



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Revista de difusión

N° 6 Vol. 1

(2017)

ISSN: 1390 - 7395

# N° 6



DEPARTAMENTO  
DE CIENCIAS DE LA  
ENERGÍA Y MECÁNICA

# *Energía Mecánica*

INNOVACIÓN Y FUTURO

# UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE

## DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

### • CUERPO EDITORIAL

**CORONEL CSM EDGAR RAMIRO PAZMIÑO O.**  
Rector.

**TCRN. ESP. RICARDO SÁNCHEZ C.**  
Director .

**ING. JOSÉ BUCHELI MSc.**  
Jefe Investigación Innovación y Transferencia de Tecnología

**ING. MARCO SINGAÑA A. MSc.**  
Director General de la revista

Director del Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica.

**ING. EDISON ARGUELLO MAYA MSc.**  
Docente Tiempo Completo, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE/ Editor General

**ING. ALEX CEVALLOS CARVAJAL MSc.**  
Docente Tiempo Completo, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE/ Editor Académico Asociado

### ENERGÍA MECÁNICA , INNOVACIÓN Y FUTURO

Revista de Difusión No.6  
ISSN : 1390 - 7395  
Publicación Anual  
500 EJEMPLARES

### • RESPONSABLE LEGAL:

Universidad de Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga  
Quijano y Ordoñez y Hnas. Páez.  
Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica  
emecanica@espe.edu.ec  
einnovacion-el@espe.edu.ec  
wgerazo@espe.edu.ec  
032810206 Ext. 4306  
Diciembre 2017  
500 ejemplares.

### • EQUIPO TÉCNICO:

*Diseño de la revista:*  
*Ing. Evelin Panchi*  
*Ing. Ruth Pullopaxi*  
*Ing. Cristian Molina Q.*  
*Ing. Cristian Paredes G.*  
*Impreso en:*  
*Gráficas Latacunga*



### • COMITE CIENTÍFICO EDITORIAL

**PhD. MÓNICA KAREL HUERTA**  
Universidad Politécnica Salesiana  
Universidad Simón Bolívar  
Caracas - Venezuela  
Grupo de Redes y Telemática aplicada

**PhD. ENDER CARRASQUERO C.**  
Director Académico del Centro Venezolano de estudios del trabajo y Ergonomía

**PhD. MARÍA ELENA VILLAPOLO CYA.**  
Docente Auckland  
University of Technology

**PhD. VÍCTOR HUGO ANDALUZ**  
Universidad de Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga  
Grupo de Investigación ARCI.

**ING. LUIS MENA NAVARRETE MSc.**  
Universidad de Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga  
Grupo de Investigación SAEM R&D



# Índice

## **GESTIÓN DE MANTENIMIENTO INTEGRAL A MEDIANTE SOFTWARE ORIENTADO A LA PROYECCIÓN Y PLANIFICACIÓN DE LAS ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ PARA LA FLOTA DE VEHÍCULO DEL GADDIC MUNICIPAL DE CAÑAR**

### **INTEGRAL MAINTENANCE MANAGEMENT THROUGH SOFTWARE ORIENTED FOR THE PROJECTION AND PLANNING OF AUTOMOTIVE MAINTENANCE ACTIVITIES FOR THE VEHICLE FLEET OF THE GADICC MUNICIPAL DE CAÑAR**

Luis Fernando Buenaño Moyano, Bolívar Alejandro Cuaical Angulo, Celin Abad Padilla Padilla, Ligia Elena Moreno Pinduisaca, Wilson Javier Villagrán Cáceres, Jesús Chimborazo Camas, José Shaun Shinin

---

11

## **ANÁLISIS MULTICUERPO Y CONTROL DINÁMICO DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO TWIZY**

### **MULTIBODY ANALYSIS AND DYNAMIC CONTROL OF THE ELECTRIC VEHICLE TWIZY**

Gabriel Vinicio Moreano Sánchez, Juan Carlos Castelo Valdiviezo, Alvaro Gabriel Benitez Bravo, Víctor Hugo Benítez Bravo,

---

21

## **ESCENARIOS FUTUROS DE EMISIONES DE CO2 PRODUCIDAS POR EL CONSUMO DE ENERGÍA FINAL EN EL ECUADOR**

### **FUTURE SCENARIOS OF CO2 EMISSIONS PRODUCED BY FINAL ENERGY CONSUMPTION IN ECUADOR**

Flavio Roberto Arroyo Morocho, Luis Javier Bravo Alvarracín

---

31

## **DESEMPEÑO ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO DE UN MÓDULO DE CONTROL PARA INYECCIÓN Y ENCENDIDO DE UNA MOTOCICLETA DE 200CC**

### **ELECTRICAL AND ELECTRONIC PERFORMANCE OF A CONTROL MODULE FOR INJECTION AND IGNITION OF A 200CC MOTORCYCLE**

Erazo Laverde Washigton German, López Barberán René Fernando, Lozada Pilco Jonathan Samuel, Alex Javier Ramos Jinez, José Quiroz Erazo

---

39

## **HOMOGENEIZACIÓN DE LA CAPA ENDURECIDA POR TEMPLE LÁSER DE PASOS MÚLTIPLES EN SUPERFICIES CILÍNDRICAS**

### **HOMOGENIZATION OF THE LASER HARDENING CURED LAYER MULTISTEP CYLINDRICAL SURFACES**

Milton Israel Quinga Morales, Paul Alejandro Montúfar Paz, Vicente Javier Romero Hidalgo, Bolívar Alejandro Cuaical Angulo

---

47

## **SISTEMA BIFUEL ALTERNATIVO GNV/DIESEL**

### **ALTERNATIVE BIFUEL SISTEM GNV/DIESEL**

Ramos Jinez Alex Javier, Romero Guano Néstor Aníbal, León Almeida Jaime Eduardo, Quiroz Erazo Leonidas Antonio, Lozada Pilco Jonathan Samuel, Suárez Castro Alexander Rafael,

---

55

## **PROGRAMACIÓN DE MÓDULO DE CONTROL PANDOO EN EL VEHÍCULO SUZUKI 1300, PARA ELEVAR LOS PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DEL MOTOR DE ENCENDIDO POR CHISPA**

### **PROGRAMMING THE PANDOO CONTROL MODULE ON THE SUZUKI 1300 VEHICLE, TO RAISE THE CHARACTERISTIC PARAMETERS OF THE SPARK IGNITION ENGINE**

Carlos David Escola Viñan, Washington Germán Erazo, Danilo Zambrano León, Luis Molina Molina

---

61

## **ANÁLISIS DE LAS DETERMINANTES UTILIZANDO COMBUSTIBLE LOCAL Y EUROPEO**

### **ANALYSIS OF DETERMINANTS USING LOCAL AND EUROPEAN FUEL**

Guillermo Gorky Reyes Campaña, José Andrés Castillo Reyes, Andrés Sebastián Ortiz Espinoza, Gerardo Giovanni Rodríguez Gallegos

---

68

## **MODELO MATEMÁTICO PARA EL CÁLCULO DEL TIEMPO DE INYECCIÓN APLICABLE A UN SIMULADOR**

### **MATHEMATICAL MODEL FOR THE CALCULATION OF THE INJECTION TIME APPLICABLE TO A SIMULATOR**

Raúl Hidrobo Salazar, Ángel Portilla Aguilar, Luis Corrales Paucar, Wilson Morán Flores

---

77

## **METODOLOGÍA DE IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS DE GESTIÓN ENERGÉTICA EN BASE A LA NORMA ISO 50001:2011**

### **METHODOLOGY OF IMPLEMENTATION OF ENERGY MANAGEMENT SYSTEMS BASED ON ISO 50001: 2011 STANDARD**

Luis Marcelo Arellano Rodríguez, María Gabriela Tapia Carrillo, Jonathan Samuel Vélez Salazar, Cristian Paúl Chuchico Arcos

---

86

**ESTIMACIÓN DE EMISIONES CONTAMINANTES DE AUTOBUSES URBANOS,  
CASO DE ESTUDIO IBARRA-ECUADOR**

**ESTIMATING VEHICLE EMISSIONS FROM PUBLIC TRANSPORT BUSES, CASE STUDY:  
IBARRA-ECUADOR**

Rosero Añazco Ramiro Andrés, Rosero Obando Fredy Alexander, Mera Rosero Zamir Andrés, Tapia Gudiño Fausto Eduardo

---

93

**DISEÑO DE UN PLAN PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE ESTACIONES DE  
RECARGA SEMI-RÁPIDA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS EN LA CIUDAD DE  
GUAYAQUIL**

**DESIGN OF A PLAN FOR THE IMPLEMENTATION OF SEMI-QUICK RECHARGE  
STATIONS FOR ELECTRIC VEHICLES IN THE CITY OF GUAYAQUIL.**

Marco Noroña

---

100

**DISEÑO DE UN PLAN PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE ESTACIONES DE  
RECARGA SEMI-RÁPIDA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS EN LA CIUDAD DE  
GUAYAQUIL**

**DESIGN OF A PLAN FOR THE IMPLEMENTATION OF SEMI-QUICK RECHARGE  
STATIONS FOR ELECTRIC VEHICLES IN THE CITY OF GUAYAQUIL.**

Marco Noroña

---

107

**ESQUEMAS ELÉCTRICOS DE LA ECU AUTOMOTRIZ OBTENIDOS A TRAVÉS  
DEL MÉTODO DE DIAGNÓSTICO POR IMÁGENES.**

**STUDY OF THE ELECTRICAL SCHEMES OF THE AUTOMOTIVE ELECTRONIC  
CONTROL UNIT OBTAINED THROUGH THE DIAGNOSTIC METHOD BY IMAGES.**

Edwin Giovanni Puente Moromenacho; Daniela Alexandra Jerez Mayorga

---

117

**IMPLEMENTACIÓN DE UNA PERSIANA PARA EVITAR EL RECALENTAMIENTO  
DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA DE UN AUTOBÚS DEL CONSORCIO  
MEJÍA BRITO.**

**IMPLEMENTATION OF A DAMPER TO AVOID THE REHEATING OF THE INTERNAL  
COMBUSTION ENGINE OF A BUS OF THE CONSORTIUM MEJÍA BRITO.**

Cárdenas Yáñez Rodrigo Andrés, Molina Osejos Jaime Vinicio, Peralta Zurita Diana Belén

---

124

**ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA TÉRMICA MEDIANTE LA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS TRIBOLÓGICO DEL ACEITE EN EL GRUPO ELECTRÓGENO CATERPILLAR 3208.**

**ANALYSIS OF THE THERMIC EFFICIENCY THROUGH THE APPLICATION OF TRIBOLOGICAL ANALYSIS OF THE OIL IN THE ELECTROGEN GROUP CATERPILLAR 3208.**

Emilia Daniela Aimacaña Sánchez, Juan Carlos Castelo Valdivieso, Rolando Xavier Salazar Paredes, Cristian Roberto Moncayo Espín.

---

135

**DESEMPEÑO DE UN MOTOR PETERS PJ 2 W USANDO EMULSIONES DE DIÉSEL Y AGUA**

**PERFORMANCE OF A PETERS PJ 2 W ENGINE USING DIESEL AND WATER EMULSIONS**

Diego Roberto Pucují Pillajo, Washington Germán Erazo Laverde, Pablo Bonilla Balladarez

---

140

**IMPLEMENTACIÓN DE UN TURBO COMPRESOR EN UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA ALTERNATIVO CON ENCENDIDO PROVOCADO.**

**IMPLEMENTATION OF A TURBOCHARGER FOR AN ALTERNATIVE INTERNAL COMBUSTION ENGINE**

Francisco Torres, Robert Rockwood, Andrés López, Juan Sinchi.

---

146

**SIMULACIÓN POR ELEMENTOS FINITOS Y MODELO MATEMÁTICO DEL COMPORTAMIENTO DINÁMICO DE LA SUSPENSIÓN POSTERIOR DE UNA MOTOCICLETA TIPO CUSTOM 125 CC.**

***SIMULATION BY FINITE ELEMENTS AND MATHEMATICAL MODEL OF THE DYNAMIC BEHAVIOR OF THE REAR SUSPENSION OF A CUSTOM 125 CC MOTORCYCLE.***

Fabián Alejandro Cargua Colcha, Luigi Orlando Freire Martínez, Byron Paul Corrales Bastidas, Omar Stalin Yupanqui Taipe

---

155

## *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 Profesionales afines. Pertenece 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.





*La inteligencia consiste no sólo en el conocimiento, sino también en la destreza de aplicar los conocimientos en la práctica.-Aristóteles.*

Los avances tecnológicos y científicos cada vez son más notorios en el ámbito de la ciencia, por lo que a través de la sexta edición de la revista de difusión científica **ENERGÍA MECÁNICA, INNOVACIÓN Y FUTURO**, que a través del Departamento de Energía y Mecánica y el Grupo de Investigación SAEM R&D de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE - presenta a la comunidad universitaria y científica la difusión de avances tecnológicos.

Se evidencia la participación activa de investigadores, docentes y articulistas tanto internos como externos que contribuyen a fortalecer esta publicación, la cual comparte trabajos de investigación en diversas áreas del conocimiento relacionados con la ciencias de la ingeniería y profesiones afines como son: Eficiencia energética, contaminación e impacto ambiental, Planificación del transporte, seguridad y gestión de la movilidad Ingeniería del mantenimiento, Diseño mecánico, Estándares y normativa aplicados a la ingeniería , sistemas de control y automatización entre otros de relevancia que busca permanentemente la mejora continua en este interesante proceso de enseñanza aprendizaje.

El apoyo constante a docentes y estudiantes para sus trabajos de investigación trasciendan y se constituyan en un referente bibliográfico y de análisis de investigadores de otras instituciones es parte de los objetivos de esta dirección.

