septiembre 2015 |
| Fecha aceptación | 10 diciembre 2015 |



ANÁLISIS DE RENDIMIENTO DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA, CON LA INYECCIÓN ADICIONAL DE METANOL EN LA ADMISIÓN DE AIRE

PERFORMANCE ANALYSIS OF AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE, WITH ADDITIONAL METHANOL INJECTION IN THE AIR INTAKE

¹Andrés Sebastián Villacrés Quintana ²Victor Danilo Zambrano León, ³Jose Lizandro Quiroz Erazo,

^{1,2}Universidad de Fuerzas Armadas ESPE – Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica, Quijano y Ordoñez y Marques de Maenza s/n.

³Asesoramiento en mecánica y electrónica del automóvil

E-mail: ¹vizambrano@espe.edu.ec, ²lquiroz@espe.edu.ec, ³sebastian.villacres@tugurahua.gob

Energía Mecánica Innovación y Futuro, IV Edición 2015, No.11 (13)

RESUMEN

La tendencia contemporánea de encontrar métodos para aumentar la potencia de un vehículo, y la disminución de la emisión de gases contaminantes, ha derivado en la investigación y surgimiento de sistemas acoplables al automóvil, basados en el uso compuestos químicos compatibles con la combustión de la gasolina. Es así como el metanol ha venido interviniendo activamente como uno de los compuestos más empleados en la elaboración de aditivos para combustibles fósiles, debido a que su producción no requiere de procesos con mucha complejidad en relación a la obtención de gasolina; resulta viable el análisis de aplicabilidad para evaluar su influencia en los parámetros de rendimiento de un motor de combustión interna de ciclo Otto, tomando en cuenta que en el Ecuador, este producto químico tiene bajo costo y su acceso no está limitado al público. El presente análisis muestra la comparación de los parámetros de rendimiento, obtenidos mediante la combustión de la gasolina en el motor de un vehículo bajo

condiciones de fábrica y la influencia en el rendimiento del mismo automotor sometido a la implementación de un sistema de inyección de metanol pulverizado, acoplado a la admisión de aire.

Palabras Clave: Equipo genérico, mantenimiento de baterías, vehículo híbrido.

ABSTRACT

The contemporary tendency to find new methods to upgrade the power of a vehicle, and the decreasing of the emission of pollution gases and reducing the consumption of gasoline, has derived in the investigation and rise of coupling systems for automobiles based in the use of chemical compounds compatible with the combustion of gasoline. The methanol has been actively speaking as one of the most used compounds in the elaboration of additives for fossil fuels, due that this production does not require of process with much complexity in relation with the obtaining of gasoline; turns out

viable the analysis of the applicability to evaluate its influence in the parameters of performance of an inside combustion engine with Otto cycle, taking in count that in Ecuador this product has low cost and is accessible for the public. The present analysis shows the contrast of the parameters of performance, obtained by the combustion of gasoline in the engine of a vehicle with fabric conditions and the influence in the performance of the same vehicle submitted to the implementation of a pulverized methanol injection system adapted to the admission of air.

Keywords: *Methanol Injection / methanol / gasoline combustion / attachable car systems.*

1. INTRODUCCIÓN

Debido al aumento de la contaminación del medio ambiente, es necesario encontrar alternativas que permitan disminuir la emisión de gases residuales de la combustión. Dentro del campo automotriz, se presenta al metanol como una opción de estudio, para abarcar campos ambientales y tecnológicos, mejorando la eficiencia de los motores y participando en la disminución de los índices de contaminantes. [1]

La acción del metanol ha sido registrada desde años atrás requiriendo un estudio complementario que permita evaluar la acción de este compuesto en la combustión, debido a sus propiedades químicas, para así proponer proyectos que a base de resultados, produzcan una producción en masa de metanol y sistemas complementarios que ayuden a la problemática actual basada en buscar alternativas de remediación ambiental. [2]

2. MATERIALES Y MÉTODOS

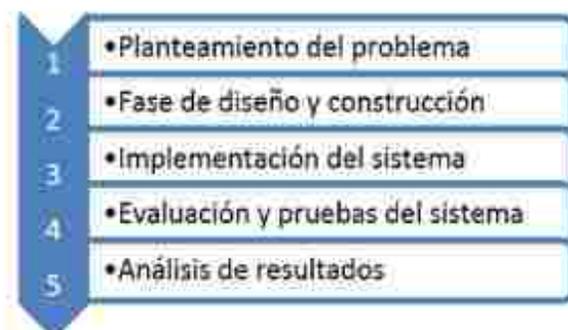
Estado del arte

El diseño del motor de combustión interna y de sistemas adaptables al vehículo está orientado para de disminuir la contaminación y mejorar las cualidades antidetonantes del combustible preservando al mismo tiempo el rendimiento del mismo. Una de las formas de mejorar la combustión es enriquecer la mezcla aire/combustible mediante la inyección de agua/metanol en el puerto de carga de admisión de aire. [3]

El metanol es un combustible alternativo prometedor para los motores de encendido por chispa, aplicable para la mejora de la eficiencia térmica de la carga portuaria del motor debido a las características combustibles de este compuesto. Como resultado se consigue disminuir la emisión de NOx, manteniendo la eficiencia térmica y disminuyendo también los niveles de HC y CO [4]

Metodología

El desarrollo de esta investigación considera los aspectos presentados en el siguiente flujo:



La volatilidad que presenta el metanol requiere tener precauciones para usar el sistema, de las que sobresalen la hermeticidad del sistema, correcto flujo de aire de admisión y buena conductividad

eléctrica hacia el módulo, razones por las cuales se requiere el diseño específico de un conducto de admisión de aire y un circuito de control y alimentación para prevenir cualquier mal funcionamiento al momento que el vehículo se haya puesto en marcha. [2]

En lo referente al colector de admisión de la figura 1, implementado resulta imperativo la evaluación del flujo de aire, descartando cualquier factor que no permita la circulación del aire aspirado de manera laminar, adjuntando la intervención de la inyección continua de metanol. [5]

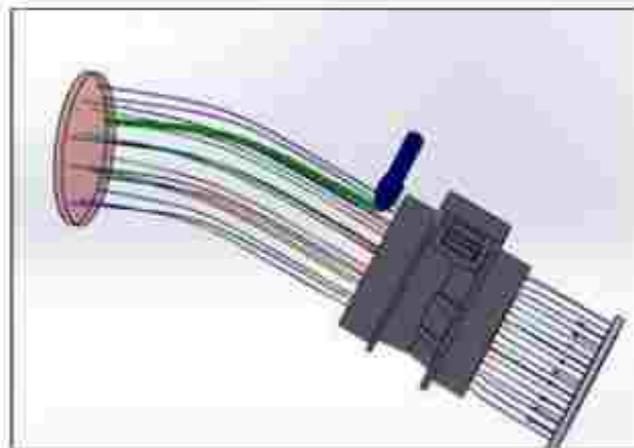


Figura 1. Evaluación del flujo de aire metanol [5]

Así mismo, el circuito de control es el encargado de la alimentación de energía al módulo de control de la inyección figura 2, dotando del voltaje necesario y permitiendo encender o apagar el sistema según el requerimiento del conductor del automotor.



Figura 2. Comprobación del circuito alimentador de energía del

sistema [5]

Luego de la fase de prueba descrita anteriormente, se procede a la implementación figura 3 de los componentes, tomando en cuenta la hermeticidad requerida en el montaje del conducto colector de admisión nuevo, evitando cualquier fuga tanto de metanol como de aire.



Figura 3. Implementación del conducto de admisión diseñado para la inyección de metanol [5]

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La evaluación final figura 4 consiste en someter el vehículo a pruebas que permitan obtener una diferencia el uso de un sistema de admisión de aire convencional y la implementación de un sistema de inyección de metanol pulverizado aplicado a la admisión de aire evaluando la potencia, consumo de combustible y emisión de gases contaminantes.

- Evaluación de potencia.

El uso de metanol marca una diferencia en la potencia a partir de las 2100 rpm, rango desde que empieza a aumentar la misma en relación a la aspiración de aire estándar del vehículo, tomando en cuenta la limitación producida por la caja de cambios automática, donde se restringe la aceleración hasta 3000 rpm como protección para el motor y para la transmisión.



Figura 4 Evaluación de potencia en el dinamómetro de rodillos [5]

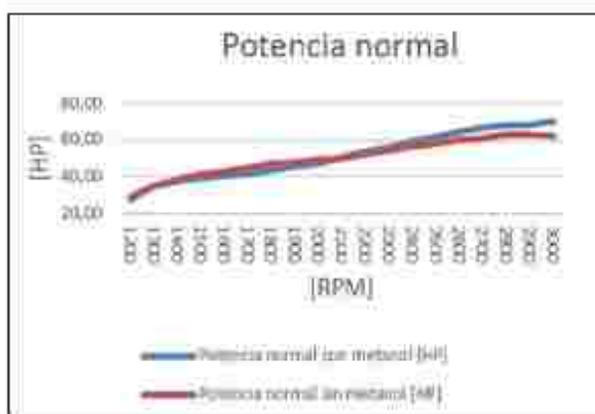


Figura 7. Comparación de la potencia normal obtenida mediante la prueba en el banco de rodillos [5]



Figura 5. Comparación de la potencia a la rueda obtenida mediante la prueba en el banco de rodillos [5]

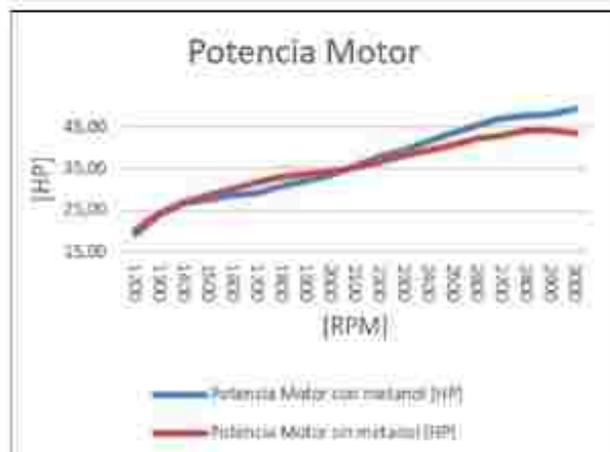


Figura 6. Comparación de la potencia motor obtenido mediante la prueba en el banco de rodillos [5]

El momento normal al aplicar metanol se muestra menor al igual que la potencia antes de las 2100 rpm, luego de este rango se evidencia una tendencia de conservación del torque.