Me congratula presentar este ejemplar, sobre todo porque es el producto del trabajo de profesionales que aportan con su conocimiento a las presentes y futuras generaciones, lo que da cumplimiento a la misión fundamental de la Universidad. Sean todos, amigos lectores, bienvenidos a la lectura de los artículos publicados en este número de la revista **ENERGÍA MECÁNICA, INNOVACIÓN Y FUTURO**.

**ING. RICARDO SÁNCHEZ CABRERA MBA.**  
**TCRN. ESP.**  
**DIRECTOR**





La Revista Energía Mecánica Innovación y Futuro actualmente se constituye en un espacio donde los investigadores tienen la oportunidad de exponer sus trabajos, con la convicción de que sus temas serán parte de una publicación que goza de prestigio en la comunidad académica por la relevancia de los aportes realizados en números anteriores y que es ahora línea base o punto de partida para realizar un proceso de mejora continua y así ofrecer al público un producto todavía mejor. Se sigue directrices que norman al equipo editor para tener como resultado un producto de interés para profesionales, docentes y estudiantes, se basan en la rigurosidad, la ética y búsqueda de calidad.

Las temáticas seleccionados se encuentran dentro de las áreas de conocimiento de Diseño y Mecánica Computacional, Procesos de Manufactura, Materiales y Mecánica de Sólidos, Energía y Termofluidos, Sistemas automotrices, Petroquímica y Mecatrónica; en tal virtud, la revista ofrece publicaciones de interés para la industria y su difusión a través de medios virtuales de la universidad garantizan alta exposición para que otros investigadores puedan acceder a la información publicada.

La gran cantidad de solicitudes enviadas por los canales correspondientes, evidencia la confianza que tienen en la revista, factor que motiva y llena de orgullo al equipo, por ello muchas gracias.

**ING. EDISON OSWALDO ARGUELLO MAYA MSC.  
EDITOR.**



***NÓMINA DE PROFESIONALES QUE COLABORARON COMO PARES DE REVISIÓN  
EN LA V EDICIÓN DE ENERGÍA MECÁNICA INNOVACIÓN Y FUTURO***

Ing. Fabian Salazar Corrales Mgs	Universidad de Fuerzas Armadas ESPE
Ing. Alex Cevallos Carvajal Msc.	Universidad de Fuerzas Armadas ESPE
Ing. Mario Lara Nuñez Mba	Universidad de Fuerzas Armadas ESPE
Phd. Laura Aurora Saenz Palencia	Universidad de Fuerzas Armadas ESPE
Ing. Hernán Morales Mgs.	Universidad de Fuerzas Armadas ESPE
Ing. Hector Teran Herrera Mgs	Universidad de Fuerzas Armadas ESPE (SAEM R&D)
Ing. Adolfo Peña Pinargote	Universidad Internacional del Ecuador – Guayaquil
Ing. Marcelo Gonzalez Torres	Universidad Internacional del Ecuador – Guayaquil
Ing. Fabio Obando MSc.	Universidad Politécnica Salesiana
Ing. Alejandro Rojas	Cise Electronics.
Ing. Diego Lopez Guzman MSc.	Cise Electronics.
Ing. Fausto Vinicio Acuña Mc.	Universidad de Fuerzas Armadas ESPE
Phd. Julio Pino	Universidad Laica Eloy Alfaro.
Msc. Gabriel Hernandez	Instituto Superior Metalúrgico MOA Cuba
Ing. Guillermo Mauricio Cruz Arcos MSc.	Universidad de Fuerzas Armadas ESPE
Mgs. Andrea Concepción Cordova Cruzatty	Universidad de Fuerzas Armadas ESPE
Ing. Antonio Mogro Zambrano MSc.	Instituto Tecnológico Superior de Monterrey
Oscar Bladimir Arteaga López	Universidad de Fuerzas Armadas ESPE (SAEM R&D)
Ing. Jorge Stalin Mena Palacios	Universidad de Fuerzas Armadas ESPE
Ing. Francisco Adler Enríquez Guerra.	Universidad Politecnica Salesiana
Ing. Ernesto Ramiro Santillán Mariño	Universidad de Fuerzas Armadas ESPE
PhD. Héctor Laurencio	Universidad Técnica de Cotopaxi - CIYA
PhD. Secundino Marrero	Universidad Técnica de Cotopaxi - CIYA
Ing. Carlos Iván Maldonado	Universidad Politecnica Salesiana



# **GESTIÓN DE MANTENIMIENTO INTEGRAL A MEDIANTE SOFTWARE ORIENTADO A LA PROYECCIÓN Y PLANIFICACIÓN DE LAS ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ PARA LA FLOTA DE VEHÍCULO DEL GADDIC MUNICIPAL DE CAÑAR**

## **INTEGRAL MAINTENANCE MANAGEMENT THROUGH SOFTWARE ORIENTED FOR THE PROJECTION AND PLANNING OF AUTOMOTIVE MAINTENANCE AC- TIVITIES FOR THE VEHICLE FLEET OF THE GADICC MUNICIPAL DE CAÑAR**

Luis Fernando Buenaño Moyano<sup>1</sup>, Bolívar Alejandro Cuaical Angulo<sup>2</sup>, Celin Abad Padilla Padilla<sup>3</sup>, Ligia Elena Moreno Pinduisaca<sup>4</sup>, Wilson Javier Villagrán Cáceres<sup>5</sup>, Jesús Chimborazo Camas<sup>6</sup>, José Shaun Shinin<sup>7</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup> Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, Carrera de Ingeniería Automotriz

e-mail: lfbuenanio@esPOCH.edu.ec<sup>1</sup>, bolivar.cuaica@esPOCH.edu.ec<sup>2</sup>, c\_padilla@esPOCH.edu.ec<sup>3</sup>, limoreno@esPOCH.edu.ec<sup>4</sup>, wvillagrán@esPOCH.edu.ec<sup>5</sup>, jisho\_cholero@hotmail.com<sup>6</sup>, jose.zhaw@gmail.com<sup>7</sup>.

*Revista Energía Mecánica Innovación y Futuro VI Edición 2017, No.1 (19)*

### **Resumen**

Se elabora un modelo de Gestión de Mantenimiento Integral mediante software, orientado a la consecución de la proyección y planificación de las actividades de mantenimiento automotriz que se proponen para la flota vehicular perteneciente al GADICC. Para la optimización del plan se realizaron consultas previas al personal técnico y administrativo, así como una revisión de los historiales de fallas y mantenimiento de la flota, información que posteriormente aplicada a un estudio de Pareto permitió identificar las actividades a implementar. La evaluación del proceso administrativo permite diseñar un modelo de gestión adecuado a la institución, en él se propone una codificación para el manejo de los vehículos que proporcione mayores facilidades informativas para la gestión, se proporcionó flujogramas organizacionales, fichas técnicas que indiquen los procedimientos de trabajo para las actividades programadas, y la pretensión de la disminución de los modos de falla identificados en el análisis de Pareto. Se implementa el modelo de gestión a través del diseño y puesta en funcionamiento de un software capaz de aplicar el modelo propuesto y orientado a facilitar las actividades de proyección y planificación del mantenimiento en la flota. Luego de la implementación se identifican mejoras en los tiempos de ejecución de mantenimiento.

Palabras Clave: Análisis de Pareto, Mantenimiento automotriz, Flota vehicular, Gestión de Mantenimiento, Software de mantenimiento.

### **Abstract**

A comprehensive Maintenance Management model is created through software, aimed at achieving the projection and planning of the automotive maintenance activities that are proposed for the vehicle fleet belonging to the GADICC. For the optimization of the plan, prior consultations were held with the technical and administrative staff, as well as a review of the fault records and maintenance of the fleet, information that is subsequently applied to a Pareto study to identify the activities to be implemented. The evaluation of the administrative process allows the design of a management model appropriate to the institution, in which a tool is offered for the management of the vehicles that provides more information for the management, the information flow was provided, technical data sheets that indicate the procedures of work for the programmed activities, and the pretension of the decrease of the effects of the identifiable image in the Pareto analysis. The management model was implemented through the design and implementation of a software capable of applying the proposed model and aimed at facilitating the projection and planning of maintenance activities in the fleet. After the implementation, improvements in maintenance execution times were identified.

Keywords: Automotive maintenance, Pareto analysis, Maintenance management, Maintenance software, Vehicle fleet.

## 1. Introducción

La flota vehicular del GADICC Municipal de Cañar está integrada por 15 vehículos livianos entre SUVs, camionetas cabina simple y dobles, furgonetas y motocicletas, la división pesada constituida por 10 vehículos pesados encontrándose volquetas, camiones, plataformas y la maquinaria pesada aporta con tractores, retroexcavadora, rodillo, motoniveladora y una cargadora. La flota en su totalidad es utilizada para diversas actividades requeridas por la ciudadanía siendo los más importantes los trabajos relacionados con la vialidad y de mantenimiento de las áreas tanto urbanas como rurales.[1]

Dentro de la institución existe la división de mantenimiento automotriz, la cual es responsable de la ejecución de las actividades de mantenimiento en la flota vehicular, dichas actividades se ejecutan empíricamente, debido a que la organización no contaba con un modelo de gestión de mantenimiento integral adecuado, provocando el retraso en los cronogramas de actividades de la institución a causa de las paradas de la flota ya sea por la ejecución de mantenimiento correctivo o por retrasos producto de los elevados tiempos de mantenimiento preventivo.[2]

El ejecutar la función de mantenimiento con la ausencia de modelos de gestión provoca además que el manejo de los recursos y del personal del taller sean deficientes produciendo la acumulación de actividades para el taller y el desajuste de los presupuestos.[3]

Un adecuado modelo de gestión de mantenimiento para que pueda cumplir con los objetivos de mantenimiento del departamento que lo usa, debe ejecutar ciertas etapas basados en la planificación, programación, ejecución y control y siguiendo además la norma ISO 55001.

[4] El mantenimiento integral se refiere a que a un conjunto de activos se les ejecute los tres tipos de mantenimiento clásico, estos son mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo apoyados en software de gestión para la administración de la función de mantenimiento.

Mediante la implementación del modelo de gestión de mantenimiento integral por software, se mejora, la relación y comunicación entre la bodega, taller y parte administrativa aportando soluciones específicas, tales como la reducción de los procesos de reparación mecánica y la disminución de los tiempos de parada.

Sin embargo, para que las etapas de la gestión de mantenimiento sean exitosas, es necesario que se pueda proyectar oportunamente los tiempos de intervención convirtiéndose este aspecto en vital para la consecución de los objetivos.

## 2. Materiales y métodos

Para lograr el diseño del modelo de gestión de mantenimiento y su implementación a través del software adecuado, se procedió de acuerdo con la siguiente metodología.

### Recopilación de la Información

El tipo de estudio utilizado fue el descriptivo, esto ayuda a obtener la información de procesos de mantenimiento en el GADICC y el estado físico/electromecánico de la flota.

En primera instancia se realizó la aplicación de encuestas en las cuales se plantearon una serie de preguntas dirigidas al personal involucrado con el departamento de mantenimiento (conductores/operarios, personal de mantenimiento, bodega y administrativos) con la finalidad de obtener más información sobre la gestión actual de mantenimiento.

En los resultados obtenidos se constata que el departamento de mantenimiento no realiza una planificación estratégica para dar soluciones a los problemas de mantenimiento correctivo y preventivo, no existiendo además un control de las actividades de mantenimiento y el personal, detectándose además de diagramas de procesos ni la documentación correspondiente a los procesos de mantenimiento.

Para el análisis de instalaciones, se procede con un check list de las instalaciones; se constató que la infraestructura y las herramientas no eran las adecuadas para realizar todas las actividades de mantenimiento, por lo que el personal

administrativo ha optado en disponer el realizar las actividades de mantenimiento en talleres externos.

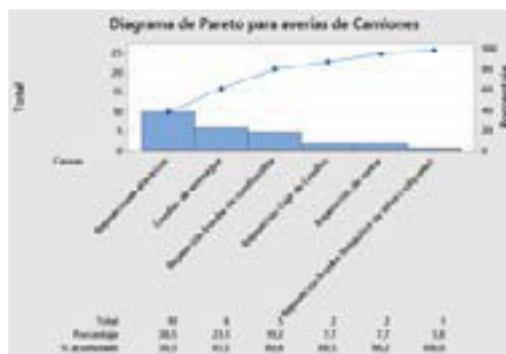
Para el análisis del estado actual de los vehículos del GADIC, se aplica estrategias provenientes de la ingeniería de mantenimiento aplicadas al campo automotriz tales como: inspección visual, diagnóstico con pruebas de funcionamiento, información recopilada de conductores/operarios, técnicas de las cuáles se obtuvo como resultado que el 64% del total de vehículos son catalogados como operables, es decir que se encuentran en la capacidad de cumplir las funciones en su totalidad o parciales.[6]

Otra de las técnicas ingenieriles que se aplicó fue el análisis de averías que para su análisis aplicable, se ha optado por utilizar la herramienta estadística del análisis de Pareto, el cual se basa en las frecuencias de fallas causadas en los sistemas del vehículo revisando y cuantificando la información que se encuentra en los archivos del GADIC, de un total de un período de 12 meses.

Para un mejor estudio y análisis de la flota vehicular, se ve en la necesidad de clasificar la flota en familias: motocicletas, autos, camionetas, camiones y maquinaria pesada. Para demostrar el análisis se menciona dos casos urgentes.

**Tabla 1. Análisis de averías de camiones**

Camiones (10 Unidades)	
Tareas	Frecuencia
Reparaciones eléctricas	10
Cambio de embrague	6
Reparación bomba de combustible	5
Reparación de motor	2
Reparación Caja de Cambio	2
Reparación bomba hidráulica de tolva (volquetes)	1



**Figura 1. Diagrama de Pareto para averías de camiones**

En la Tabla 1 y la Figura 1, se aprecia que en la división de camiones son causantes del 80% de los problemas de mantenimiento correctivo las reparaciones en el sistema eléctrico, problemas en el embrague y de la alimentación de combustible, causando paradas de emergencia que retrasan las actividades. Luego de conocer los resultados se investiga en los registros determinándose que las causas generalmente son la mala calidad de los repuestos utilizados en reparaciones previas, la falta de convenios con talleres dedicados al mantenimiento de bombas diésel y necesidad de actividades preventivas para el sistema eléctrico.

**Tabla 2. Análisis de averías de la maquinaria pesada**

Maquinaria Pesada (8 Unidades)	
Tareas	Frecuencia
Fugas sistema hidráulico	8
Fugas sistema neumático	8
Reparación de cilindros hidráulicos	4
Reconstrucción de aperos	2
Reparación bomba de combustible	2
Reparación de Motor	1
Reparación de Bomba hidráulica	1

En cuanto a la maquinaria pesada, en la Tabla 2 y en la Figura 2, se determina que son los problemas de fugas del sistema hidráulico, neumático, y la avería de los cilindros hidráulicos los causantes del 80% de las paradas por mantenimiento correctivo, las causas detectadas son la consecución de la vida útil y la ausencia de tareas de mantenimiento condicional, el cual se dedique a la inspección de los elementos de los sistemas.[7]



Figura 2. Análisis de Pareto para la maquinaria pesada

La realización del estudio en todos los vehículos de la flota vehicular permite determinar las tareas de mantenimiento preventivo necesarias, a registrar en el nuevo plan, además de conocer el estado actual de la flota.[8]

### Diseño de la Gestión de Mantenimiento

Con la información recolectada y su posterior análisis, se diseña un modelo de gestión de mantenimiento adecuado a la municipalidad.[4]

### Formulación de las Etapas de la gestión

En primera instancia y luego de la revisión de los resultados de las encuestas aplicadas, en las que se pudo constatar que el GADICC de Cañar no cuenta con procedimientos administrativos que regularicen la función de mantenimiento. [1]

Uno de los principales problemas es el mantener prevenido con una proyección adecuada de las actividades al departamento de bodega para que este mantenga un stock de repuestos adecuado previniendo las paradas por fallas logísticas.

De acuerdo con los operadores, existe un descontento general con los tiempos de realización de mantenimiento activo, ya que estos son demasiado altos, de acuerdo al personal administrativo del mantenimiento, esto se debe a que en su mayoría las reparaciones correctivas no se esperan, por lo que en este caso no existe un stock de repuestos. En cuanto a lo que tiene que ver al mantenimiento preventivo y el predictivo, estos sufren retrasos por la realización inadecuada de la logística y la falta de proyección de los trabajos de mantenimiento en el tiempo.

Las etapas que constituyen el nuevo modelo de

gestión son las siguientes:

**Planificación (Jefe de taller).** Se refiere a la tarea de determinar cuáles serán las actividades de mantenimiento para que sean realizadas en el futuro, ya sean estas correctivas, preventivas o predictivas, su importancia radica en que la actividad está encaminada en mejorar la logística del taller y el disminuir los tiempos de reparación.

Esta actividad requiere que exista un adecuado proceso de proyección de las actividades a realizar, el cual se basa en el monitoreo de los kilometrajes de los vehículos durante los procesos de mantenimiento rutinario, además de contar con los planes de mantenimiento optimizados para la flota.

**Programación (Jefe de taller).** Luego de que se definan las actividades planificadas, durante la etapa de programación, el jefe de taller o sus subordinados podrán programar las actividades de mantenimiento en el tiempo, generar las respectivas ordenes de trabajo y solicitudes de repuestos, y disposición de recursos, así como también la logística necesaria para evitar que las paradas por mantenimiento impacten en las actividades municipales. Es importante recalcar que para que la logística sea adecuada, se debe contar con los datos de tiempos de reparación para cada una de las actividades que se programen, esto facilitará la toma de decisiones en cuanto a la consecución de las actividades.

**Ejecución (Encargado de especialidad y asistencia).** En esta etapa se ejecutarán las tareas de mantenimiento que constan en la programación, estas tareas se encuentran registradas en las órdenes de trabajo. Principalmente para que el proceso funcione debe haber existido un adecuado proceso de planificación y programación en las que se haya asegurado los recursos necesarios para su ejecución. Es importante mencionar que los técnicos de mantenimiento deben asegurar el cumplimiento de la duración de las ordenes de reparación para evitar retrasos en las actividades programadas.

**Control (jefe de taller).** Una vez concluidas las tareas de mantenimiento, se procede a inspeccionar por parte del jefe de taller, el cumplimiento de las actividades ejecutadas para verificar la calidad de

los trabajos. En el caso de cumplir con la calidad de los trabajos se cierra las órdenes de trabajo, caso contrario se realizarán nuevamente las actividades de mantenimiento.

Cada una de las etapas se enmarca en cada uno de los tipos de mantenimiento que se enmarcan a continuación:

- Mantenimiento correctivo
- Mantenimiento preventivo
- Mantenimiento externo

### Personal

Quienes integran el departamento de mantenimiento de la flota vehicular, la organización del personal en las áreas de mantenimiento debe ser la mostrada en la Figura 3.

Cada integrante sugerido está encaminado a formar parte de cada una de las etapas del modelo de gestión de mantenimiento. Las funciones que desempeñarán dentro de esta organización son las que se listan en la Tabla 3.



Figura 3. Personal de la organización de mantenimiento

Tabla 3. Funciones y responsabilidades del personal

Cargo	Funciones
Jefe de taller (planificación, programación y control)	1. Elaboración de plan de mantenimiento anual. 2. Cotización de repuestos y accesorios. 3. Realizar diagnósticos complejos de los vehículos y maquinaria. 5. Control de personal. 6. Elaboración de plan de trabajo semanal. 7. Elaboración de proyectos.
Asistente de oficina (planificación)	Elaboración de egresos e ingresos de mantenimientos de vehículos y maquinaria, apoyo logístico en el departamento.
Ayudante de mecánica (ejecución)	Apoyo en la ejecución de mantenimiento.
Lubricador (ejecución)	Cambios de aceites de vehículos como de maquinaria, encargado de egresos de lubricantes y repuestos
Ayudante de lubricación (ejecución)	Apoyo en la ejecución de mantenimientos de cambios de aceite
Mecánico industrial (ejecución)	Encargado en el área de soldadura y ejecución de trabajos dentro del área de mecánica
Ayudante de mecánica industrial (ejecución)	Apoyo en la elaboración de trabajos en el área de soldadura

### Documentos

Los documentos generados o que interviene en los procesos de mantenimiento son los siguientes:

**Planificación.** Se obtiene: registro del kilometraje, reporte de fallas, manuales de mantenimiento.

**Programación.** Se obtiene: órdenes de trabajo, solicitud de repuestos a la bodega.

**Ejecución.** Reporte técnico de fallas, manuales de mantenimiento, reporte de mantenimiento.

**Control.** Se obtiene: reportes de mantenimiento, cierres de órdenes de trabajo.

### Diseño del Plan de mantenimiento

Para el diseño del plan de mantenimiento, se busca optimizar las tareas y dar solución a los problemas más frecuentes y que son causantes de las paradas de la flota vehicular, para lo cual se parte de los análisis y estudios realizados a través del estudio de Pareto.[2]

Durante el diseño del plan de mantenimiento se tomó las siguientes consideraciones:

- Condiciones de las rutas,
- tipo de vehículo,
- planes de mantenimiento basados en recomendaciones del fabricante,
- planes de mantenimiento basados en el análisis de fallas y en datos históricos

Se establece matrices en las que constan las tareas de mantenimiento para cada una de las familias de vehículos, tomando en cuenta que se puede realizar la agrupación de vehículos con características similares a fin de disminuir el número de tareas repetitivas y que en el caso de la implementación de software el optimizar la base de datos. El análisis revela también la cantidad de vehículos funcionales de la flota, lo cual se aprecia en la Tabla 4.

**Tabla 4. Resultados de la revisión técnica vehicular de la flota**

ESTADO FÍSICO-ELECTROMECÁNICO	CATEGORÍA	TIPO	CANT.	%	
<b>Bueno</b>	VEHÍCULOS LIVIANOS	Camioneta C/S	3	64	
		Furgoneta	1		
		Camioneta C/D	1		
		Jeep	1		
		Motocicletas	1		
	VEHÍCULOS PESADOS.	Volquete	5	1	
		Plataforma	1		
	MAQUINARI A PESADA	Motoniveladora	1	1	
		Retroexcavadora	1		
	<b>Regular</b>	VEHÍCULOS LIVIANOS	Camioneta C/S	1	36
			Camioneta C/D	1	
			Motocicletas	3	
			Volquete	1	
			Camión	1	
		VEHÍCULOS PESADOS.	Plataforma	1	1
			Tractor	1	
		MAQUINARI A PESADA	Tractor	1	1
		SUMA TOTAL			33

Los planes propuestos, están organizados por familias, por sistemas, operaciones codificadas y kilometrajes.

**Figura 4. Extracto del Plan de mantenimiento de vehículos de gasolina**

La disposición planteada permitirá el uso adecuado de la información al momento de la planificación, programación, así como su uso en una base de datos.[3]

**Organización de la Flota Vehicular**

Para el proceso de mantenimiento, es necesario la identificación inmediata de los vehículos dentro de flota vehicular, por ello es necesario una codificación, se ha propuesto la siguiente de Codificación de la Flota vehicular del GADICC.

**Primer dígito.** Se denota el tipo de vehículo según su tipo, siendo así: vehículo liviano, Vehículo Pesado o Maquinaria Pesada.

**Tabla 5. Codificación (primer dígito).**

CLASE DE VEHÍCULO	CÓDIGO
Vehículo Liviano	L
Vehículo Pesado	P
Maquinaria Pesada	M

**Segundo dígito.** Se caracteriza por tomar la primera letra de la marca del vehículo, por ejemplo: Chevrolet (C), Hino (H) Bobcat (BC). Si la primera letra de la marca coincide con otra se tomará otra letra para denotarlo.

**Tabla 6. Codificación de Vehículos Livianos**

MARCA	CÓDIGO
Chevrolet	C
Ford	F
Mazda	M
Mitsubishi	Z
Nissan	N
Yamaha	Y

**Tercer dígito.** Se describe el uso que se le está dando al vehículo, denominándolo de la siguiente manera:

**Tabla 7. Codificación según el tipo de Vehículo**

TIPO DE VEHÍCULO	CODIGO
Motocicleta	0
Sedán, HatchBack, Jeep, Suv, Van	1
Camioneta	2
Bus, Furgoneta	3
Camión (Cajón, Plataforma, Recolector, Volquete)	4
Tractor (Agrícola, Bulldozer)	5
Excavadora, Retro Excavadora	6
Motoniveladora	7
Rodillo Compactador	8
Cargadora Frontal, Mini cargadora	9

**Cuarto dígito.** Se relaciona con el número específico de identificación del vehículo este número empieza en 1 y finaliza según la cantidad de vehículos.

Ejemplos de la codificación de vehicular. Para comprender de mejor manera la codificación propuesta se han realizado un ejemplo.

LC21: Vehículo LIVIANO, marca CHEVROLET, tipo CAMIONETA, su número de identificación es 1.

Con la finalidad de no restaurar la base de datos de la flota vehicular, se ha decidido optar una codificación por el número de placas de cada vehículo, esta decisión se tomó en consenso con el personal administrativo, los cuales manifestaron que esta metodología se ha utilizado desde la última administración.

Sin embargo, se observó que la maquinaria pesada no presentaba una placa de identificación, para la cual se ha planeado una codificación alterna que ayudará a mejorar el registro.

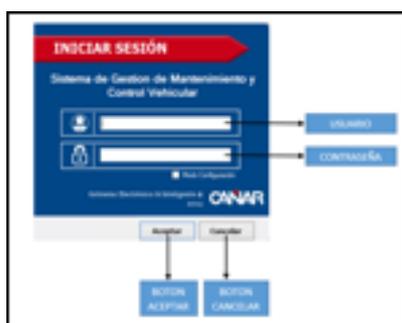
**Tabla 8. Codificación alterna para Maquinaria Pesada**

PLACA	CODIFICACIÓN ALTERNA	TIPO DE VEHÍCULO Y NÚMERO	MARCA
No Aplica	MCT51	Tractor # 1	Caterpillar
No Aplica	MCT52	Tractor # 2	Caterpillar
No Aplica	MCT68	Retro # 8	Caterpillar
No Aplica	MFA79	Moto # 9	Fiat- Allis
No Aplica	MBC910	Mini Cargadora # 10	Bobcat
No Aplica	MKO911	Pala Cargadora # 11	Komatsu
No Aplica	MKO612	Retro excavadora # 12	Komatsu
No Aplica	MBM813	Rodillo Vibrador # 13	Bomag

### Diseño de software

Luego de finalizado el diseño del modelo de gestión, se debe implementarlo en la organización, para ello la se diseña un software en base a los puntos antes expuestos.

Las tecnologías empleadas para la construcción del software “Sistema de Gestión de Mantenimiento, Control, Proyección y Planificación Vehicular” son el Lenguaje de Programación C#, Gestor de Base de Datos Oracle r2, Modelado StarUML, Modelado Power Designer y Aplicación para administrar el Oracle r2. [4]



**Figura 5. Software de sistema de gestión y mantenimiento vehicular para el GADIC.**

El “Sistema de Gestión de Mantenimiento, Control, Proyección y Planificación Vehicular” se ha dividido en los siguientes módulos: gestionar usuarios, gestionar choferes, gestionar empleados, gestionar vehículos, gestionar soluciones (planificación y programación), gestionar movilizaciones, gestionar reporte.