Figura 8. Comparación del momento normal obtenido mediante la prueba en el banco de rodillos [5]

En lo relacionado a la potencia, se evidencia que bajo la aplicación de metanol a partir de las 2000 revoluciones existe una tendencia de crecimiento que supera a los datos obtenidos bajo aspiración estándar de aire. En lo que se refiere al momento o torque, a partir de las 2000 rpm se evidencia un mantenimiento del torque usando metanol por encima de los datos resultantes de la evaluación del vehículo bajo carga normal de aire, denotando nuevamente el aumento de potencia a partir de este

régimen de revoluciones del motor.

- Evaluación de consumo de combustible

La aplicación de metanol muestra una tendencia de ahorro de gasolina sobresaliendo un menor consumo al aplicar el fluido bajo condiciones de alto tráfico.



Figura 9. Diferencia de consumo de combustible en relación al tráfico de la prueba de ruta [5]

- Análisis de gases contaminantes.

La evaluación bajo la norma ASM 5015 y 2525 nos permite conocer la cantidad de gases residuales de la combustión de manera dinámica evaluándolo conjuntamente con una carga a vencer por el vehículo simulada por un banco de rodillos. [6]

Posteriormente se realiza el análisis de huella de carbono, donde los gases contaminantes son evaluados en relación a la emisión de dióxido de carbono y al consumo específico de combustible, obteniendo la cantidad de gramos de contaminante por kilómetro recorrido. [7]

- Gramos de CO₂ por kilómetro recorrido con metanol (A) y sin metanol (B).

$$\frac{grCO_{2(A)}}{Km} = 2380 \frac{grCO_2}{l\text{ combustible}} \cdot 0,23253 \frac{\text{litros}}{Km}$$

$$= 553,43 \frac{gr}{Km}$$

$$\frac{grCO_{2(B)}}{Km} = 2380 \frac{grCO_2}{l\text{ combustible}} \cdot 0,21775 \frac{\text{litros}}{Km}$$

$$= 518,26 \frac{gr}{Km}$$

- Cálculo de concentración de de CO₂, HC y NOx con metanol (A) y sin metanol (B), en relación a la emisión de CO₂ y al consumo de combustible.

Tabla 1 Resultados del análisis de gases bajo el ciclo ASM 5015 [5]

| ASM 6015 | | | |
|-----------------|-----------------|-----------------|--------------------|
| | Con metanol (A) | Sin metanol (B) | Unidad |
| CO | 3,805 | 2,804 | [% vol] |
| CO ₂ | 10,341 | 10,984 | [% vol] |
| HC | 1339,063 | 213,719 | [ppm vol] |
| O ₂ | 0,219 | 0,083 | [% vol] |
| NOx | 55,156 | 104,625 | [ppm vol] |
| Lambda | 0,840 | 0,902 | valor adimensional |

- Concentración de CO₂

$$RCO_{(A)} = \frac{\%CO_{(A)}}{\%CO_{2(A)}} = \frac{3,805}{10,341} = 0,368 \quad \text{Ec. 1}$$

$$RCO_{(B)} = \frac{\%CO_{(B)}}{\%CO_{2(B)}} = \frac{2,804}{10,984} = 0,255 \quad \text{Ec. 2}$$

- Concentración de HC

$$RHC_{(A)} = \frac{\%HC_{(A)}}{\%CO_{2(A)}} = \frac{213,794}{10,984} = 19,457 \quad \text{Ec. 3}$$

$$RHC_{(B)} = \frac{\%HC_{(B)}}{\%CO_{2(B)}} = \frac{104,625}{10,984} = 9,525 \quad \text{Ec. 4}$$

- Concentración de NOx

$$RNO_{(A)} = \frac{\%NO_{(A)}}{\%CO_{2(A)}} = \frac{55,156}{10,341} = 5,334 \quad \text{Ec. 5}$$

$$RNO_{(B)} = \frac{\%NO_{(B)}}{\%CO_{2(B)}} = \frac{104,625}{10,984} = 9,525 \quad \text{Ec. 6}$$

- Factores de corrección:

$$a = R_{CO} \cdot d \quad \text{Ec. 7}$$

$$c = R_{HC} \cdot d \quad \text{Ec. 8}$$

$$f = R_{NOx} \cdot d \quad \text{Ec. 9}$$

Siendo d:

$$d_{(A)} = \frac{1}{R_{CO(A)} + 3R_{HC(A)} + 1} = 0,00256 \quad \text{Ec. 10}$$

$$d_{(B)} = \frac{1}{R_{CO(B)} + 3R_{HC(B)} + 1} = 0,01677 \quad \text{Ec. 11}$$

Por lo tanto:

$$a_{(A)} = R_{CO(A)} \cdot d_{(A)} = 0,00094 \quad \text{Ec. 12}$$

$$a_{(B)} = R_{CO(B)} \cdot d_{(B)} = 0,00428 \quad \text{Ec. 13}$$

$$c_{(A)} = R_{HC(A)} \cdot d_{(A)} = 0,33216 \quad \text{Ec. 14}$$

$$c_{(B)} = R_{HC(B)} \cdot d_{(B)} = 0,32632 \quad \text{Ec. 15}$$

$$f_{(A)} = R_{NOx(A)} \cdot d_{(A)} = 0,01368 \quad \text{Ec. 16}$$

$$f_{(B)} = R_{NOx(B)} \cdot d_{(B)} = 0,15975 \quad \text{Ec. 17}$$

- Masas moleculares de los compuestos que intervienen en la combustión.

$$m_{CO} = 12.1 + 16.1 = 28 \frac{gr}{mol} \quad \text{Ec. 18}$$

$$m_{HC} = 1.1 + 12.1 = 13 \frac{gr}{mol} \quad \text{Ec. 19}$$

$$m_{NOx} = 14.1 + 16.1 = 30 \frac{gr}{mol} \quad \text{Ec. 20}$$

$$m_{C_2H_{18}} = 12.8 + 1.18 = 114 \frac{gr}{mol} \quad \text{Ec. 21}$$

- Relación de masa de gases con respecto al combustible.

$$\frac{m_{CO}}{m_{C_2H_{18}}} = \frac{28 \frac{gr}{mol}}{114 \frac{gr}{mol}} = 0,24561 \quad \text{Ec. 22}$$

$$\frac{m_{HC}}{m_{C_2H_{18}}} = \frac{13 \frac{gr}{mol}}{114 \frac{gr}{mol}} = 0,11404 \quad \text{Ec. 23}$$

$$\frac{m_{NOx}}{m_{C_2H_{18}}} = \frac{30 \frac{gr}{mol}}{114 \frac{gr}{mol}} = 0,26316 \quad \text{Ec. 24}$$



- Por lo tanto se obtienen los siguientes factores con metanol (A) y sin metanol (B).

$$FCO_{(A)} = a_{(A)} \cdot \frac{mCO}{mC_2H_{18}} = 0,000232$$

$$FHC_{(A)} = c_{(A)} \cdot \frac{mHC}{mC_2H_{18}} = 0,037878 \quad Ec. 25$$

$$FNOx_{(A)} = f_{(A)} \cdot \frac{mNOx}{mC_2H_{18}} = 0,0036 \quad Ec. 26$$

$$FCO_{(B)} = a_{(B)} \cdot \frac{mCO}{mC_2H_{18}} = 0,001051 \quad Ec. 27$$

$$FHC_{(B)} = c_{(B)} \cdot \frac{mHC}{mC_2H_{18}} = 0,037211 \quad Ec. 28$$

$$FNOx_{(B)} = f_{(B)} \cdot \frac{mNOx}{mC_2H_{18}} = 0,04203 \quad Ec. 29$$

Los resultados son comparados con el anexo 6 de la norma NTE INEN 2204:2002, donde se contempla los valores máximos de emisiones permitidos en el Ecuador. [8] [5]

Tabla 2 Comparación de concentración de gases residuales con la norma NTE INEN 2204:2002 [8] [5]

| Concentración de gramos por kilómetro recorrido | | | |
|---|-------------|-------------|---------------|
| gr/m3 | CON METANOL | SIN METANOL | LÍMITE MÁXIMO |
| CO2 | 518,26 | 553,43 | - |
| CO | 0,038 | 0,185 | 6.2 |
| HC | 6,26 | 6,57 | 0.5 |
| NOx | 0,59 | 6,95 | 1.1 |



Figura 10 Concentración de CO2 (gr) por kilómetro recorrido [5]



Figura 11 Concentración de CO (gr) por kilómetro recorrido [5]

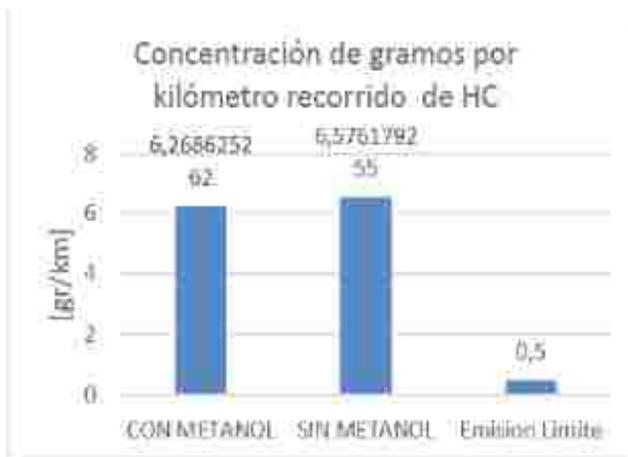


Figura 12 Concentración de HC (gr) por kilómetro recorrido [5]



Figura 13 Concentración de NOx (gr) por kilómetro recorrido [5]

La emisión final de contaminantes al aplicar metanol en la admisión de aire (gr/km), muestra disminución en la producción de CO y NOx, mientras que en lo que respecta a la emisión de HC, existe una tendencia de mantenimiento de emisiones, manteniéndose muy por encima del límite permitido para ambos casos.

4. CONCLUSIONES

Se pone en consideración las siguientes conclusiones con el propósito de que se constituyan en un referente y fuente de consulta por parte de profesionales relacionados al área.

- El sistema de inyección de metanol implementado para analizar la influencia en el rendimiento del motor en parámetros de potencia y consumo, está diseñado para adaptarse al vehículo HYUNDAI SANTA FÉ 4WD 2.7 litros mediante el uso de un acople hermético en la admisión de aire dentro del habitáculo del motor y es abastecido del fluido en estudio por medio de una bomba regulada por un módulo ubicado en el panel de instrumentos, captando así el metanol desde un tanque de almacenamiento ubicado en la parte posterior del automóvil y llevado por una cañería hasta el compartimiento del motor.