**Tabla 9. Módulos de gestión del software**

Modulo	Descripción
<b>Gestionar Usuarios</b>	Este proceso establece los procedimientos mediante los cuales se realiza la creación, consulta, actualización, eliminación y asignación de perfil al usuario, para un correcto desempeño en sus funciones dependiendo de los niveles de seguridad asignados, mantenimiento así un control de todos los usuarios.
<b>Gestionar Choferes</b>	Con este proceso se establecen procedimientos mediante los cuales se realiza la creación, consulta, actualización y eliminación los datos de los choferes para realizar el respectivo proceso y consultan necesarios.
<b>Gestionar Vehículos</b>	Con este proceso se establecen procedimientos mediante los cuales se realiza la creación, consulta, actualización y eliminación los datos de los vehículos para realizar el respectivo proceso y consultan necesarios.
<b>Gestionar Soluciones</b>	Con este proceso se establecen procedimientos mediante los cuales se realiza la creación, consulta, actualización y eliminación de las proyecciones y planificaciones de mantenimiento del parque automotor. Dentro de esta esté modulo permitirá la creación, consulta, actualización y eliminación de la orden de mantenimiento
<b>Gestionar Empleados</b>	Con este proceso se establecen procedimientos mediante los cuales se realiza la creación, consulta y actualización y eliminación de datos de los empleados para subutilizar en los diferentes procesos.
<b>Gestionar Movilización</b>	Con este proceso se establece los procedimientos necesarios para creación, consulta,

Dentro de gestionar soluciones el sistema funciona aplicando los siguientes procedimientos:

Planificación, el proceso comienza con la revisión

de los kilometrajes, los cuales son generados e introducciones semanalmente por el jefe de taller, el software revisa los planes de mantenimiento y compara con los kilometrajes cumplidas por los vehículos, cuando estas cumplen o este próximas a cumplir con el kilometraje sugerido por el plan, envía alertas de las tareas de mantenimiento a cumplirse, luego proceder a programarlas las tareas de mantenimiento, además informa de los recursos necesarios. [5]

Programación, una vez establecidas las tareas de mantenimiento a desarrollarse, mediante la ayuda del jefe de taller programa una fecha para la ejecución de las actividades de mantenimiento mediante ordenes de trabajo tomando a consideración el tiempo de ejecución, la carga de trabajo, el aprovisionamiento de repuestos y disponibilidad de equipos y herramientas.

Ejecución, se provee la orden de trabajo al encargado de realizar las tareas de mantenimiento, durante la ejecución de las tareas el personal, el personal puede recurrir al software para verificar los procedimientos del plan de mantenimiento (instrucciones).

Control, una vez concluidas las tareas de mantenimiento se procede a informar cumplimiento, se verifica el cumplimiento, luego se procede al cierre de orden mediante software para que el vehículo puede salir de taller de la institución. [6]

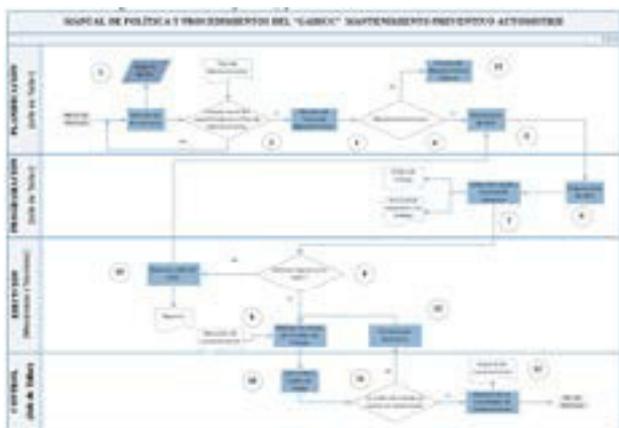


Figura 6. Algoritmo para la gestión del mantenimiento preventivo

Gracias a la aplicación de gestión de mantenimiento y la implantación de software, se obtuvo la reducción al mínimo los tiempos de parada ya sea por mantenimiento de correctivo

o preventivo, se obtuvo una mejor coordinación de la distribución de trabajo a la fuerza laboral disponible.[7]

### 3. Análisis de resultados

Se hace una comparación entre los tiempos que se demoraban los operarios antes y después de implementar el software para realizar las tareas especificadas, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 10. Tiempo de ejecución de actividades de mantenimiento.

REGISTRO DE ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO				
Tarea de mantenimiento	Tiempo de ejecución antes de plan de mantenimiento. (horas)	Tiempo de ejecución con el plan de mantenimiento. (horas)	Trabajo dentro de taller	Trabajo fuera de taller
Cambio de aceite y filtro motor	1,25	0,65	X	
Cambio de aceite de caja de cambios	0,50	0,40	X	
Cambio de aceite de diferencial	0,50	0,30	X	
Cambio de aceite caja de transferencia	0,20	0,15	X	
Cambio de líquido de dirección hidráulica	0,60	0,50	X	
Cambio de líquido de frenos	0,50	0,40	X	
Purga de sistema de frenos	0,80	0,50	X	
Cambio de plumas	0,20	0,20	X	

Analizando matemáticamente los resultados se obtiene una relación a 39,64/44,55 siendo el tiempo actual de reparación 88,97% con respecto al antiguo, esto quiere decir que, solamente con una buena planificación e información necesaria en la orden de trabajo al personal ha sido un 11,02% más eficiente.

Tomando en consideración la falta de equipos y herramientas; producen demoras en los trabajos realizados, que se solucionado con la adquisición de equipos y herramientas necesarias para desarrollar las actividades de mantenimiento dentro del taller de la institución.

### 4. Conclusiones

Se implementó un plan de gestión de mantenimiento integral mediante un software que ayuda a la proyección y planificación de

las actividades de mantenimiento automotriz de la flota vehicular del GAD Intercultural dando como resultado 11,02% más eficiente en las tareas de mantenimiento.

El análisis de Pareto de las fallas ocurridas en la flota vehicular, durante el periodo de análisis se determinó que los sistemas eléctricos, frenos e hidráulicos son las fallas más comunes en la flota vehicular del GADICC.

Se elaboró un plan de mantenimiento en base a estudios de campo realizados con datos reales y enfocándose en la norma ISO 55001 y se proponen actividades de corrección con el propósito de reducir las paradas de emergencia.

El software de mantenimiento es capaz de realizar un adecuado proceso de proyección y contribuir con la planificación de las actividades.

## 5. Recomendaciones

Implementar la codificación vehicular propuesta para obtener mayor precisión sobre el vehículo que se está analizando para el proceso de mantenimiento.

Para que la implementación del plan de gestión tenga éxito, debe existir el compromiso y comunicación de las diferentes áreas que compone el taller.

## 6. Referencias

- [1] Águeda Casado, E., Gómez Morales, T., & Marín Navarro, J. (2012). Sistemas de Transmisión de Fuerzas y Trenes de Rodaje. Madrid: Paraninfo.
- [2] Casavova Arribas, R., & BARRERA DOBLADO, Ó. (2011). Logística y comunicación en un taller de vehículos. Madrid: Panamericana.
- [3] Planeacion Y Control. México: Limusa-Wiley.
- [4] García Garrido , S. (2003). Organización y Gestión Integral de Mantenimiento. Madrid : Ediciones Díaz de Santos S.A.
- [5] García Palencia, O. (2012). Gestión Moderna

del Mantenimiento Industrial. Bogotá-Colombia: Ediciones de la U.

- [7] González Fernández, F. J. (2004). Auditoría del Mantenimiento e Indicadores de Gestión. Madrid: Fundación Confemetal FC.
- [8] González Fernández, F. J. (2009). Teoría Práctica del Mantenimiento Industrial Avanzado. Madrid: FCE.
- [9] Torres, L. D. (2010). Mantenimiento. Su implementación y gestión (Tercera ed.). Argentina: Universitas.

## 7. Bibliografía



<sup>1</sup>Luis Buenaño Moyano.- Magister en Gestión del Mantenimiento Industrial, Ingeniero Automotriz. Docente Tiempo Completo de la Carrera de Ingeniería Automotriz de la

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.



<sup>2</sup>Bolivar Cuaical Angulo.- Magister en Gestión de energías, Ingeniero Automotriz. Docente Tiempo Completo de la Carrera de Ingeniería Automotriz de la

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.



<sup>3</sup>Celin Padilla Padilla.- Máster en Ingeniería de Vehículos Híbridos y Eléctricos, Magister en Diseño Mecánico Mención en Fabricación de Autopartes de Vehículos, Ingeniero

Automotriz. Docente Tiempo Completo de la Carrera de Ingeniería Automotriz de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.



<sup>4</sup>Ligia Elena Moreno  
Pinduisaca.- Magíster en  
Docencia Universitaria,  
Ingeniera Mecánica. Docente  
Tiempo Completo de la Carrera  
de Ingeniería Automotriz de la  
Escuela Superior Politécnica de

Chimborazo.



<sup>5</sup>Wilson Javier Villagrán  
Cáceres.- Magíster en  
Matemática Básica, Ingeniero  
Electrónico. Docente Tiempo  
Completo de la Carrera de  
Ingeniería Automotriz de la  
Escuela Superior Politécnica de

Chimborazo.



<sup>6</sup>Jesús Chimborazo Camas.-  
Ingeniero Automotriz de la  
Facultad de Mecánica de la  
Escuela Superior Politécnica de  
Chimborazo



<sup>7</sup>José Zhau Zhinin.- Ingeniero  
Automotriz de la Facultad de  
Mecánica de la Escuela Superior  
Politécnica de Chimborazo

---

#### REGISTRO DE LA PUBLICACIÓN

---

Fecha recepción	23 octubre 2017
Fecha aceptación	13 diciembre 2017

---

## ***ANÁLISIS MULTICUERPO Y CONTROL DINÁMICO DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO TWIZY***

### ***MULTIBODY ANALYSIS AND DYNAMIC CONTROL OF THE ELECTRIC VEHICLE TWIZY***

Gabriel Vinicio Moreano Sánchez, Juan Carlos Castelo Valdiviezo, Alvaro Gabriel Benitez Bravo, Víctor Hugo Benítez Bravo,  
<sup>1,2</sup>Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Panamericana Sur Km 1 ½, Riobamba – Ecuador. <sup>3,4</sup>Universidad de las Fuerzas  
Armadas – ESPE, Av. General Rumiñahui s/n y Paseo Escénico Santa, Quito - Ecuador.  
e – mail : <sup>1</sup>gabriel.moreano@espoch.edu.ec <sup>2</sup>j\_castelo@espoch.edu.ec , <sup>3</sup>agbenitez@espe.edu.ec , <sup>4</sup>vhbenitez@espe.edu.ec.

*Revista Energía Mecánica Innovación y Futuro VI Edición 2017, No.1 (19)*

#### ***Resumen***

Dado que el Ecuador un país agrícola se considera necesario proporcionar nuevas y mejores herramientas de trabajo a los agricultores, brindándoles una solución para aumentar su productividad. Como parte de esta solución se plantea la automatización de un vehículo eléctrico Twizy de marca Renault ya que por sus dimensiones (1.2 x 2.3 metros) puede fácilmente circular sobre parcelas de cultivo; además tiene un radio de curvatura muy reducido (3.4 metros) lo que facilita las maniobras de cambio en las cabeceras y con ello la inspección completa del cultivo.

Como parte del proyecto de automatización se desarrolla: el modelado dinámico del vehículo Twizy, los sistemas de control para velocidad y dirección del vehículo utilizando técnicas borrosas; que utilizará como entrada una consigna generada por un sistema de identificación de una línea de cultivo (otra etapa del proyecto).

El análisis dinámico se desarrolla con la técnica de modelado multicuerpo utilizando las herramientas SimMechanics y Simulink, esta técnica brinda la posibilidad de analizar el comportamiento del vehículo ante distintos tipos de estímulos internos y externos como la fuerza de tracción, fuerzas resistivas de avance y fuerzas de entrada a una curva.

#### ***Palabras Clave:***

Contaminación, Dinámica de Sistemas, Emisiones, Energías Renovables.

#### ***Abstract***

Given that Ecuador is an agricultural country, it is considered necessary to provide new and better working tools to farmers, providing them with a solution to increase their productivity. As part of this solution the automation of a Renault Twizy electric vehicle is proposed as it can be easily moved over crop plots due to its dimensions (1.2 x 2.3 meters); also has a radius of curvature very reduced (3.4 meters) which facilitates the maneuvers of change in the headwaters and with it the complete inspection of the crop.

As part of the automation project is developed: the dynamic modeling of the vehicle Twizy, control systems for speed and direction of the vehicle using fuzzy techniques and that will use as input a command generated by a system of identification of a line of cultivation (another stage of the project).

Dynamic analysis is developed using the multibody modeling technique using the SimMechanics and Simulink tools. This technique provides the possibility of analyzing the behavior of the vehicle against different types of internal and external stimuli such as tensile force, resistive forces and forces entry to a curve.

#### ***Keywords:***

Automation, fuzzy, control, modeling, multibody, SimMechanics.

## 1. INTRODUCCIÓN

### Objetivo

Este trabajo tiene como objetivo modelar y virtualizar un vehículo eléctrico con miras a utilizarlo en tareas de agricultura de precisión, para ello se plantea utilizar técnicas de modelado multicuerpo y técnicas de control borrosas.

### Definiciones

Agricultura de precisión (AP).- La aplicación de las tecnologías para obtener información sobre la variabilidad existente en suelos y cultivos, a fin de aplicar la cantidad justa de insumos en el momento y lugar adecuado. [1]

Ventajas principales para la selección de un auto eléctrico:

- El motor eléctrico es altamente controlable, no se necesitan marchas.
- Los vehículos eléctricos tienen mayor eficiencia que los vehículos con motor a combustión.