- Se mejora la potencia normal en 10 %, optimizando la potencia a la rueda y la potencia motor en 4% y 11% respectivamente hasta las 3000 RPM.
- La disminución del factor lambda (de 0.99 a 0.88 en la prueba ASM 2525 y de 0.9 a 0.84 en la prueba ASM 5015) indica que la inyección de metanol en la admisión de aire contribuye para obtener una mezcla rica, teniendo en cuenta que se está inyectando la misma cantidad de combustible durante el funcionamiento estándar del motor y con el uso del sistema de inyección del fluido en estudio.
- Mediante la prueba de gases dinámica, los índices de emisión de monóxido de carbono, hidrocarburos, y oxígeno molecular (CO, HC, y O₂), aumentan tanto en la prueba ASM 2525, así como también en la prueba ASM 5015, debiéndose a que con el uso del metanol pulverizado en la admisión de aire, la composición estequiométrica aire/combustible corresponde a una mezcla "rica" demostrada en la variación del valor lambda obtenido mediante la misma prueba mostrando al igual disminución en los valores dióxido de carbono (CO₂).
- Los índices de NOx son indicativos de la temperatura de la combustión, y mediante el análisis dinámico de gases se determinó que al usar metanol se disminuye la emisión de este contaminante, refrigerando directamente la combustión de la gasolina dentro del cilindro.
- La concentración de gramos por kilómetro recorrido que se obtuvo con y sin el uso de metanol en comparación con la legislación ecuatoriana postulada en la norma NTE INEN 2204:2002 indica que las emisiones correspondientes al monóxido de carbono

y Óxidos nitrogenados (CO y NO_x) se encuentran bajo el rango permitido, mientras que la producción de hidrocarburos sobrepasa los límites de emisiones aceptadas.

- Mediante la prueba de ruta, se obtiene como resultado la disminución en el consumo de galones de combustible en un 6.35%, comprobando la efectividad del metanol como aditivo elevador de octanaje, ahorrando el 4.33% del valor invertido en dólares tomando en cuenta el costo del metanol.
- Luego de enlazar los resultados de la prueba de ruta (consumo de combustible) y el análisis de emisión de gases (prueba dinámica ASM 5015) se llegó a obtener la emisión de contaminantes con respecto al valor de CO₂ que se está eliminando mediante la combustión, evidenciando la disminución del desecho de CO, HC, y NO_x al ambiente al momento de usar el sistema de inyección de metanol, indicando mediante la disminución en la emisión de NO_x el descenso de la temperatura de la combustión.

REFERENCIAS

- [1] C. Zullian, «Manejo de petróleo y gas en superficie.» 2013. [En línea]. Available: <http://manejodepetroleoygas.blogspot.com/2013/12/generalidades-de-refinacion-de.html>. [Último acceso: 12 Agosto 2015].
- [2] Methanol Institute, Boletín Técnico de Producto de Mezclas de Metanol, Washington D.C.: Methanol Institute, 2008.
- [3] S. Breda, F. Berni, A. d'Adamo, F. Testa y E. Severi, «Effects on Knock Intensity and Specific Fuel Consumption of Port Water/Methanol Injection in a Turbocharged GDI Engine: Comparative Analysis.» ScienceDirect, p. 7, 2015.
- [4] Fangxi Xie, Xiaoping Li, Yan Su y Wei Hong, «Influence of air and EGR dilutions on improving performance of a high compression ratio spark-ignition engine fueled with methanol at light load.» Elsevier, 2015.
- [5] A. S. Villacrés, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE INYECCIÓN DE METANOL EN EL VEHÍCULO HYUNDAI SANTA FÉ 2.7 LITROS PARA EL ANÁLISIS DE RENDIMIENTO, Latacunga, 2015.
- [6] Environmental Protection Agency, Acceleration Simulation Mode Test Procedures, Emission Standards, Quality Control Requirements, and Equipment Specifications, United States, 1996.
- [7] INFORME DE IMPACTO AMBIENTAL, «INFORME DE IMPACTO AMBIENTAL, PRUEBA EN RUTA PARA DETERMINAR LA CANTIDAD DE CO₂ PRODUCIDO EN CIUDAD Y CARRETERA POR EL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA DEL VEHÍCULO NISSAN SENTRA 1.6.» Quito, 2012.
- [8] INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, NTE INEN 2 204:2002, Quito, Pichincha, 2002.
- [9] Instituto Ecuatoriano de Normalización, Gasolina, Requisitos, Quito, 2008.
- [10] Ministerio de recursos Naturales no Renovables, LEY DE HIDROCARBUROS, 2013.
- [11] S. J. Weininger y F. R. Stermitz, Química

orgánica. Revete, 2009, p. 1202.

BIOGRAFÍA



1 Sebastián Villacrés, Ingeniero Automotriz, Asesoramiento en Mecánica y Electrónica del Automóvil, asistente del área de ensayos destructivos y no destructivos de carrocerías metálicas del Centro de fomento productivo carrocerero

metalmecánico de Tungurahua.



2 Danilo Zambrano, Ingeniero Automotriz, Magister en Sistemas Automotrices, Magister en Gestión de la Producción, Diploma Superior en Autotrónica,

Director carrera de Ingeniería Automotriz de la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE.



3 José Quiroz, Ingeniero Automotriz, Magister en Gestión de Energías, Diploma superior en Autotrónica, Diploma Superior en Gestión para el Aprendizaje Universitario, Jefe de laboratorio de Autotrónica Universidad de Fuerzas Armadas

ESPE.

Registro de publicación:

| | |
|---------------------|-------------------|
| Fecha de recepción: | 21 de agosto 2015 |
| Fecha aceptación: | 09 noviembre 2015 |

SISTEMA DE RECONOCIMIENTO DE OBJETOS EN CARRETERA DURANTE LA CONDUCCIÓN, BAJO CONDICIONES ADVERSAS, EN UN VEHÍCULO

SYSTEM OF RECOGNITION OF OBJECTS ON ROAD DRIVING UNDER ADVERSE CONDITIONS IN A VEHICLE

¹Ceán Abad Padilla Padilla, ²Wilson Javier Villagran Cáceres, ³Segundo Pachacuti Cartuche Minga, ⁴Stalyn Mauricio Silva Vidal
^{1,2,3,4}Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, Carrera de Ingeniería Automotriz, Km 1 1/2 vía a Guayaquil
 E-mail: ¹c_padilla@espech.edu.ec, ²wilson.villagran@espech.edu.ec, ³stalynuv@hotmail.com, ⁴scartuche_spcm@hotmail.es

Energía Mecánica Innovación y Futuro, IV Edición 2015, No.12 (13)

RESUMEN

Se implementó un sistema de reconocimiento de objetos en carretera durante la conducción, bajo condiciones adversas en un vehículo, basado en los sistemas ADAS (Advanced Driver Assistance Systems). [1]

El objetivo es proporcionar mayor seguridad al momento de conducir un vehículo en condiciones como lluvia, neblina, o baja visibilidad. El sistema utiliza un módulo de control electrónico que recibe señales de un sensor láser de largo alcance ubicado en la parte frontal del vehículo que procesa la información recibida y muestra en una pantalla LCD e indicador audible, la distancia a la que se encuentra un objeto ubicado en la trayectoria del vehículo de acuerdo a ciertos parámetros establecidos en la programación. Los elementos que componen el sistema son: módulo de control, telémetro láser, Pantalla LCD, Leds, reductor de voltaje, resistencias e interruptores. [2]

Tiene dos modos de funcionamiento: URBANO y CARRETERA, la diferencia de funcionamiento

radica en los rangos de distancia para la activación de los indicadores de detección.

Palabras clave: Conducción, detección, láser, seguridad.

ABSTRACT

A system of recognition of roadside objects while driving under adverse conditions in a vehicle, based on the ADAS (Advanced Driver Assistance Systems) is implemented.

The aim is to provide greater safety when driving a vehicle in conditions such as rain, fog, or low visibility. The system uses an electronic control module which receives signals from a long range laser sensor located in the front of the vehicle which processes the information received and displayed on a LCD screen and audible indicator, the distance at which an object is located in the path of the vehicle according to certain parameters established in the schedule. The elements of the system are: control module, laser rangefinder,

LCD, LED, voltage reducer, resistors and switches. It has two modes: URBAN and road, the difference in performance lies in the distance ranges for activating detection indicators.

Keywords: *Driver, detection, laser, security, sensor.*

1. INTRODUCCIÓN

Las personas usan el vehículo como medio de transporte para sus desplazamientos diarios, y por desgracia también son las causa de miles de accidentes con víctimas. A lo largo de la existencia del automóvil siempre ha sido una prioridad el intentar reducir las víctimas, estas medidas de seguridad se han incrementado notoriamente [3]. Los protagonistas ahora son los sistemas inteligentes, más conocida como ADAS (Sistemas Avanzados de Asistencia a la Conducción), cuyo objetivo es incrementar la seguridad, eficiencia y confort del transporte mejorando la funcionalidad de los vehículos y las carreteras, usando las tecnologías de la información [3].

En la sección 2 están los componentes principales del sistema y su funcionamiento, la sección 3 presenta la implementación del sistema en el vehículo, y la sección 4 detalla los resultados de las pruebas realizadas.

2. MÉTODO Y MATERIALES

El sistema se fundamenta en el uso de tres componentes principales. Un sensor láser ubicado en la parte frontal del vehículo que proporcionar información sobre la presencia de objetos en la ruta del automóvil y la distancia a la que se encuentran, un módulo de control electrónico que recibe las señales del sensor y las procesa para activar los diversos indicadores que posee el sistema y una pantalla LCD mismo que informa la distancia a la

que se encuentra el objeto. [4]

El sistema figura 1 posee un panel de visualización ubicado en un lugar visible para el conductor donde se encuentra la pantalla LCD, los indicadores audible (altavoz piezoeléctrico) y visible (leds) que se encenderán de acuerdo a rangos de distancia desde las aceptables (verde, amarillo) hasta las más críticas (rojo), los botones de control necesarias para su funcionamiento. A continuación se indica en el diagrama de bloques del sistema.

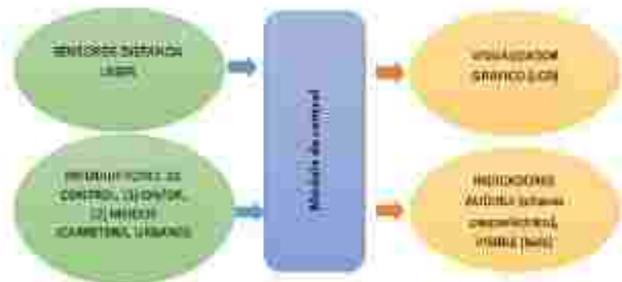


Figura 1. Diagrama de Bloques del Sistema

De acuerdo al análisis de la reglamentación de la ANT, el sistema adopta dos modos de funcionamiento: un modo denominado URBANO que se centra para el funcionamiento en zona urbana donde las distancias respecto a otros vehículos o personas son pequeñas, según la ANT la distancia de seguimiento es de 3 m o 3 segundos respecto a un punto, entonces inicialmente se asignan para la distancia crítica o peligro distancias menores a 3 m, y distancias mínimas en el rango de 3 a 7 m. El segundo modo denominado CARRETERA abarca las vías perimetrales y rurales de la clasificación según la ANT, se asigna para la distancia crítica distancias menores a 10 m y las distancias mínimas se encuentran en el rango de 10 a 20 m.