Vehículo eléctrico Twizy.- es un vehículo para 2 personas, que incorpora un motor asíncrono de 17 cv en su versión sport y que garantiza un aparcamiento sencillo gracias a sus dimensiones y su reducido radio de giro. [2]

En la Figura 1 se muestra el vehículo Twizy sobre líneas de cultivo de siembra ancha.

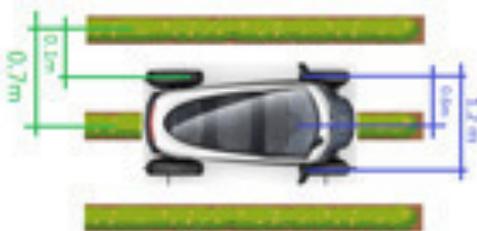


Figura 1. Vehículo Twizy sobre líneas de cultivo.

Navegación autónoma.- La navegación autónoma se puede definir como la capacidad de moverse de forma segura a lo largo de una trayectoria entre un punto de inicio y otro final. [3]

Los problemas a resolver con la navegación autónoma son:

- 1) Cálculo de la posición o localización.
- 2) Representación del entorno (mapeo).
- 3) Planificación de trayectorias.

Para tratar adecuadamente cada uno de los problemas anteriores el auto debe disponer al menos de las etapas del diagrama de bloques mostrado en la Figura 2.

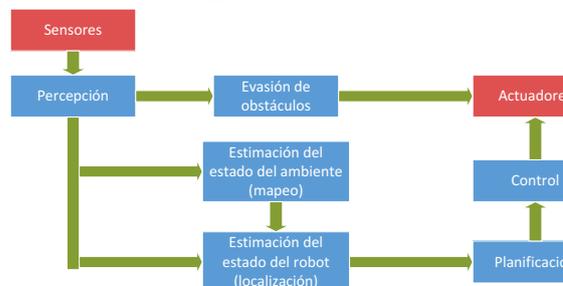


Figura 2. Diagrama de bloques de un sistema de navegación autónoma.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### Modelado

Un sistema multicuerpo se define como aquel sistema fundamentalmente mecánico formado por varios sólidos rígidos o flexibles, parcialmente unidos entre sí mediante pares cinemáticos, es decir, uniones imperfectas entre sólidos que permiten algunos grados de libertad y restringen otros. [4]

La utilización del modelado multicuerpo intenta reducir la alta complejidad que llevaría modelar sistemas como vehículos, satélites, aviones, entre otros que por sus múltiples componentes llevarían una tarea de modelado matemático bastante extenso. La aproximación propuesta intenta asemejarse al máximo al modelo original del vehículo incluyendo masas y momentos de inercia. [5] y [6]

### Dinámica del Vehículo

El estudio dinámico de un vehículo se divide en dos análisis según se estudian en [7], primero el análisis de fuerzas longitudinales, que trata el estudio de las fuerzas de propulsión y resistencia al movimiento, y segundo el estudio de las fuerzas laterales que son las responsables de que el vehículo pueda girar en una curva.

### Sistema de Coordenadas Mundo

El origen del sistema de coordenadas mundo está en cualquier punto de la carretera, lo más común es establecer un sistema de coordenadas con ejes  $X_w$ ,  $Y_w$ ,  $Z_w$  como se ve en la Figura 3, donde las coordenadas de X y Y definen la posición del CG del vehículo y el ángulo  $\phi$  define la inclinación del eje central del mismo respecto al eje  $X_w$  del sistema, es decir la dirección de movimiento del vehículo.

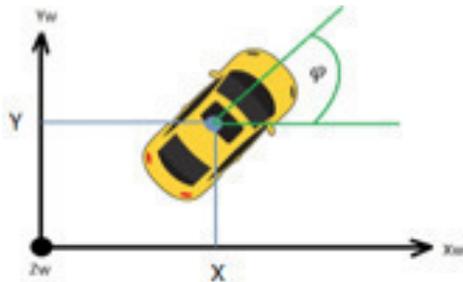


Figura 3. Sistema de coordenadas mundo.

### Sistema de Coordenadas Cuerpo

Es el sistema en el que se basa el análisis de movimiento del vehículo. En la Figura 4  $X$ ,  $Y$  y  $Z$  son las coordenadas ligadas al CG, desplazándose junto con el vehículo.  $V_x$  y  $V_y$  son los componentes de velocidad lineal del vehículo respecto a X y Y. Finalmente  $\dot{\phi}$  define la variación la velocidad angular en el eje Z.

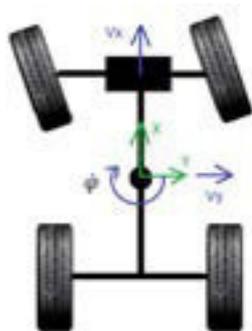


Figura 4. Sistema de coordenadas cuerpo.

### Simplificaciones

Para el modelador dinámico del vehículo se toman en cuenta las leyes fundamentales de la ingeniería del automóvil, pero dado la enorme cantidad de variables a considerar y la complejidad que lleva analizar los sistemas y subsistemas es necesario hacer varias suposiciones que simplifiquen el modelo sin afectar de manera significativa el comportamiento real. Las simplificaciones son:

- Simplificación del sistema de suspensión.- de acuerdo a la información de fábrica del Renault Twizy este posee una suspensión rígida casi al nivel de un Go Kart por lo que no se considera en este trabajo ningún tipo de balanceo en el vehículo.
- Simplificación del sistema de propulsión.- Se considera una única fuerza sobre el CG para el movimiento longitudinal del vehículo que representa la suma de todas las fuerzas de propulsión de las ruedas motrices.
- Simplificación del sistema de dirección.- Se considera una única fuerza que actúa sobre un solo eje del vehículo, este caso el eje delantero, que será la suma de todas las fuerzas laterales sobre los neumáticos y el CG.
- Componentes.- Se tienen en cuenta solo los componentes indispensables para la virtualización del modelo como la carrocería, neumáticos y ejes, entre otros.

### Dinámica Longitudinal

Se analizan las fuerzas que actúan sobre el eje X del sistema de coordenadas cuerpo, y se realiza un equilibrio de esfuerzos según la segunda ley de Newton.

$$\text{Donde: } \sum F_x = ma_x = F_T - F_R \quad (1)$$

$F_T$  = Fuerzas de tracción

$F_R$  = Fuerzas resistentes

La fuerza de tracción ( $F_T$ ) es la generada por el motor del vehículo y transmitida al entorno por los neumáticos. Las fuerzas resistentes son las fuerzas que se oponen al movimiento del vehículo y son: la fuerza de resistencia aerodinámica ( $R_a$ ), la fuerza de resistencia a la rodadura ( $R_r$ ) y la fuerza por acción del peso ( $R_p$ ).

$$R_{RT} = R_a + R_r + R_p \quad (2)$$

En la Figura 5 se puede observar cómo interactúan estas fuerzas con el vehículo, donde  $W_x$  representa la componente del peso sobre el eje X y es la que se considera como fuerza por acción del peso.

En la Figura 6 se muestra el sistema de fuerzas longitudinales implementado.



Figura 5. Acción de fuerzas longitudinales.

Fuerza de resistencia aerodinámica.- Cuando el vehículo avanza arrastra consigo una masa de fluido, la resistencia aerodinámica depende del flujo exterior del vehículo y de la circulación del aire por el interior. Se puede determinar la resistencia aerodinámica mediante la ecuación (3).



Figura 6. Sistema de dinámica longitudinal.

$$R_a = \frac{1}{2} \rho C_x A_f V^2 \quad (3)$$

Donde:

- $\rho$  Es la densidad del aire en Kg/m<sup>3</sup>.
- $C_x$  Es el coeficiente aerodinámico adimensional.
- $A_f$  Es el área frontal del vehículo en m<sup>2</sup>.
- $V$  Velocidad de avance del vehículo en m/s.

La densidad del aire ( $\rho$ ) dependerá de las condiciones de presión y temperatura ambientales, bajo condiciones normales (T=25 °C y P=1.074 Pa) la densidad del aire es  $\rho=1.225$  Kg/m<sup>3</sup>.

El área frontal se obtiene multiplicando las dimensiones de ancho y alto del vehículo por un factor de ajuste (f) debido a los cortes en la

carrocería, este factor de ajuste puede variar entre 0.8 y 0.85.

$$A_f = f(\text{ancho})(\text{alto}) \quad (4)$$

El coeficiente aerodinámico ( $C_x$ ) es particular de cada vehículo y depende de la forma que este tenga, para el vehículo Twizy los parámetros reales son los mostrados en la Tabla 1.

Tabla 1. Parámetros reales del vehículo Twizy.

Parámetro	Valor	Unidad
Área Frontal ( $A_f$ )	1.39	m <sup>2</sup>
Densidad del aire (T = 25°C, P = 1.074 Pa)	1.225	Kg/m <sup>3</sup>
Coficiente Aerodinámico ( $C_x$ )	0.64	-
Velocidad (V)	sensor	m/s

El diagrama de bloques para la resistencia aerodinámica es el mostrado en la Figura 7.

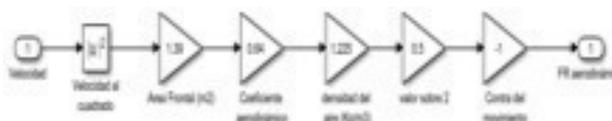


Figura 7. Fuerza de resistencia aerodinámica.

Fuerza de resistencia a la rodadura.- La fuerza de resistencia al movimiento del vehículo debido a la fricción entre los neumáticos y la superficie en contacto se obtiene de la ecuación 5, donde W es el peso del vehículo, considerando que la superficie de circulación es tierra se utiliza un coeficiente de fricción  $\mu_e$  igual a 0.4. EN la Figura 8 se muestra el diagrama de bloques implementado.

$$R_r = \mu_e W \quad (5)$$

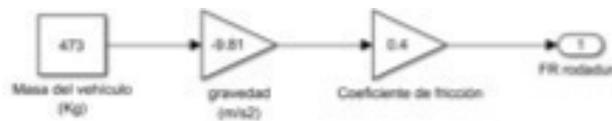


Figura 8. Cálculo de fuerza de resistencia a la rodadura.

Fuerza por acción del peso.- Esta fuerza actúa solo cuando el vehículo circula por pendientes inclinadas ya que en esos casos existe un componente de peso longitudinal que afecta al movimiento del vehículo, esta componente se define según ecuación (6), donde m es la masa del vehículo, g la gravedad y  $\phi$  el ángulo en radianes de la superficie respecto de la horizontal.

$$R_p = mg \sin \phi \quad (6)$$

En la Figura 9 se muestra el diagrama de bloques para el cálculo de esta fuerza.



Figura 9. Cálculo de la acción del peso sobre el vehículo.

### Dinámica Lateral

Si el vehículo circula a velocidades bajas según [8] se puede suponer que la velocidad en cada rueda coincide con la dirección de las mismas, haciendo que el análisis de movimiento lateral sea más sencillo al no considerar la acción de ninguna fuerza. Para el proyecto se estima una velocidad de circulación aproximada de 5 Km/h. Por lo que el modelo se acoge al modelo cinemático lateral.

Las ecuaciones de este modelo se basan en las relaciones geométricas que gobiernan al sistema y en la aproximación al modelo de bicicleta (ver Figura 10). En este modelo las llantas delanteras están representadas por una sola en el punto A y las llantas traseras también están representadas por una sola en el punto B.

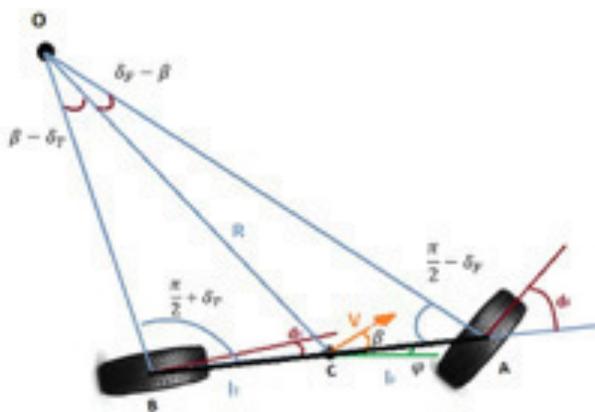


Figura 10. Modelo bicicleta aproximado.

Los ángulos de dirección para las llantas delanteras y traseras están representados por  $\delta_F$  y  $\delta_T$  respectivamente. En el modelo se supone que ambas ruedas pueden ser direccionadas pero se aproxima a cero el  $\delta_T$  para simplificar el cálculo. El punto C marca el CG del vehículo. La distancia entre los puntos A y B y el CG son  $l_F$  y  $l_T$  respectivamente. La distancia entre ejes es  $L = l_F + l_T$ .

La velocidad del CG del vehículo se denomina  $V$  y forma un ángulo  $\beta$  con el eje longitudinal del vehículo, llamado ángulo de deslizamiento del vehículo. Por la restricción de movimiento del vehículo se necesitan tres parámetros para describir el movimiento que son:  $X$ ,  $Y$  y  $\phi$ .  $X$  y  $Y$  son coordenadas inerciales de la localización del CG mientras que  $\phi$  describe el movimiento de revolución del vehículo sobre el eje  $Z$ , también llamado ángulo de rumbo del vehículo.

El vector velocidad de la rueda delantera forma un ángulo  $\delta_F$  con el eje longitudinal del vehículo. La fuerza lateral total de ambos neumáticos se calcula a partir de la ecuación (7), que representa la fuerza centrífuga que actúa sobre el vehículo, y depende únicamente de la magnitud de la velocidad.

$$\frac{mV^2}{R} \quad (7)$$

Si se aplica la ley de senos a los triángulos OCA y OCB se tienen las ecuaciones (8) y (9) respectivamente.

$$\frac{\sin(\delta_F - \beta)}{l_F} = \frac{\sin(\frac{\pi}{2} - \delta_F)}{R} \quad (8)$$

$$\frac{\sin(\beta - \delta_T)}{l_T} = \frac{\sin(\frac{\pi}{2} + \delta_T)}{R} \quad (9)$$

Por equivalencias trigonométricas se llega a las expresiones (10) y (11).

$$\frac{\sin(\delta_F) \cos(\beta) - \sin(\beta) \cos(\delta_F)}{l_F} = \frac{\cos(\delta_F)}{R} \quad (10)$$

$$\frac{\cos(\delta_T) \sin(\beta) - \cos(\beta) \sin(\delta_T)}{l_T} = \frac{\cos(\delta_T)}{R} \quad (11)$$

Multiplicando ambos lados de las ecuaciones por:  $\frac{l_F}{\cos(\delta_F)}$  y  $\frac{l_T}{\cos(\delta_T)}$  respectivamente se tienen las ecuaciones (12) y (13).

$$\tan(\delta_F) \cos(\beta) - \sin(\beta) = \frac{l_F}{R} \quad (12)$$

$$\sin(\beta) - \tan(\delta_T) \cos(\beta) = \frac{l_T}{R} \quad (13)$$

Sumando las ecuaciones (12) y (13) se llega a la expresión (14).

$$\{\tan(\delta_F) - \tan(\delta_T)\} \cos(\beta) = \frac{l_F + l_T}{R} \quad (14)$$

Sabiendo que la velocidad angular es la relación de la velocidad lineal con el radio de giro ( $\dot{\phi} = \frac{v}{r}$ ), se llega a la expresión (15).

$$\dot{\phi} = \frac{V \cos(\beta)}{l_F + l_T} (\tan(\delta_F) - \tan(\delta_T)) \quad (14)$$

Como se mencionó  $\delta_T$  puede aproximarse a cero, por lo que se obtienen ya las ecuaciones del movimiento (15) (16) y (17).

$$\dot{X} = V \cos(\phi + \beta) \quad (15)$$

$$\dot{Y} = V \sin(\phi + \beta) \quad (16)$$

$$\dot{\phi} = \frac{V \cos(\beta)}{l_F + l_T} (\tan(\delta_F)) \quad (17)$$

En la Figura 11 se observa el diagrama de bloques implementado para el cálculo de la fuerza lateral y en la Tabla 2 se observan los parámetros reales del vehículo Twizy utilizados para dicho proceso.

Tabla 2. Parámetros reales para el cálculo de la fuerza lateral.

Parámetro	Valor	Unidad
Longitud de eje a eje (L)	1.79	m
Longitud del CG al eje Trascero ( $L_T$ )	0.8955	m
Masa del vehículo	473	Kg
Radio de curvatura	3.4	m
Velocidad Angular de giro ( $\omega$ )	Ec. 17	Rad/s

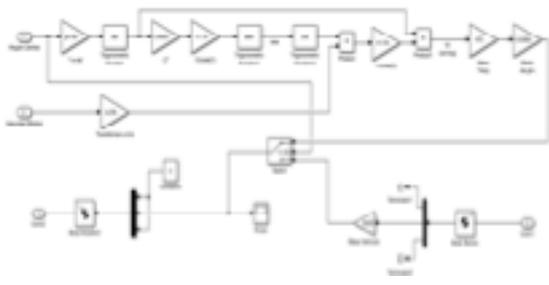


Figura 11. Sistema dinámico lateral.

Entorno.- el sistema de configuración del entorno (ver Figura 12) está conectado a la estructura del vehículo por una restricción planar, esto quiere decir que se le brinda al vehículo 3 grados de libertad, 2 prismáticos y uno de revolución.

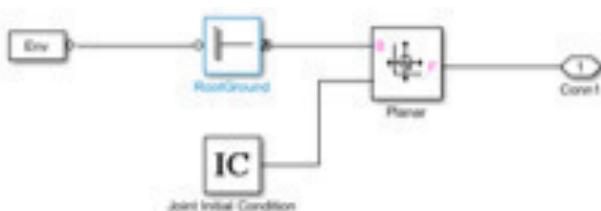


Figura 12. Sistema de entorno.

El vector de gravedad se define como: [0, 0, -9.81] ya que se asume el eje Z como eje vertical.

Sistema Rueda Trasera.- Los dos sistemas rueda trasera son idénticos solo diferenciándose en el punto de conexión con el cuerpo de estructura. En la Figura 13 se muestra el diagrama de bloques.

El sistema recibe una señal de velocidad angular en grados por segundo (°/s) para generar su movimiento, este valor se integra para conocer el ángulo en el que se posiciona el neumático.

Sistema Rueda Delantera.- En la Figura 14 se observa el diagrama de bloques del sistema rueda delantera; los modelos para los dos neumáticos delanteros son idénticos con la única diferencia que sobre la rueda derecha se implementó el bloque de dinámica lateral (podía incluirse en cualquier neumático delantero o trasero).

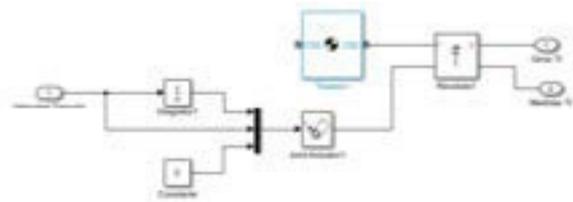


Figura 13. Sistema rueda trasera.

A diferencia de los neumáticos traseros este sistema tiene una junta universal entre el cuerpo del neumático y el cuerpo de estructura, lo que le permite al neumático tener dos ejes de giro. El giro sobre el eje Y simula el avance del vehículo y el giro sobre el eje Z representa la dirección de los neumáticos.

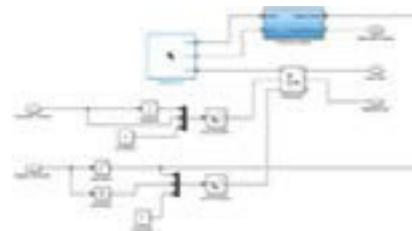


Figura 14. Sistema rueda delantera.

Sistema carrocería.- el bloque carrocería tiene más elementos que ningún otro, debido a la cantidad de operaciones que se deben realizar para aplicar la dinámica longitudinal al modelo tridimensional, así los elementos del bloque carrocería son: cuerpo, sensor carrocería, cálculo de módulo de velocidad, dinámica longitudinal fuerza aplicada y actuador de carrocería.

El diagrama de bloques donde se visualizan todos los subsistemas del vehículo se observa en la Figura 16.

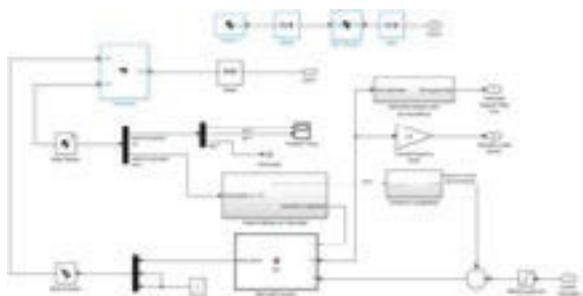


Figura 15. Sistema carrocería.

El sistema principal tiene las siguientes señales de entrada:

- Control de velocidad.- señal de avance del vehículo, simula el acelerador del mismo.
- Control de dirección.- ángulo de giro de neumáticos, simula el volante del auto.

Y las siguientes señales de salida:

- Velocidad lineal del vehículo.
- Posición XY del vehículo.

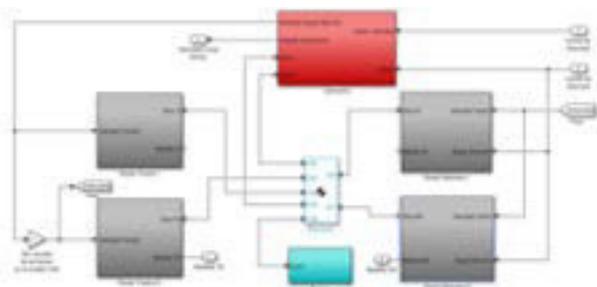


Figura 16. Sistema principal.

El modelo tridimensional resulta como se muestra en la Figura 17.

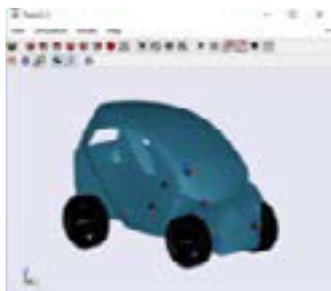


Figura 17. Modelo tridimensional.

### Control

La técnica de control borroso brinda flexibilidad de diseño a partir del funcionamiento del proceso y del conocimiento del operador sin realizar

análisis matemáticos. Los requerimientos de control son: velocidad constante iguala a 5 Km/h y dirección estable en línea recta.

Control de Velocidad.- el rango de valores de cada variable de trabajo es:

- Error de Velocidad (EV): rango [-40 a 40].
- Derivada del error (CEV): rango [-40 a 40].
- Fuerza longitudinal (FV): rango [0 a 3760].

En la Figura 18 se ve el diagrama de bloques de los sistemas de control a implementar.

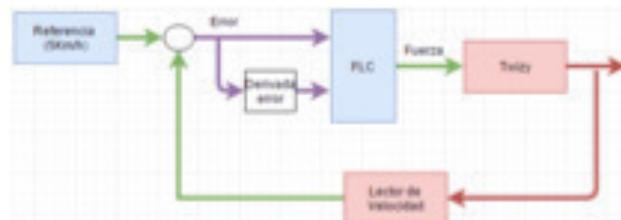


Figura 18. Diagrama de bloques control borroso.

En la Figura 19 y 20 se muestran las funciones de pertenencia para las variables de entrada y para la variable de salida del controlador respectivamente.

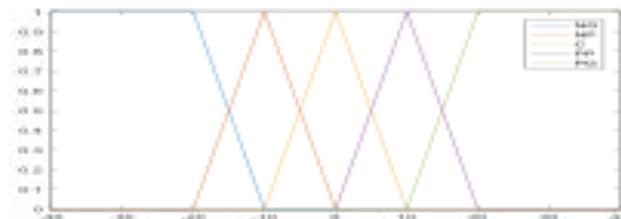


Figura 19. Función de pertenencia EV y CEV.

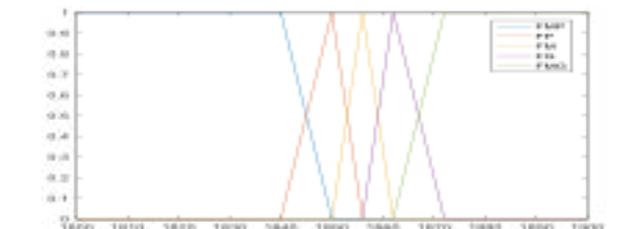


Figura 20. Función de pertenencia FV.

Las reglas borrosas se han generado del conocimiento del operador y de la experimentación con el modelo virtual. El método de inferencia seleccionado es el método de Mandani y el método de desborrosificación seleccionado fue el método del centroide.

Ajuste fino del controlador.- se define una etapa de ganancia integral para eliminar el error en estado estacionario, como se ve en la Figura 21.

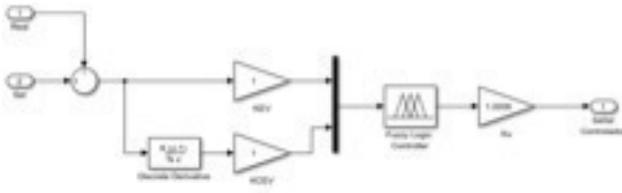


Figura 21. Ajuste fino del controlador.

Control de Dirección.- Para el sistema de control de dirección se mantiene las directrices del control de velocidad variando las funciones de pertenencia y los valores de las variables de acuerdo a las características del vehículo.

- Error de (ED): rango [-50 a 50].
- Derivada del error (CED): rango [-50 a 50].
- Angulo de dirección (AD): rango [-30 a 30].

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El sistema simulado en Matlab incluyendo los sistemas de control se muestra en la Figura 22.

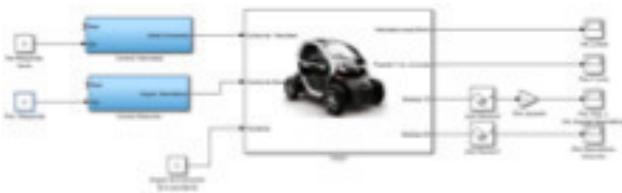


Figura 22. Modelo de simulación Twizy.

Prueba de control de velocidad.- respondiendo al requerimiento de mantener una velocidad de 5 Km/h se realizaron dos pruebas, una de estabilidad y una de respuesta ante perturbaciones, las respuestas se observan en las Figuras 23 y 24.

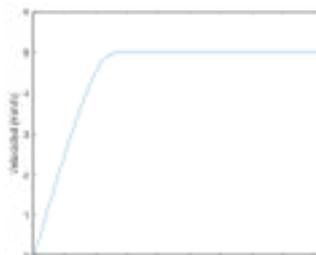


Figura 23. Prueba de estabilidad.

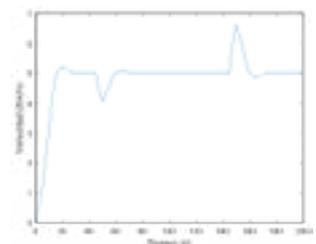


Figura 24. Prueba ante perturbaciones.

Prueba de comportamiento lateral.- Se realizó varias pruebas para estimar la veracidad del modelo y los sistemas de control, en la Figura 26 se muestra la gráfica resultante de una prueba de cambios de carril para ver si el modelo es capaz de comportarse de acuerdo a lo que sucedería con un operador humano si se ejecutan las maniobras de la Figura 25.