Para desarrollar la aplicación se usó el programa Propeller GCC SimpleIDE de PARALLAX INC, software libre de programación de código abierto C / C ++ para el microcontrolador multinúcleo Propeller P8X32A, compatible con ANSI-C C89 y C99. El funcionamiento general se resume en

el accionamiento de los interruptores de mando presentes en el panel de control del sistema. [5] Se debe configurar al sistema microcontrolador de la placa Propeller Activity Board, las líneas de E/S; se declara e inicia las variables, se declara subrutinas, funciones. Se configura y declara los comandos de control de la pantalla LCD y se habilita las interrupciones. Se programará dos subrutinas (carretera y rbano), al encender el sistema, se ejecutará el modo activo en el interruptor de selección de modos, dichas subrutinas definirán la activación de los indicadores mediante los parámetros ubicados en la tabla 1.

Tabla 1. Rangos de distancia de activación de los indicadores

| INDICADOR | Rangos de distancia de activación del indicador | | Mensaje en la segunda línea de la pantalla LCD |
|-----------------------|---|------------------|--|
| | MODO URBANO | MODO CARRETERA | |
| Verde | Mayor a 7 m. | Mayor a 20 m. | DESPEJADO |
| Amarillo | Entre 3 y 7 m. | Entre 10 y 20 m. | PRECAUCIÓN |
| Rojos | Menor a 3 m. | Menor a 10 m. | PELIGRO |
| Alarma Piezoeléctrica | Menor a 3 m. | Menor a 10 m. | |

3. IMPLEMENTACIÓN

Con las consideraciones revisadas, se presenta el esquema del circuito general del sistema. En la figura 2 se detalla la conexión de los componentes con la placa Propeller Activity Board.

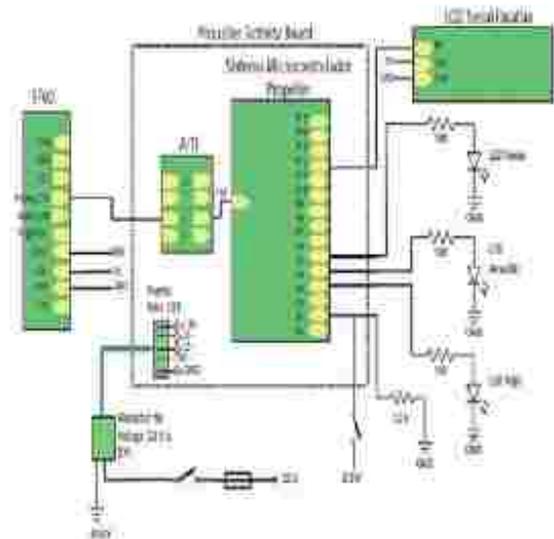


Figura 2. Detalle de la aplicación

El circuito de alimentación está compuesta de la siguiente manera, a todo el sistema se alimenta por el puerto mini USB de la placa Propeller Activity Board. La alimentación de 5 V y masa (GND) tanto del módulo sensor telémetro láser SF02 como el LCD Serial Propeller se obtiene de los accesos de alimentación de 5V y GND respectivamente disponibles de la Propeller Activity Board.

Las lecturas del sensor después de ser procesada y controlada por su propio módulo microcontrolador, posee terminales de conexión agrupadas por interfaz que nos ofrecen tres tipos de señal (analógica, serial y digital) y los terminales para seleccionar la alimentación adecuada, en este sistema se opera con la señal analógica que se obtiene a través del pin 7 del módulo sensor, esta señal analoga necesita una conversión a digital para lo cual se conecta a los zócalos A/D (0,1,2,3) del Propeller Activity Board mismos que se conectan a las entradas P18-P21 del sistema microcontrolador Propeller, en este caso la señal se introduce por el pin A/D 2.

El circuito de visualización y control del LCD Serial Parallax emplea una línea del sistema microcontrolador, en este caso se usa el P12 de los

ENERGÍA Y MECÁNICA INNOVACIÓN Y FUTURO
 No. 4 Vol. 1 / 2015 (13) ISSN 1390 - 7395 (12/13)

pinos de acceso I/O. [6]

Los indicadores visibles se conectarán a los pines de acceso I/O; para el led rojo se usa el P3, led amarillo el P4 y led verde el P5, el circuito de cada uno de los led tendrá una resistencia de 100 Ω , y se cierra el circuito a través de los pines de acceso GND del Propeller Activity Board. Para el indicador audible se utiliza el altavoz piezoeléctrico del LCD Serie Parallax, mismo que se controla por el mismo P12 utilizado para el control del LCD.

4. RESULTADOS

En las pruebas realizadas los resultados obtenidos indican que el prototipo del sistema de reconocimiento de objetos en carretera durante la conducción, es confiable dentro de su máximo alcance especificado de 40 m con una variación de ± 0.3 m, aunque el sensor proporciona lecturas de hasta 42 m; además se comprobó que el alcance del sensor no es afectada por las condiciones ambientales o la velocidad del vehículo, la única condición es que exista una superficie donde el haz láser pueda ser reflejado, esto garantiza la efectividad de un 90 % en el funcionamiento del sistema. Es confiable siempre y cuando el objeto a detectar se encuentre dentro del haz lineal láser, siendo esta una característica desfavorable de este tipo de sensores [7].

Referente a los indicadores audible, visible y las lecturas en la pantalla LCD, operan correctamente de acuerdo a los parámetros de activación de la tabla 1.

Complementariamente del funcionamiento del sistema, se constató que la ubicación del sensor a la altura del capó de 0,85 m es aceptable para la detección de vehículos pesados e igualmente vehículos pequeños con el chasis lo más cerca de la calzada y peatones.

De acuerdo al análisis realizado que se obtuvo con las pruebas realizadas, se demuestra que el sistema cumple con los objetivos planteados [8] [9].

5. CONCLUSIONES

En el presente proyecto se ha desarrollado un sistema de reconocimiento de objetos en carretera durante la conducción, bajo condiciones adversas, capaz de asistir al conductor informando y alertando de la presencia de algún objeto (vehículo, persona, etc.) frente al vehículo, y la distancia a la que se encuentra.

Mediante pruebas realizadas al sistema en tres tipos de condiciones ambientales: Libre de factores externos, con condiciones normales y bajo condiciones adversas.

Los resultados de las pruebas llevaron a la conclusión que hay un margen de error de 30 cm, logrando implementar de manera exitosa el sistema en el vehículo siendo un asistente de conducción confiable bajo cualquier condición ambiental. Este sistema puede producirse a gran escala en el país contribuyendo innovación, tecnológica y mejorando la seguridad de los conductores.

El sistema de reconocimiento de objetos actualmente está en pleno desarrollo, puede unificar varios sistemas ADAS, y con ello conseguir simplificar el uso de todos ellos aprovechando sus distintos dispositivos en conjunto. Los datos obtenidos de los elementos sensores pueden aplicarse para controlar sistemas como el ACC, Seguridad en intersecciones, etc.

El sistema como tal puede ser de gran ayuda para personas con capacidad visual reducida aportando un medio de ayuda para la detección de objetos que estén en la trayectoria del vehículo.

REFERENCIAS

- [1] ARMINGOL, María y DE LA ESCALERA, Arturo. 2012. *Visión por Computador para Vehículos Inteligentes*. Madrid : s.n., 2012.
- [2] Autoescuela.tv, tu autoescuela en internet. 2014. http://www.autoescuela.tv/glosario-190-ACC_Adaptive_Cruise_Control. [En línea] 2014. [Citado el: 17 de 08 de 2014.]
- [3] BOSCH. 2013. *Sistemas de ayuda a la conducción. Night Vision Plus*. [En línea] 2013. http://www.xn--bosch-tecnologadelautomovil-roclp.es/es/es/driving_comfort_8/driving_comfort_systems_for_passenger_cars_9/driver_assistance_systems_34/driver_assistance_systems_5.html#.
- [4] Calle, WO. 2011. *Adquisición de datos y procesamiento de señales*. [En línea] 2011. dSPACE.UPS.EDU.ES/bitstream/123456789/73/11/Capitulo3.pdf.
- [5] Collado, J. & Armingol, J. & De la escalera, A. 2012. *Visión por Computador para Vehículos Inteligentes*. Madrid : s.n., 2012.
- [6] Dr. Morales Mendoza, Luis Javier. 2013. *Procesamiento Digital de Señales*. Departamento de Maestría. [En línea] 2013. <http://www.dicis.ugto.mx/profesores/ljavier/documentos/Lec02%20-%20Se%C3%B1ales%20%20en%20Tiempo%20Discreto.pdf>.
- [7] FITSA. 2007. *Descripción del Sistema de Alerta de Cambio Involuntario de Carril y evidencias científicas de su eficacia*. [En línea] 2007. https://espaciosseguro.com/fundacionfitsa0/admin/_fitsa/archivos/publicaciones/0000027/03-Cambio_carril.pdf.
- [8] Gonzales, Rafael y Woods, Richard. 2002. *Digital Image Processing*. 2002.
- [9] Meganeboy, Dani. 2014. *Aficionados a la mecánica. Sensores en el automóvil*. [En línea] 2014. <http://www.aficionadosalamecanica.net/sensores1-ultrasonidos.htm>.
- [10] Motorpasión. 2014. *Motorpasión. El nuevo Volvo XC90 estrenará frenada autónoma en las intersecciones y protección contra salidas de vía*. [En línea] 2014. <http://www.motorpasion.com/tecnologia/el-nuevo-volvo-xc90-estrenara-frenada-autonoma-en-las-intersecciones-y-proteccion-contra-salidas-de-via>.
- [11] Ortega, Camila. 2014. *youngmarketing.co. Tecnología V2V: comunicación entre vehículos para prevenir accidentes*. [En línea] 2014. <http://www.youngmarketing.co/tecnologia-v2v-comunicacion-entre-vehiculos/>.
- [12] Pasión Motor. 2012. *¿Son fiables los sistemas de visión nocturna?* [En línea] 2012. <http://www.motorpasion.com/seguridad/son-fiables-los-sistemas-de-vision-nocturna>.
- [13] Pepperl+Fuchs. 2014. *TECHNOLOGY GUIDE ULTRASONICS BY PEPPERL+FUCHS*. Germany : s.n., 2014. 262501.
- [14] Platero, Carlos. 2011. *Introducción al Procesamiento digital de Señales*. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID. [En línea] 2011. www.elai.upm.es/webantigua/spain/Publicaciones/_/intro_procsdig.pdf.
- [15] RACC. 2011. *SISTEMAS DE RECONOCIMIENTO DE SEÑALES DE TRÁFICO ENTURISMOS*. [En línea] Agosto de 2011. http://imagenes.w3.racc.es/uploads/file/22207_Sistema_Reconocimiento_Senales.pdf.
- [16] Trincado, Juan Luis, Torres Salcedo, Beatriz y Pérez Alonso, Ana. 2011. *Sistema de Visión Estereoscópica para Navegación Autónoma de vehículos no tripulados*. 2011.