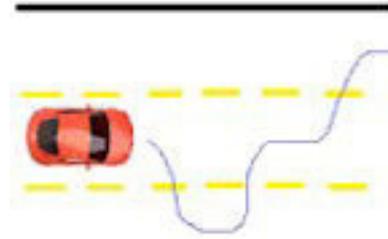


Figura 25. Trayectoria de prueba.

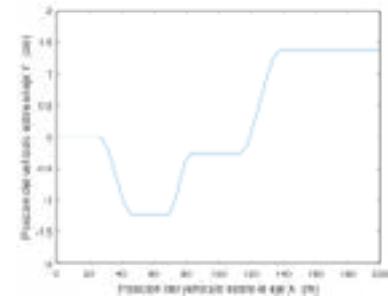


Figura 26. Trayectoria generada por el modelo.

### 4. CONCLUSIONES

- La técnica de modelado multicuerpo brinda cierta versatilidad al momento de analizar el comportamiento de un sistema que presente una alta dificultad de modelado matemático como puede ser un vehículo, esta técnica se basa en la virtualización de objetos identificando su forma, dimensiones, masas e inercias y generando sobre estos las fuerzas que los afectarían en la realidad.
- La toolbox de Matlab SimMechanics brinda todas las herramientas necesarias para una tarea de modelado multicuerpo, además se puede utilizar el modelado multicuerpo sobre SimMechanics para obtener representaciones del sistema en forma de función de transferencia y de espacio de estados por si se desea aplicar otras técnicas de control como el control clásico o el control moderno.

- Gracias a la compatibilidad de ciertos programas CAD con Matlab se puede simplificar la tarea de diseño de los componentes de un sistema, ensamblándolos en un programa especializado a estos fines e importar las soluciones directamente a SimMechanics.
- Equilibrar fuerzas en un modelo de SimMechanics puede ser una tarea bastante compleja si no se tiene un cuidado especial en los centros de masa de los objetos, un pequeño error en el diseño de un objeto que reciba la acción de fuerzas directamente puede provocar una inestabilidad del sistema muy difícil de controlar.
- A pesar de que se puede representar la mayoría de fuerzas que afectan al sistema real en el modelado multicuerpo, no se puede confiar ciento por ciento en que el modelo reproduzca todos los comportamientos del sistema real, por ello se define a este modelo como una aproximación del sistema.
- La técnica de control borroso se aplica cuando no se tiene mayor conocimiento del modelo matemático de un sistema. Al ser un vehículo un sistema con una alta complejidad dinámica de análisis, su automoción se convierte en un candidato ideal para la aplicación de técnicas de control mediante lógica borrosa utilizando como base de conocimiento la experiencia de un conductor y el conocimiento adquirido por pruebas y simulaciones.

## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Godwin, R. J., Earl, R., Taylor, J. C., Woosd, G. A., Bradley, R. I., Welsch, J. P., Richard, T., Blackmore, B. S. 2001. Precision farming of cereals: A five year experiment to develop management guidelines. Project Report No. 267. HGCA. Cranfield University.
- [2] Renault. (2012). Manual de Utilización Twizy. UE.
- [3] Matía, F. Apuntes Cátedra de Robots Móviles del Máster en Automática y Robótica. Universidad Politécnica de Madrid. 2016.
- [4] Shang, M. Chu, L. Guo, J. Fnag, Y. Zhou, F. Braking force dynamic coordinated control for hybrid electric vehicles. ICACC. 2nd International Conference on March 2010.
- [5] Acosta, N. Fundamentos de Navegación autónoma de robots. UNICEN. 2012.
- [6] Durrant-Whyte, H. Fellow. Bailey, T. Simultaneous Localisation and Mapping (SLAM) Part II. 2009.
- [7] De Jalon, J. Callejo, A. A Straight methodology to include multibody dynamics in graduate and undergraduate subjects. Mechanisms and Theory. Vol 45. Ed. 2. 2011.
- [8] Shang, M. Chu, L. Guo, J. Fnag, Y. Zhou, F. Braking force dynamic coordinated control for hybrid electric vehicles. ICACC. 2nd International Conference on March 2010.
- [9] Chen, Y. Lu, Z. Simulation analysis of vertical and lateral dynamics of an electric vehicle driven by two rear hub-motors. ICMA. International Conference on August 2009.

## 6. BIOGRAFÍA



Gabriel Moreano Sánchez bachiller en ciencias especialidad Físico Matemático en la Unidad Educativa San Felipe Neri, Ingeniero en Electrónica y Control Suficiencia en el idioma inglés, formación en la Universidad Politécnica de Madrid donde obtiene el título de Máster Universitario en Automática y Robótica en el año 2017, y colabora en proyectos de investigación del departamento de percepción artificial dentro del CSIC, en el mismo año obtiene el título de Máster Universitario en Diseño y Gestión de Proyectos Tecnológicos por parte de la Universidad Internacional de la Rioja, actualmente se desempeña como docente en la escuela superior politécnica de Chimborazo.



Víctor Hugo Benítez Bravo nace el 9 de Enero de 1982 en la ciudad de Riobamba–Ecuador, se forma en la Escuela Politécnica Nacional (Quito - Ecuador) donde obtiene el título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones con mención de excelencia

“Cum Laude”, institución donde también obtiene la suficiencia en el idioma inglés, continua su formación profesional en la Escuela Politécnica del Ejército donde obtiene el título de Máster en Redes de Información y Conectividad en el año 2015, actualmente se encuentra culminando su segundo Master en Planificación y Dirección Estratégica en la misma institución de educación superior. Adicional se ha desempeñado como catedrático de los programas de maestría de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo ESPOCH.



Juan Carlos Castelo Valdivieso, Ingeniero Automotriz, Magíster en Sistemas Automotrices, Docente tiempo completo en la Carrera de Ingeniería Automotriz de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Profesor de las asignaturas de motores

de combustión interna.

#### REGISTRO DE LA PUBLICACIÓN

Fecha recepción	14 octubre 2017
Fecha aceptación	17 noviembre 2017



Alvaro Gabriel Benítez Bravo nace el 23 de Julio de 1988 en la ciudad de Riobamba– Ecuador, se forma en la Escuela Politécnica del Ejército (Sangolqui - Ecuador) donde obtiene el título de Ingeniero en Electrónica en

Redes y Comunicación de Datos. Actualmente se encuentra culminando sus estudios de Master en Planificación y Dirección Estratégica en la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE. A más de ello cuenta con estudios de Derecho en la Universidad Técnica Particular de Loja – UTPL, estudios de Contabilidad y Auditoría en la Universidad Central del Ecuador y egresado de su segundo Master en Seguridad Informática en la Universidad Internacional de la Rioja de España.

## **ESCENARIOS FUTUROS DE EMISIONES DE CO<sub>2</sub> PRODUCIDAS POR EL CONSUMO DE ENERGÍA FINAL EN EL ECUADOR**

### **FUTURE SCENARIOS OF CO<sub>2</sub> EMISSIONS PRODUCED BY FINAL ENERGY CONSUMPTION IN ECUADOR**

Flavio Roberto Arroyo Morocho<sup>1</sup>, Luis Javier Bravo Alvarracín<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Central del Ecuador, Ciudadela Universitaria Av. América, <sup>2</sup>Escuela Politécnica Nacional, Ladrón de Guevara E11- 253  
e – mail : <sup>1</sup>frarroyo@uce.edu.ec <sup>2</sup>luis.bravo@epn.edu.ec.

*Revista Energía Mecánica Innovación y Futuro VI Edición 2017, No.1 (19)*

#### **Resumen**

El cambio climático y el calentamiento global están esencialmente asociadas al consumo de energía y a las emisiones de CO<sub>2</sub>. En este estudio se desarrolló un modelo de sistema dinámico para modelar las tendencias del consumo de energía final y la producción emisiones de CO<sub>2</sub> en Ecuador durante el período 2000-2040, utilizando los coeficientes de emisión de carbono del IPCC. El mix energético en Ecuador ha cambiado en los últimos años dándole mayor importancia a los recursos renovables y concretamente a la hidroenergía. Si se aplicarán políticas y tendencias de países industrializados sobre consumo energético y uso de energías renovables, la producción de emisiones de CO<sub>2</sub> al año 2040 alcanzarían las 15590 (KtCO<sub>2</sub>) valor muy por debajo si se mantendrían las actuales condiciones 33150 (KtCO<sub>2</sub>).

#### **Palabras Clave:**

Contaminación, Dinámica de Sistemas, Emisiones, Energías Renovables.

#### **Abstract**

Climate change and global warming are essentially associated with energy consumption and CO<sub>2</sub> emissions. The present model of dynamic system models the trends of the final energy consumption and the production of CO<sub>2</sub> emissions in Ecuador during the period 2000-2040, using the coefficients of emission of carbon of the IPCC. The energy mix in Ecuador has changed in the last years giving greater importance to the renewable resources and specifically to the hydroelectric energy. If industrialized countries' policies and trends on energy consumption and use of renewable energies are applied, the production of CO<sub>2</sub> emissions by the year 2040 could reach a value of 15590 (KtCO<sub>2</sub>) much lower than that forecast under current conditions 33150 (KtCO<sub>2</sub>).

#### **Keywords:**

Emissions, Pollution, Renewable Energies, Systems Dynamics.

## 1. INTRODUCCIÓN

El cambio ambiental que afecta al mundo está ocurriendo a una velocidad muchísimo más rápida de lo que antes se pensaba, haciendo imperativo que los gobiernos actúen ahora para revertir el daño que se le ha hecho al planeta [1]. La mala calidad del aire en las ciudades empeora, según reportó la Organización Mundial (OMS) de la Salud en un nuevo informe sobre el impacto de la contaminación en la salud, presentado 12 de mayo de 2016 en Ginebra.

Se ha demostrado que la contaminación atmosférica asociada con la producción y el uso de energía afecta directamente la calidad de aire local y al clima mundial. La Organización Mundial de la Salud (OMS) indica que el 92% de la población mundial vive en lugares con altos niveles de contaminación y que la polución causa cerca de tres millones de muertes al año. El 90% de estas muertes se producen en países con medios y bajos ingresos, y dos de cada tres ocurren en las regiones de Asia Sudoriental y el Pacífico Occidental.

De acuerdo con información de mayo de 2015 de la Asamblea Mundial de la Salud “cada año mueren 4.3 millones de personas debido a la exposición a la contaminación del aire en interiores y 3.7 millones, por la exposición a la contaminación del aire exterior”.

Con el empeoramiento de la calidad del aire, el riesgo de contraer infartos cerebrales, enfermedades del corazón, cáncer de pulmón, enfermedades agudas y crónicas, como asma, aumenta para las personas que viven en las ciudades. La Dra. Flavia Bustreo, subdirectora general de la Organización Mundial de la Salud (OMS) indica que “La contaminación del aire provoca daños en la salud de las poblaciones más vulnerables como, por ejemplo, las mujeres, niños y mayores”. La mayoría de las muertes se producen en los núcleos urbanos de China (1,4 millones), seguidos de la India (645.000) y Pakistán (100.000) [2]. En 2016, los principales emisores de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) fueron China (28.21%), los Estados Unidos (15.99%), la India (6.24%), Rusia (4.53%) y Japón (3.67%). Entre las principales fuentes de contaminación del

aire figuran los modos ineficientes de transporte, la quema de combustible en los hogares y la quema de desechos, las centrales eléctricas y las actividades industriales.

Varios investigadores evidencian que las emisiones de CO<sub>2</sub> han contribuido más al cambio climático entre 1750 y 2005 [3], [4]. Este último amenaza la esperanza de vida debido al menor acceso al agua, los alimentos, la salud y la tierra, y causa cambios climáticos ambientales y repentinos. Por lo tanto, es importante minimizar las emisiones de CO<sub>2</sub> mediante la reducción del consumo de combustibles fósiles [4].

Según informe de Bp Statistical Review of World Energy en el año 2016 las emisiones de CO<sub>2</sub> totales del mundo fueron de 33432.04 (Mton) [5]. En el Ecuador los problemas de contaminación ambiental se presentan en las grandes ciudades, en especial en Quito, Guayaquil y Cuenca, donde se evidencia gran concentración de población urbana y la presencia de industrias manufactureras. De acuerdo a los análisis de la OMS (2012-2013), Santo Domingo, Milagro, Quito, Latacunga, Manta y Portoviejo sobrepasan los niveles internacionales de contaminación perjudiciales para la salud. Ibarra, Cuenca y Ambato son las ciudades menos polutas con 9 ug/m<sup>3</sup> de PM<sub>2.5</sub>. Por otro lado, solo Quito, Santo Domingo y Milagro son las urbes que superan los límites de contaminación nacionales.

En la figura 1, podemos comparar la evolución de emisiones de CO<sub>2</sub> en el mundo y en el Ecuador desde el año 2000.

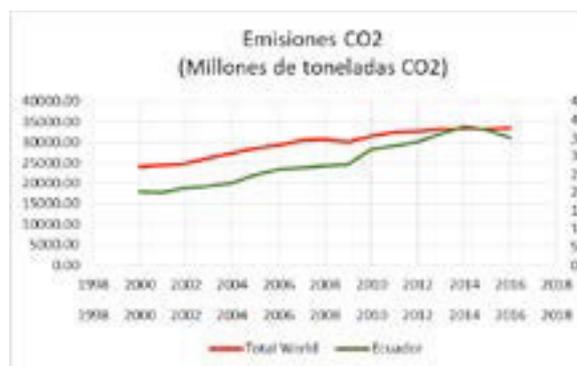


Figura. 1. Emisiones de CO<sub>2</sub>  
Fuente: [5]

Estudios realizados concluyen que existe una relación directa entre las emisiones de CO<sub>2</sub>, el consumo de energía y el tipo de energía. Las sociedades humanas generan un importante impacto en el medio ambiente, como resultado de sus actividades. La agricultura, la ganadería y la pesca, la minería, la industria o los servicios son los responsables de lo que la mayoría de las veces se traduce en un grave deterioro [6].