BIOGRAFÍA.



1 Celín Padilla, Máster en Ingeniería de Vehículos Híbridos y Eléctricos, Diploma Superior en Gestión del aprendizaje universitario, Ingeniero Automotriz. Docente Tiempo Completo de la Carrera de Ingeniería Automotriz de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.



2 Javier Villagrán, Magister en Matemática Básica, Ingeniero En Electrónica Y Computación, Diploma Superior En Gestión Educativa, Docente Tiempo Completo de la Carrera de Ingeniería Automotriz de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.



3 Segundo Cartuche, Ingeniero Automotriz, de la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.



4 Stayn Silva, Ingeniero Automotriz en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Registro de publicación:

| | |
|--------------------|-------------------|
| Fecha de recepción | 16 de julio 2015 |
| Fecha aceptación | 29 noviembre 2015 |



APLICACIÓN DE FIBRA DE YUTE EN LA CONSTRUCCIÓN DE CARROCERÍAS PARA VEHÍCULOS FÓRMULA SAE

APPLICATION OF JUTE FIBER IN THE CONSTRUCTION OF CAR BODIES FRMULA SAE

¹Henry Heriberto Iza Tobar, ²Leonidas Antonio Quiroz Eraso, ³Marcelo Fabián Salazar Corrales
^{1,2,3} Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Latacunga, Latacunga, Ecuador
 E-mail: ¹hiza@espe.edu.ec, ²laquiruz@espe.edu.ec, ³mfsalazar@espe.edu.ec

Energía Mecánica Innovación y Futuro, IV Edición 2015, No.13 (13)

RESUMEN

Se describe la aplicación de la fibra de yute en la construcción de carrocerías para vehículos Fórmula SAE. El desarrollo de esta investigación considera la implementación de nuevos materiales aplicados a la industria automotriz. Se interpreta los valores de las propiedades mecánicas de los tipos de fibras naturales como son lino, cáñamo, yute, kenaf, ramio, sisal, carauá, abacá, fibra de vidrio. Para decidir la aplicabilidad de la fibra de yute, se realiza una matriz de ponderación donde se valora cualitativamente las características de cada una de las fibras naturales anteriormente citadas. Usando el software SolidWorks SP3 2014 se realiza un análisis computacional de la carrocería de fibra de yute para determinar el flujo de aire. Al final del documento se encuentra descritas conclusiones de la aplicabilidad de la fibra de yute en la construcción de carrocerías.

Palabras Clave: Carrocería, fibra de yute, Fórmula SAE.

ABSTRACT

The application of jute fiber in the construction of vehicle bodies for Formula SAE described. The development of this research considers the implementation of new materials applied to the automotive industry. The values of the mechanical properties of the types of natural fibers such as flax, hemp, jute, kenaf, ramie, sisal, carauá, abaca, fiberglass is interpreted. To decide the applicability of jute fiber, a weight matrix which qualitatively evaluates the characteristics of each of the above natural fibers is performed. Using the software SolidWorks 2014 SP3 computational analysis of jute fiber body is performed to determine the airflow. At the end of the document is described findings of the applicability of jute fiber body construction.

Keywords: Car body, jute fibre, formula SAE.

1. INTRODUCCIÓN

Una de las importantes competencias estudiantiles de pregrado y posgrado en distintas áreas de la ingeniería es la Formula SAE (Society of Automotive Engineers) en donde, se plantea el desafío de diseñar, fabricar desarrollar y competir con vehículos tipo fórmula. La libertad de expresar la creatividad e imaginación son evaluadas en estas competencias. El reto para los diferentes equipos participantes es que puedan competir con éxito en pruebas como son: [1], un plan de negocios, reporte de costos, reporte de diseño, de deslizamiento, de obstáculos, de resistencia, de eficiencia de combustible y para el 2015 la Formula SAE propone pruebas de configuración del vehículo, dispositivos aerodinámicos. [2].

Desde el 2011, el equipo de competencia FESPE (Formula ESPE) ha representado a Ecuador en Alemania en la pista de Hockenheim Ring, habiendo adquirido experiencias enriquecedoras para el equipo y para el país, las mismas han permitido que se pueda ir innovando tanto en ingeniería de diseño y materiales utilizados para la construcción del vehículo.

El uso de materiales compuestos está presente en casi todo el diseño de los vehículos de competencia, tal es el caso de la existencia de bastidores y carrocerías de fibra de carbono, soportes de aluminio de alta resistencia, acero para discos de freno, atenuadores tipo "panales de abeja".

La necesidad de usarlos de una manera adecuada en cada uno de los componentes del vehículo es vital para que el vehículo tenga una eficiencia de combustible y por ende el puntaje necesario en la competencia.

La carrocería del vehículo según la reglamentación de la Formula SAE hasta el 2014 no tiene ninguna restricción tanto en el material como en el diseño pero, para el 2015 ya existe un apartado en donde se ve involucrado la aerodinámica por ende la carrocería del vehículo.

La reducción de peso del vehículo se ha considerado como uno de las soluciones más importantes para mejorar la economía de combustible, la reducción peso potencia y llegar a tener pocas o nulas emisiones contaminantes. Se cree que el peso del cuerpo del vehículo se puede reducir por el uso de múltiples materiales y sin aumento de coste.

Carrocerías de vehículos ligeros han utilizado aceros de aleaciones de alta resistencia y bajo peso, aleaciones de aluminio [3]. Dentro de las consideraciones previstas para la construcción de la carrocería del vehículo Formula SAE se tiene la optimización del material a utilizar en función de su peso, las propiedades mecánicas de los materiales, el espesor, costo de los mismos.

Por lo descrito anteriormente, se crea la necesidad de utilizar nuevos materiales compuestos con fibras naturales que reemplacen a los ya utilizados en la elaboración de la carrocería para los vehículos de la Formula SAE, aportando también con el desarrollo productivo del país.

Los nuevos materiales aportan ventajas, tanto desde el punto de vista de economía y facilidad en el transporte y ensamble, sin olvidar la reducción de cargas muertas cuando se utilizan de modo integral o masivo. [4].

De la gran variedad de materiales compuestos que existen en el mercado, se puede describir que estos son formados por matrices orgánicas (epoxi, vinilester, poliéster) y fibras de alta resistencia (vidrio, carbono, aramida, fibras naturales, etc.),

considerándose a estos como los más desarrollados y utilizados a nivel industrial [3].

2. MATERIALES Y MÉTODOS.

La necesidad de desarrollar tecnologías limpias debido al deterioro ambiental ha hecho que se busquen alternativas al uso de nuevos materiales, los mismos que puedan reemplazar a los ya tradicionales y que mejor forma que hacerlo con fibras naturales. En el Ecuador el desarrollo de materiales compuestos se encuentran en su etapa inicial, por ende, el uso de fibras naturales todavía es limitado [4]. Los jueces de las competencias de la Formula SAE, dentro de sus evaluaciones califican la innovación que haga el equipo al vehículo por tal motivo, el uso de fibras vegetales como elemento constructivo sería algo novedoso para su aplicación. Guerrero (2011) describe algunas propiedades mecánicas mostradas en la Tabla 1. El costo es una de las referencias que los autores del artículo han anexado en base a una investigación de campo realizado en julio 2014.

importante en aplicaciones donde la reducción de peso es una prioridad. Por lo tanto, no es sorprendente que las fibras naturales se utilicen como refuerzo para matrices de polímeros que reemplazarán las fibras de vidrio convencionales [5]. En la Figura 1 se puede observar que todas las fibras naturales tienen una densidad baja y casi los mismos valores a comparación que con la fibra de vidrio. Por otro lado, cuando se utilizan materiales compuestos que contienen fibras naturales, hay beneficios adicionales obtenidos como un comportamiento ecológico mejorado debido a la menor densidad de la fibra natural en comparación con el vidrio [6].

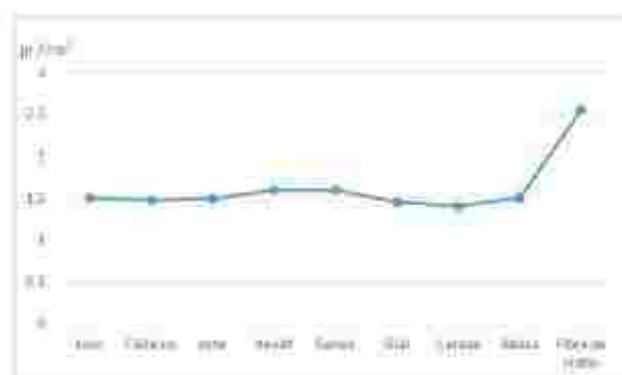


Figura 1. Densidad de las fibras naturales.

TABLA 1. Propiedades mecánicas de fibras naturales y fibra de vidrio [6].

| FIBRAS | Densidad (g/cm³) | Diámetro (mm) | Resistencia a la tensión (MPa) | Módulo de Young (GPa) | Elongación (%) | Costo (USD/Kilo) |
|-----------------|------------------|---------------|--------------------------------|-----------------------|----------------|------------------|
| Lino | 1.50 | 40 - 600 | 345 - 1500 | 27.0 - 39.0 | 2.7 - 3.2 | 12.95 |
| Cañamo | 1.47 | 25 - 250 | 550 - 900 | 38.0 - 70.0 | 1.6 - 4.0 | 6.45 |
| Yute | 1.3 - 1.49 | 25 - 250 | 393 - 800 | 13.0 - 26.5 | 1.16 - 1.5 | 3.87 |
| Kenaf | 1.5 - 1.60 | 2.6 - 4 | 350 - 930 | 40.0 - 53.0 | 1.6 | 1.57 |
| Ramio | 1.5 - 1.60 | 0.049 | 400 - 938 | 61.4 - 128 | 1.2 - 3.8 | 8.33 |
| Sisal | 1.45 | 50 - 200 | 468 - 700 | 9.4 - 22.0 | 3.0 - 7.0 | 2.70 |
| Carana | 1.40 | 7 - 10 | 500 - 1100 | 11.8 - 30.0 | 3.7 - 4.3 | 1.87 |
| Abaca | 1.50 | 10 - 30 | 430 - 813 | 31.1 - 33.6 | 2.9 | 1.45 |
| Fibra de vidrio | 2.55 | 15 - 25 | 2000 - 3500 | 70.0 - 73.0 | 2.5 - 3.7 | 8.33 |

Densidad

En varias fibras como el lino, yute y cañamo tiene su densidad que aproximadamente es el doble de las de fibras de vidrio. Esto es particularmente

Los productos hechos de materiales compuestos reforzados con yute tienen la ventaja de bajo costo, baja densidad, renovabilidad y biodegradabilidad. Estos compuestos pueden ser utilizados en la industria del embalaje, es decir, la fabricación

de jaulas, cajas o estuches utilizados para el almacenamiento y transporte de productos agrícolas, en la industria del automóvil para para sustituir la fibra de vidrio en puertas de automóviles, y como material de construcción [7].

Resistencia a la tensión, módulo de Young y elongación

Los materiales con alta rigidez y resistencia específica serán considerados en aplicaciones en donde el peso será un factor crítico para ser utilizado. No existe una fibra óptima que supere los valores de resistencia a la tensión de la fibra de vidrio como se muestra en la Figura 2.

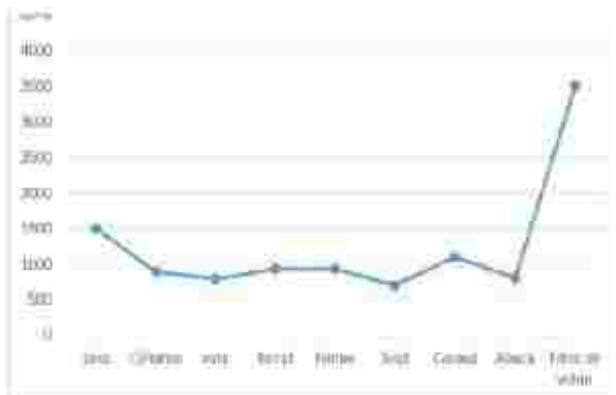


Figura 2. Resistencia a la tensión de las fibras naturales.

Generalmente, la resistencia a la tracción y el módulo de Young de las fibras aumenta al incrementarse también el contenido de celulosa. El ángulo microfibrilar determina la rigidez de las fibras. Las fibras vegetales son más dúctiles si el microfibrilar tiene una orientación espiral al eje de la fibra. Si se orientan las microfibras paralelas al eje de la fibra, estas serán rígidas, inflexibles, presentando una alta resistencia a la tracción. [8].

En la Figura 3 se indica que el módulo de Young del ramio presenta un valor alto a comparación de las otras fibras inclusive con la de vidrio por tanto este material será el que menos se deforme, el yute y el sisal representan los valores más bajos del

módulo de Young. La elongación es representativa para las fibras ya que la elongación de la fibra indica un tipo de deformación que se la puede tener luego de aplicarle una carga, en la Figura 4., se observa que el sisal tiene una elongación muy elevada comparándola con otras fibras.

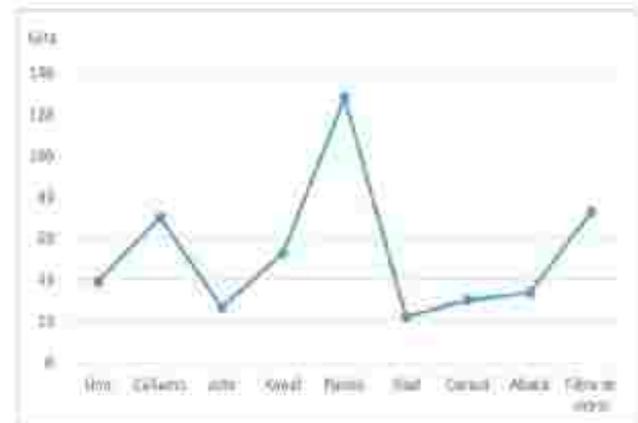


Figura 3. Módulo de Young de las fibras naturales.

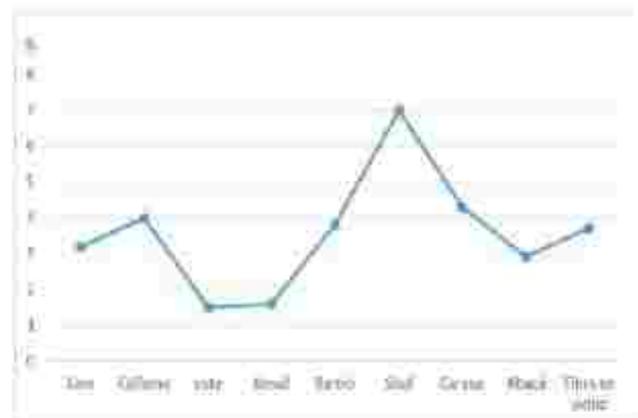


Figura 4. Porcentaje de elongación de las fibras naturales.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 2., se ha realizado una valoración de las propiedades mecánicas y el costo de la fibra, como criterio de evaluación se ha señalado tres indicadores de ponderación, siendo alto un valor correspondiente a 1 y 0 que corresponde a una calidad baja de la fibra.

Al realizar la ponderación se determinó que una de las fibras que se puede utilizar en reemplazo de la de vidrio es la de yute, su facilidad de adquisición

y manejo permite ser una alternativa para la construcción de la carrocería del vehículo.

En la Tabla 2., se ha realizado una valoración de las propiedades mecánicas y el costo de la fibra, como criterio de evaluación se ha señalado tres indicadores de ponderación, siendo alto un valor correspondiente a 1 y 0 que corresponde a una cualidad baja de la fibra.

Al realizar la ponderación se determinó que una de las fibras que se puede utilizar en reemplazo de la de vidrio es la de yute, su facilidad de adquisición y manejo permite ser una alternativa para la construcción de la carrocería del vehículo.

sustentación. El coeficiente de arrastre es la fuerza que se opone al desplazamiento del vehículo en el eje X y la componente en el eje Y que tiende a elevar al vehículo se la llama sustentación. Estos coeficientes se visualizan en la Figura 5.

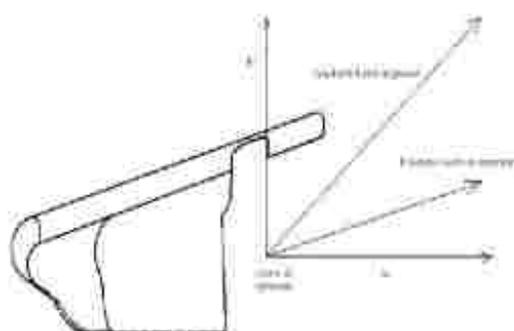


Figura 5. Coeficiente de arrastre y sustentación.

TABLA 2.
Matriz de ponderación para la selección de la fibra

| FIBRAS | CONDICIONES DE PONDERACIÓN | | | | | | Total de ponderación |
|------------------------|----------------------------|--------------------------|-----------------|------------|-------|--------------------------|----------------------|
| | Densidad | Resistencia a la tensión | Módulo de Young | Elongación | Costo | Facilidad de adquisición | |
| <i>Lino</i> | 0.91 | 0.29 | 0.84 | 0.69 | 0.00 | 0.80 | 3.53 |
| <i>Cáñamo</i> | 0.94 | 0.07 | 0.55 | 0.55 | 0.57 | 0.70 | 3.37 |
| <i>Yute</i> | 0.92 | 0.04 | 0.96 | 1.00 | 0.79 | 1.00 | 4.70 |
| <i>Kenaf</i> | 0.83 | 0.08 | 0.71 | 0.98 | 0.99 | 0.50 | 4.09 |
| <i>Ramio</i> | 0.83 | 0.09 | 0.00 | 0.58 | 0.40 | 0.80 | 2.69 |
| <i>Sisal</i> | 0.96 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 0.89 | 0.80 | 3.65 |
| <i>Caraná</i> | 1.00 | 0.14 | 0.92 | 0.49 | 0.96 | 0.80 | 4.32 |
| <i>Abacá</i> | 0.91 | 0.04 | 0.89 | 0.73 | 1.00 | 0.80 | 4.39 |
| <i>Fibra de vidrio</i> | 0.00 | 1.00 | 0.52 | 0.60 | 0.40 | 1.00 | 3.52 |

Requerimientos de la carrocería del vehículo.

La resistencia del aire es importante para el desempeño del vehículo. La mayoría de los automóviles producen sustentación y conforme la velocidad aumenta, este esfuerzo convierte al auto inestable. Una forma de contrarrestar este inconveniente es generar una sustentación negativa en donde la forma y diseño de la carrocería es importante para el desempeño del vehículo, esta sustentación negativa debe distribuirse entre la parte delantera y trasera del vehículo. Dos coeficientes deben ser analizados para el diseño de una carrocería, estos son el de arrastre y de

Análisis y simulación por computador de la carrocería.

Una de las dificultades en la construcción de la carrocería es que no se tenga condiciones físicas para poder determinar su eficiencia en el funcionamiento del vehículo como componente en condiciones aerodinámicas. Para este caso de la aplicación y construcción de la carrocería se ha utilizado SolidWorks. El procedimiento a realizar es el siguiente:

- *Elaboración del boceto de la carrocería del vehículo:* Se realiza el boceto tomando las

medidas luego de haber hecho la construcción del bastidor del vehículo utilizando el software se representa a la carrocería como se muestra en la Figura. 6.



Figura 6. Boceto de la carrocería del vehículo.

Análisis del flujo de aire: para ello se tomó en cuenta las condiciones ambientales de la pista de Hockenheim Ring, donde la temperatura ambiente de la pista promedio es de 20°C, la presión atmosférica es de 98 900 Pa. Para crear el material se tomó la densidad de la fibra de yute que es de 1.49 g /cm³ y el módulo de elasticidad que es 26 500 000 000 Pa., valores que fueron transformados a unidades requeridas por el programa.

Los resultados obtenidos permiten visualizar que no existen problemas de sustentación y arrastre ya que la altura del vehículo no supera los cinco centímetros por ende la presión ejercida hace que el vehículo se pegue al suelo, esta representación se muestra en la Figura. 7. Se hizo la comparación de material con fibra de vidrio con las condiciones de pista no se tuvo variación de la presión ejercida, encontrándose un valor de aceptable de 101 432.79 Pa., como valor presente en la parte delantera de la carrocería mostrado en la Figura. 8.

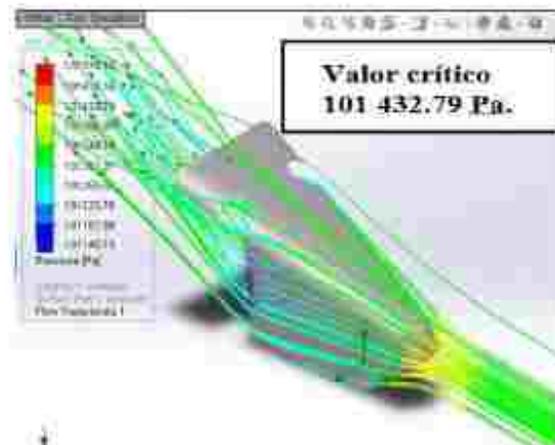


Figura 7. Resultados de la simulación fibra de yute.



Figura 8. Resultados de la simulación fibra de vidrio.

Proceso a aplicar en la construcción de la carrocería del vehículo formula SAE

Debido a la facilidad de manejo de la fibra y adquisición de materiales a utilizar la estratificación manual es uno de los procesos más empleados para la elaboración de este tipo de componentes vehiculares. Es la técnica más simple y tradicional para la obtención de materiales compuestos de matriz termoestable. Las matrices más comunes son: poliésteres, resinas epóxicas y fenólicas. La resina poliéster, frecuentemente usada por el bajo costo, tiene un contenido de estireno monómero entre 30 y 50% en peso. Como iniciador de la reacción se utiliza octato de cobalto y como catalizador peróxido de metiletil cetona [6].

Este método fue seleccionado por la facilidad e aplicación, su costo bajo y la disponibilidad de

materiales.

Proceso de fabricación.

Para la realización de la carrocería, se siguió el proceso mostrado en la Figura 9.



Figura 9. Proceso para la fabricación de la carrocería de matriz poliéster reforzada con fibra de yute.

La preparación del molde es importante, este se construyó con fibra de vidrio y madera para dar la forma de la carrocería, se muestra en la Figura 10. Al tener el molde ya fabricado se coloca cera desmoldante tal como se muestra en la Figura 11, con la finalidad que se pueda retirar la carrocería al finalizar el secado.



Figura 10. Molde de la carrocería.



Figura 11. Colocación de la cera desmoldante.



Figura 12. Colocación de la fibra de yute y resina.

Como matriz se empleó resina poliéster insaturada; el iniciador del proceso de curado de la resina fue octoato de cobalto y el catalizador, peróxido de metil-etil cetona (MEKP) esto se muestra en la Figura 12. Como refuerzo se utilizó dos capas de fibra de yute. La composición se indica en la Tabla 3.



Figura 13. Carrocería de fibra de yute.

Tabla 3. Cantidades de resina, octoato de cobalto, MEKP y fibra tejida, utilizados para el material compuesto.

| | |
|---------------------------------------|------|
| Espesor [mm] | 2 |
| Número de capas | 2 |
| Fibra tejida [g] | 300 |
| Fracción Volumétrica | 0.30 |
| Resina poliéster [cm ³] | 2000 |
| Octoato de cobalto [cm ³] | 10 |
| MEKP [cm ³] | 5 |

Se dejó secar por 5 días para lograr una mejor consistencia y forma de la carrocería. Con estas consideraciones, se obtuvo la carrocería que se puede visualizar en la Figura. 13.

Tabla 4. Comparación de carrocerías fabricadas

| | | | |
|--|--------------------|-----------------------|--|
| Fibra de vidrio con refuerzo metálico, placa de aluminio 2.2 mm. | | |  |
| CARROCERÍA | PESO (Sin pintura) | ESPESOR (Sin Pintura) | COSTO DE MATERIALES |
| | 10 Kg. | 5.9 mm. | 300 USD. |
| Fibra de vidrio con refuerzo metálico, placa de aluminio 1.8 mm. | | |  |
| CARROCERÍA | PESO (Sin pintura) | ESPESOR (Sin Pintura) | COSTO DE MATERIALES |
| | 8 Kg. | 4.2 mm. | 340. USD |
| Fibra de vidrio | | |  |
| | 3.6 Kg. | 2.6 mm | 120 USD |
| Fibra de yute. | | |  |
| CARROCERÍA | PESO (Sin pintura) | ESPESOR (Sin Pintura) | COSTO DE MATERIALES |
| | 2.4 Kg. | 2.0 mm | 60 USD |

Evaluación de la carrocería de yute construida con otras de diferente material.

Luego de realizado el análisis de cada uno de los materiales, se puede determinar que la fibra de yute y todas las fibras naturales presentan una baja resistencia mecánica, por tal motivo la estructura que se desea construir no debe estar sometido a mayores cargas.

Este tipo de carrocerías al servir como protección del vehículo y tener una componente aerodinámica se ha determinado mediante simulación mostradas en las Figuras. 7 y 8., que las presiones encontradas y las líneas de flujo no afectan significativamente a su estructura, lo que si es importante destacar

es la reducción de peso y espesor con relación a carrocerías anteriores que poseen similares características de diseño. Esto se puede evidenciar en la Tabla 4.

Tabla 5. Ventajas y desventajas del uso de fibra de vidrio con refuerzos metálicos y de aluminio con fibras de yute

| Alternativa | Ventajas | Desventajas |
|---|--|---|
| Uso de fibra de yute | Fácil construcción. Carrocería liviana. Estructura de la fibra fácil de moldear. Fibra natural, convirtiéndose en innovadora para usos automotrices. Facilidad de acceso de los materiales. Costo bajo. | Baja resistencia mecánica. Flamabilidad alta. [9]. |
| Uso de fibra de vidrio | Fácil construcción. Carrocería liviana. Estructura fácil de moldear. Fibra común. Fácil acceso de materiales. Costo medio. | Baja resistencia mecánica. Mayor densidad por ende el peso se incrementa. Flamabilidad media. [9]. |
| Uso de fibra de vidrio con refuerzo metálico. | Mayor resistencia mecánica. | De difícil construcción. Carrocería pesada. Estructura compleja para moldear. Fácil de acceso de materiales. Costo alto. Flamabilidad baja. [9]. |

En la tabla 5 se describe las ventajas y desventajas del uso de la fibra de vidrio y yute.

4. CONCLUSIONES

- Es factible la utilización de fibras naturales como la de yute en aplicaciones automotrices.
- No existe variación de presiones en las simulaciones de fibra de vidrio y yute, por tal razón se puede ver una ventaja de la fibra natural en función del peso.
- La selección del material o la fibra natural a utilizar, dependerá de los requerimientos

propios de la aplicación a realizar

- El costo total de producción de la carrocería de fibra de vidrio, tuvo una reducción del 50% en comparación de la de yute.
- El peso de la carrocería de yute comparándola con la de fibra de vidrio se redujo en un 44%.

REFERENCIAS

- [1] Formula SAE Rules, 2014.
- [2] Formula Student Combustion, 2014.
- [3] X. Cui, H. Zhang, S. Wang, L. Zhang y J. Ko, «Design of lightweight multi-material automotive bodies using new material,» ScienceDirect, 2010.
- [4] H. Villacis, Obtención de materiales compuestos híbridos de matriz poliéster reforzados con Fibra de Vidrio y abacá mediante estratificación, Quito: EPN, 2011.
- [5] A. Morales y M. Ponce, Materiales reforzados de poliolefinas recicladas y nanofibras de celulosa de Henequén, México: Instituto Tecnológico Ciudad de México, 2011.
- [6] V. Guerrero, J. Dávila, S. Galeas, P. Pontón, N. Rosas, V. Sotomayor y Valdivieso, NUEVOS MATERIALES, Quito, 2011.
- [7] S. Kalia, B. S. Kaith y I. Kaur, CELLULOSE FIBERS: Bio - and Nano-Polymer Composites, India: Springer, 2011.
- [8] F. Arcentales, V. Guerrero, Obtención de materiales compuestos híbridos de matriz poliéster reforzada con fibra de coco y de vidrio para la elaboración de tableros. Quito, 2011.

[9]A. Mohanty, M. Misra y L. Drzal, Natural fibers, biopolymers and biocomposites. Estados Unidos: Taylor & Francis Group, 2005.

Registro de publicación:

| | |
|--------------------|-------------------|
| Fecha de recepción | 18 de agosto 2015 |
| Fecha aceptación | 28 noviembre 2015 |

BIOGRAFÍA

1 Iza Henry, Docente Tiempo Parcial del Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica Ingeniero Automotriz Magíster en Gestión de la Producción, Con diplomado Superior en Autotrónica y Docencia

Universitaria. Asistente y Coordinador de Investigación del Proyecto FESPE.



2 Leonidas Quiroz, Magíster en Gestión de Energías, Diploma Superior en Autotrónica, Ingeniero Automotriz, Docente Tiempo Completo, del Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica de la Universidad de

Fuerzas Armadas ESPE.



3 Fabián Salazar, Ingeniero Automotriz, Magister en Gestión de Energías Maestría Ejecutiva en Dirección de Empresas Especialista en Gerencia de Proyectos Diplomado en Gerencia de Marketing Diploma superior

en Gestión para el aprendizaje universitario. Docente Tiempo Parcial, del Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica de la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE.

NORMAS PARA LA PRESENTACIÓN DE ARTÍCULOS EN LA REVISTA ENERGÍA MECÁNICA INNOVACIÓN Y FUTURO.

La revista Energía y Mecánica dispone de registro ISSN 1390-7395 conferido por la SENESCYT a petición de la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE.

Todo artículo debe ser inédito, el mismo que se enviará previa convocatoria al Comité Editor de la Revista, la cual siguiendo el proceso de calificación y arbitraje por pares especialistas considerará su publicación.

Se realizará la convocatoria de manera escrita y mediante uso de la página WEB Institucional.

Es de responsabilidad del autor obtener el permiso para utilizar el material de otras publicaciones.

Los autores respetar el uso de normas y citas de otras autorías mediante la cita adecuada.

Los autores entregarán sus artículos impreso y en digital formato WORD, escrito a dos columnas, espacio sencillo en letra Calibri 11, Arial o Times 11. El título será en letra 14 Calibri negrita.

Incluir el nombre del autor, institución en la que trabaja, correo electrónico, dirección de la institución.

Incluir su bibliografía y fotografía actualizada.

Se presentará el resumen en español y en inglés, como máximo 200 palabras. Se respetará la normatividad para citar textos y derechos de autor mediante el uso de la norma APA.

No dejar títulos de temas, tablas o gráficos sueltos en hojas en blanco.

Los gráficos, tablas deberán contener la numeración detalle y fuente, debiendo ser de calidad gráfica adecuada.

Las referencias serán en orden alfabético incluyendo Apellidos, Nombre, Año, Título, Revista, País y otras que considere la norma.

Enumerar fórmulas y ecuaciones.

Otras indicaciones o pautas serán de decisión del comité editorial, el mismo que proporcionará un formato para que los artículos se ajusten a los requerimientos de la edición.



**NÓMINA DE PROFESIONALES QUE COLABORARON COMO
PARES DE REVISIÓN EN LA IV EDICIÓN DE
“ENERGÍA MECÁNICA INNOVACIÓN Y FUTURO”**

| | |
|--|---|
| <i>ING. ROBERTO BELTRAN REINA MSc.</i> | <i>Universidad de Fuerzas Armadas ESPE</i> |
| <i>ING. OSCAR ARZAGA MSc.</i> | <i>Universidad de Fuerzas Armadas ESPE</i> |
| <i>ING. WILLIAM BONILLA MSc.</i> | <i>Universidad de Fuerzas Armadas ESPE</i> |
| <i>ING. ALEX CEVALLOS CARVAJAL</i> | <i>Universidad de Fuerzas Armadas ESPE</i> |
| <i>ING. MARIO LARA NUÑEZ MBA</i> | <i>Universidad de Fuerzas Armadas ESPE</i> |
| <i>PHD. HEBERT MOLERO MORAN</i> | <i>Universidad de Fuerzas Armadas ESPE</i> |
| <i>ING. GALO AVILA ROSERO MSc.</i> | <i>Universidad de Fuerzas Armadas ESPE</i> |
| <i>ING. HECTOR TERAN HERRERA MSc.</i> | <i>Universidad de Fuerzas Armadas ESPE</i> |
| <i>PHD. OSCAR CHANG TORTOLERO</i> | <i>Universidad de Fuerzas Armadas ESPE</i> |
| <i>ING. ADOLFO PEÑA PINARGOTE</i> | <i>Universidad Internacional del Ecuador – Guayaquil</i> |
| <i>ING. EDWIN PUENTEMOROMENACHO</i> | <i>Universidad Internacional del Ecuador – Guayaquil</i> |
| <i>ING. MARCELO GONZALEZ TORRES</i> | <i>Universidad Internacional del Ecuador – Guayaquil</i> |
| <i>ING. FABIO OBANDO</i> | <i>Universidad Politécnica Salesiana</i> |
| <i>ING. MARCELO ESTRELLA MSc.</i> | <i>Universidad Tecnológica Equinoccial</i> |
| <i>ING. ALEJANDRO ROJAS</i> | <i>Universidad Tecnológica Equinoccial / Cite Electronics</i> |
| <i>ING. DIEGO LOPEZ GUZMAN</i> | <i>Universidad Tecnológica Equinoccial / Cite Electronics</i> |
| <i>ING. ROBERTO SALAZAR</i> | <i>Universidad Tecnológica Indoamérica</i> |
| <i>ING. FREDDY ROSERO OBANDO MSc.</i> | <i>Universidad Técnica del Norte</i> |
| <i>ING. XAVIER ROSERO CHANDY MSc.</i> | <i>Universidad Técnica del Norte</i> |
| <i>ING. FLAVIO ARROYO MOROCHO MSc.</i> | <i>Universidad Central del Ecuador</i> |
| <i>ING. ABEL REMACHE COYAGO</i> | <i>Universidad Central del Ecuador</i> |
| <i>ING. RAMIRO ROSERO AÑAZCO MSc.</i> | <i>Profesional Independiente</i> |
| <i>ING. CELIN PADILLA ABAD</i> | <i>Escuela Politécnica de Chimborazo</i> |
| <i>ING. ALEX CALDERON Mg.</i> | <i>Universidad Técnica del Norte</i> |
| <i>ING. ESTEBAN LÓPEZ ESPINEL Mg.</i> | <i>Centro de Fomento Carrocero Tungurahua</i> |
| <i>ING. LUIS SANTOS</i> | <i>Universidad Técnica del Norte</i> |
| <i>PHD. JULIO PINO</i> | <i>Universidad Técnica de Cotopaxi</i> |
| <i>MSc. GABRIEL HERNANDEZ</i> | <i>Instituto Superior Metalúrgico MOA Cuba</i> |
| <i>ING. JUAN ROCHA MSc.</i> | <i>Universidad SEK</i> |



TÍTULO DE ARTÍCULO A SER PRESENTADO EN LA REVISTA ENERGÍA MECÁNICA INNOVACIÓN Y FUTURO (EN ESPAÑOL)

TÍTULO DE ARTÍCULO A SER PRESENTADO EN LA REVISTA ENERGÍA MECÁNICA INNOVACIÓN Y FUTURO (EN INGLÉS)

¹Nombre Apellido Autor, ²Nombre Apellido Autor, ³Nombre Apellido Autor, ⁴Nombre Apellido Autor, ⁵Nombre Apellido Autor
⁶⁶⁶⁶⁶ Institución o filiación, Dirección
E-mail: 1, 2, 3, 4, 5

Energía Mecánica Innovación y Futuro, IV Edición 2015, No.1 (13)

RESUMEN

Se presentan las instrucciones generales para presentar el artículo científico en la Revista Energía Mecánica Innovación y Futuro Vol. 4 necesarios para ser considerada su publicación.

El resumen presenta el objetivo, alcance, resultados que sean fácilmente identificables por los lectores.

Debe contener de 150 a 250 palabras. Use la letra tipo Times New Roman en tamaño 11 en texto justificado.

Palabras clave:

Palabras que relacionan el contenido del artículo que se encontrarán en el resumen serán de 3 a 5 citándose en orden alfabético.

ABSTRACT

Redacción del resumen en inglés

Keywords:

Palabras claves en inglés.

1. INTRODUCCIÓN

Documento en plantilla de Microsoft Word para la preparación de artículos. Incluye una descripción de las fuentes, espaciados e información relacionada para generar la versión final, se adjunta archivo de ejemplo.

Para consultas dirigirse a: wgerazo@espe.edu.ec, einnovacion-el@espe.edu.ec

Instrucciones

No exceder más de 6000 palabras entre 8 y 10 carillas máximo e incluir:

- Título en español e inglés
- Autores y su filiación institucional
- Resumen en español e inglés
- Palabras clave en español e inglés.

Artículo:

- Introducción
- Fundamentación
- Definiciones
- Revisión de literatura
- Formulación de objetivos y establecimiento de hipótesis

Materiales, fuentes y métodos

- Recopilación de datos
- Tratamiento de las variables
- Análisis estadístico

Resultados

Discusión

Conclusiones

Referencias bibliográficas

Material adicional

- Figuras

- Tablas

2. MATERIALES Y MÉTODOS

En esta plantilla en la sección materiales y métodos aplicados en la investigación:

Redactado en página A4, los márgenes deben ser: superior, inferior, izquierdo y derecho 25 mm.

La hoja debe estar dividida en dos columnas:

La versión final del artículo se debe enviar sin el nombre de los autores para su revisión por pares ciegos en un archivo en formato PDF con el fin de publicarlo en línea y en formato Word para su publicación impresa.

Título principal

El título del artículo debe estar centrado y con fuente Times New Roman tamaño 14, escrito con letras mayúsculas y con la primera letra de las palabras mayores en mayor tamaño

Nombre del Autor(s) y afiliaciones

Los nombres del autor(es) deben estar centrados abajo del título y con fuente Times New Roman tamaño 8, sin negrita tal como se indica en la parte superior de este documento.

Se escribirá primero el nombre y luego el apellido.

Si el artículo tiene más de un autor, los nombres estarán separados por comas de manera que todos los nombres se los autores estén en una sola línea. Los detalles de los autores no deben mostrar ningún título profesional como PhD, MSc, Dr.

Utilizar editor de ecuaciones de Microsoft Word.

Enumere las ecuaciones consecutivamente colocando la numeración entre paréntesis y alineándola con el margen derecho.

La ecuación debe estar centrada.

Utilizar unidades del sistema métrico SI.

Referencias

Verificar las citas colocadas, considerar la norma APA.

Las referencias se presentan al final ordenadas numéricamente en corchetes [1] según el orden de aparición en el texto. Un punto debe seguir al paréntesis [2].

Referencias múltiples pueden citarse con paréntesis separados por un guión [1]–[3]. Cuando se cite un libro indicar las páginas con la información relevante.

Al final del artículo liste y enumere todas las referencias bibliográficas con una fuente Times New Roman tamaño 12.

Usar "et al" si hay seis autores o más.

Resultados y Discusión

Analizar datos, valores curvas obtenidas en el proceso de desarrollo del artículo o investigación.

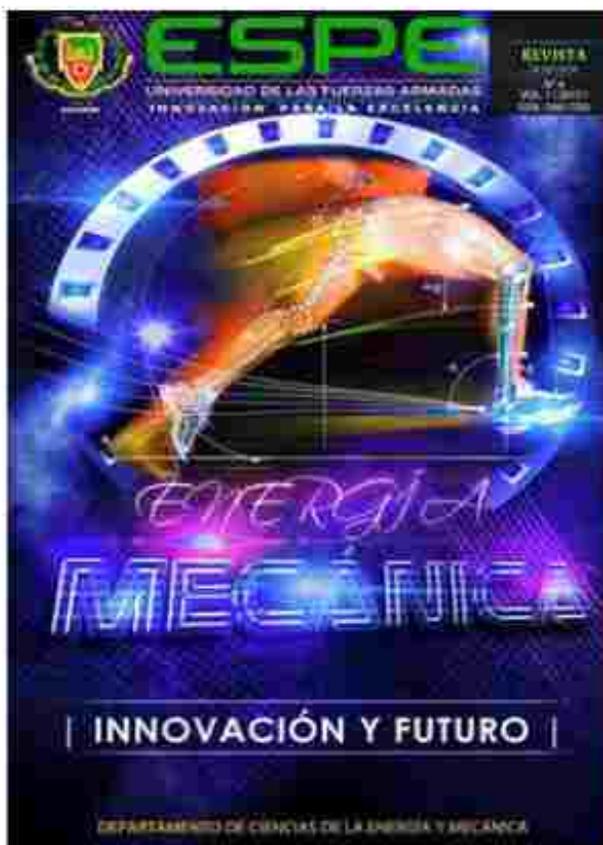
Conclusiones

Obtenidas de los datos obtenidos.

Referencias de acuerdo a la norma APA.

Biografía

Incluir fotografía formal y actualizada, con estudios y títulos académicos y funciones en la institución.



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

CONVOCATORIA

El Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica de la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga,
invita a participar con la presentación de artículos para la edición de su revista:

ENERGÍA MECÁNICA INNOVACIÓN Y FUTURO
ISSN: 1390 - 7395

Áreas de Interés:

- Diseño y Mecánica Computacional.
- Materiales y Mecánica de sólidos.
- Energía y Terma Fluido.
- Proceso de Manufactura.
- Petroquímica.
- Sistemas Automotrices.
- Mecatrónica.

FECHA LÍMITE:
12 DE AGOSTO DE 2015

ENVÍO DE ARTÍCULOS:
convocatoria@espe.edu.ec
espe@espe.edu.ec
Ing. Vse. G. Eren - 0995275027



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

ENERGÍA MECÁNICA INNOVACIÓN Y FUTURO

Revista de difusión No. 4
ISSN: 1390 - 7395
Publicación Anual

RESPONSABLE LEGAL:

Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE
Av. General Rumiñahui s/n
Sangolquí - Ecuador
P.O. Box. 171 - 5 - 318
emecanica@espe.edu.ec
e-innovación@espe.edu.ec
wgerazo@espe.edu.ec