El funcionamiento de la economía mundial se basa en el consumo de energía. Sin ella sería imposible extraer las materias primas necesarias, ni hacer funcionar el sistema productivo para generar los bienes y servicios que la sociedad necesita, tampoco su transporte ni el de las personas. En este sentido cabe señalar que la producción y el consumo de energía generan efectos que se manifiestan en forma de calentamiento global, contaminación atmosférica, lluvia ácida, contaminación radiactiva o vertidos de hidrocarburos, entre otros, dando lugar a graves afecciones medioambientales [6].

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

La dinámica del sistema fue creada a mediados de los años cincuenta por el profesor Jay W. Forrester del Massachusetts Institute of Technology. La Dinámica de Sistemas es un método que se extiende más allá del dominio convencional del enfoque de sistemas a problemas de ingeniería complejos a gran escala. DS trata con la interacción de varios elementos de un sistema en el tiempo y capta el aspecto dinámico incorporando conceptos tales como stock, flujos, retroalimentación y demoras, y proporciona así una visión del comportamiento dinámico del sistema en el tiempo [7].

En este estudio, se construye un modelo dinámico utilizando Vensim, que es una herramienta gráfica de creación de modelos de simulación que permite conceptualizar, documentar, simular, analizar y optimizar modelos de Dinámica de Sistemas. Los mecanismos de la dinámica del sistema pueden ser manejados por una interfaz fácil de usar. Estos procedimientos de desarrollo de modelos están diseñados sobre la base de un proceso de visualización que permite a los constructores de modelos conceptualizar, documentar, simular

y analizar modelos de sistemas dinámicos [8]. Permite realizar un análisis de sensibilidad con la finalidad de examinar la consistencia del modelo ante cambios en los valores de los parámetros.

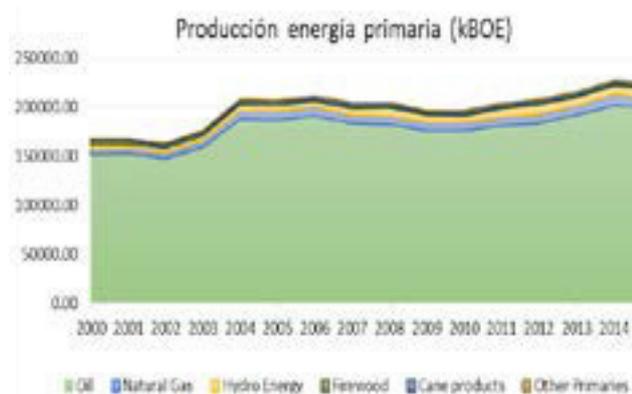
En realidad, el método de los sistemas dinámicos pretende describir un problema dinámicamente. Se emplea el modelo propuesto por [9]. Este estudio tiene como objetivo analizar los efectos del consumo de energía sobre el medio ambiente. Las principales variables utilizadas son la población, oferta y demanda de energía, las emisiones de CO<sub>2</sub>, la intensidad energética, etc.

El modelado del sistema energético es un problema complejo debido a la presencia de múltiples tomadores de decisiones, la complejidad de los comportamientos de los consumidores, los procesos de retroalimentación entre los módulos, las limitaciones tecnológicas y diversos tipos de retrasos. El modelo de dinámica de sistemas (MDS) es un enfoque adecuado para modelar tales complejidades, ya que es una poderosa técnica de modelado para entender y explorar la estructura de retroalimentación en sistemas complejos. La fortaleza de este modelo reside en su capacidad para dar cuenta de la no linealidad en la dinámica, la retroalimentación y el tiempo de retraso [10].

En lo referente a estudios realizados sobre análisis de emisiones y consumo energético en el Ecuador, [11] analiza la posible dimensión del impacto físico del cambio climático y su cuantificación económica en diferentes sectores: recursos hídricos, agricultura, biodiversidad, recursos marinos y costeros, salud, infraestructura, eventos extremos y, en particular, las islas Galápagos. [12] en su tesis doctoral utiliza MDS, análisis de descomposición y curva de kuznets, para analizar las emisiones de carbono, consumo de energía y desarrollo sostenible en Ecuador (1980-2025). [13] realiza un estudio de las emisiones de carbono en Ecuador con la finalidad de disponer una política de reducción de las mismas.

Una economía que depende más de combustibles fósiles como el carbón, el gas y el petróleo tendrá más emisiones que una economía que dependen de la energía renovable [14]. La matriz de energía primaria del Ecuador ha sido

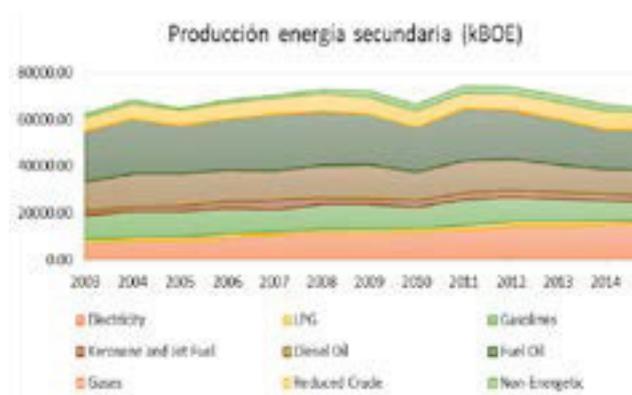
predominada históricamente por la producción de petróleo figura 2. Asimismo, cabe destacar que históricamente, las energías renovables no han tenido una mayor participación en matriz de energía primaria. Sin embargo, la producción de hidroenergía ha incrementado en 72% entre 2000 y 2015, mientras que la producción de otras fuentes primarias como la energía eólica y fotovoltaica inició en el 2007 [15].



**Figura 2. Evolución producción de energía primaria**

Fuente: [16]

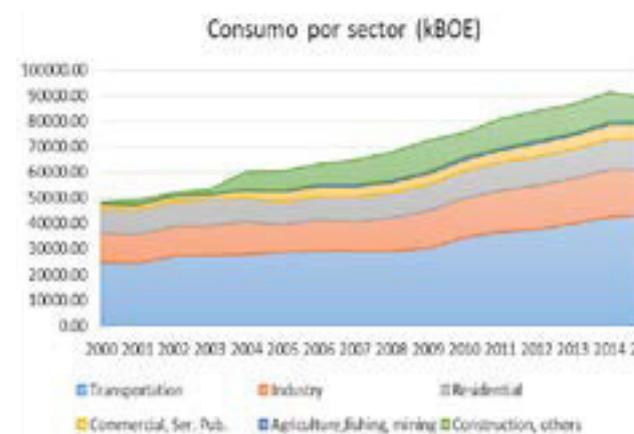
En la figura. 3 se puede apreciar la evolución de la producción de energía secundaria en el Ecuador. La producción total de energía secundaria se ha mantenido en niveles cercanos a los 70 millones BEP entre 2003 y 2015, con el Fuel Oil como la principal energía secundaria producida en el país, seguido por el diésel hasta el año 2011, convirtiéndose en el 2012 la electricidad la segunda fuente secundaria más producida y en la actual casi a la par con el Fuel Oil.



**Figura 3. Evolución producción de energía secundaria**

Fuente: [16]

En el Ecuador se pueden identificar seis sectores económicos en los que se distribuye el consumo final de energía como se muestra en la figura. 4. Al 2015, el transporte tuvo una participación del 46% del total de energía demandada en los sectores del país, las industrias alcanzaron un 19% y el sector residencial el 13%. Sin embargo, en el 2015 existió una reducción del 4% en el consumo energético sectorial del país comparado con el 2014, a pesar de un incremento en la demanda del transporte (2%) y de los hogares (1.6%). Este hecho se ha visto justificado principalmente por un menor consumo de energía en la industria (-4.5%) y en otros sectores [15].



**Figura 4. Evolución producción de energía secundaria**

Fuente: [16]

Para la presente investigación se plantearon tres escenarios: BAU (abreviatura de bussiness as usual) este escenario hace referencia a la forma actual con que se están desarrollando los sistemas y que pasaría si continuamos bajo las mismas condiciones. El escenario 1, consideran todas las políticas propuestas por el gobierno nacional para proyecciones a futuro. El escenario 2, es un escenario regional o mundial, se toman en cuenta las tendencias de países industrializados.

En la figura 5, se muestra el modelo simplificado, se observan las diferentes variables que interactúan en la simulación. Se utilizan como entradas el consumo energético de los diferentes sectores del Ecuador. Posteriormente el consumo de energía es multiplicado por el factor de conversión de emisiones de cada una de las energías que se utilizan en el país. El modelamiento permite evaluar cada uno de los escenarios propuestos y cuantas emisiones se producirán al 2040.

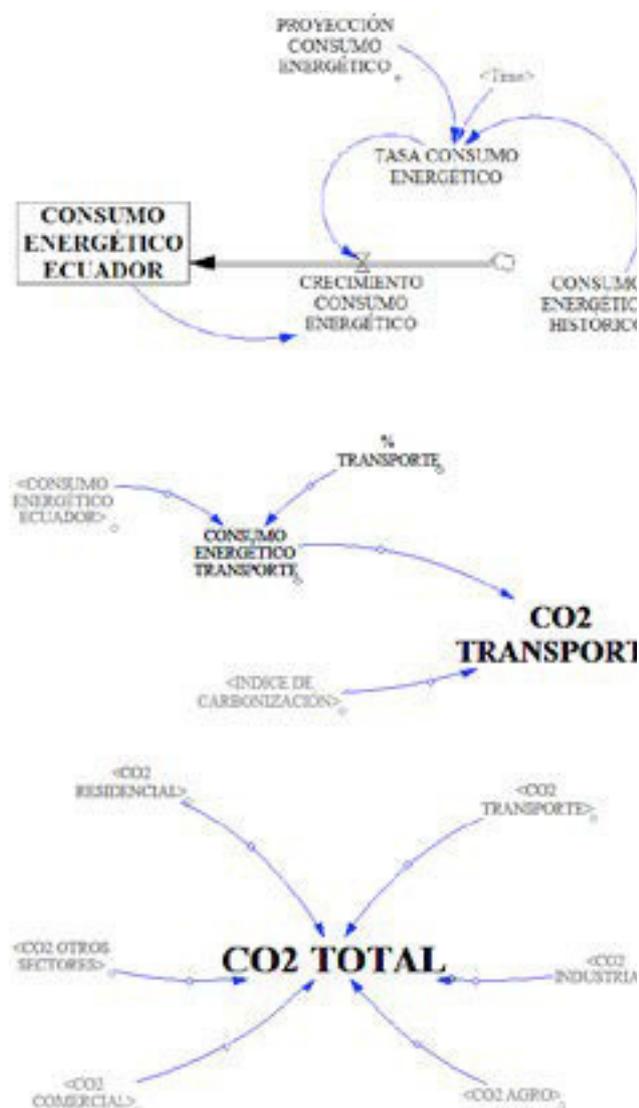


Figura 5. Modelo simplificado

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El Ecuador ha mantenido un mix energético basado en fuentes de origen fósil como se muestra en la tabla 1. El incremento del consumo de gasolinas y diesel se ha mantenido debido principalmente al incremento del número de vehículos y a la generación eléctrica de las centrales termoeléctricas que por muchos años han sido la principal fuente de generación de electricidad en el Ecuador. Las fuentes de energía renovable son tecnologías con poco desarrollo y es ahora con la puesta en operación de centrales hidroeléctricas de gran capacidad que se puede pronosticar una mayor participación de ellas en el mix energético futuro.

Tabla 1. Evolución de la estructura porcentual del consumo por fuentes (%)

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Petróleo	1.6	1.5	1.4	1.2	0.9	1	1	0.9
Gas Natural	0	0	0	0	0	0	0	0
Leña	6.1	5.8	5.2	4.8	4.2	4.1	3.8	3.7
Productos de caña	4.7	4.3	3.8	3.5	4.6	0.3	1.8	0.9
Electricidad	9.8	9.8	10.3	10.7	10.8	11.9	12.6	13.5
Gas licuado de petróleo	10	10.3	10.1	10.4	10.4	10.7	10.6	11
Gasolinas	21.3	21.7	21.3	20.2	19.1	21.3	21.1	22
Kerosene y Turbo	2.3	2.7	3.3	3.3	3.3	3.7	3.8	4
Diesel	29.3	29.8	28.9	30.7	30.2	31.4	30.7	29.9
Fuel Oil	13	11.7	13.4	14.6	13.9	13.3	12	11.9
Solar / Eólico	0	0	0	0.7	0.6	0.6	0.5	0.5
Asfaltos, lubricantes	1.9	2.4	2.3	0	2	1.8	1.9	1.9
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	
Petróleo	1	1	0.9	0.8	0.9	0.9	0.8	
Gas Natural	0	0	0	0	0.2	0.3	0.3	
Leña	3.4	3	2.8	2.6	2.4	2.2	2	
Productos de caña	1.5	2.3	2.2	2.1	2.3	2.1	1.9	
Electricidad	13.4	12.7	13.3	13.5	13.9	14.2	13.5	
Gas licuado de petróleo	10.6	9.9	9.7	9.8	9	9	8.5	
Gasolinas	21.6	22.6	23.7	24.9	25	25.1	28.1	
Kerosene y Turbo	3.9	3.5	3.4	3.2	3.1	3.2	2.9	
Diesel	29.8	29.6	30.3	29.8	30.7	31.4	30.9	
Fuel Oil	11.9	11.3	10.1	9.6	8.8	8	8.1	
Solar / Eólico	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.5	0.5	
Asfaltos, lubricantes	2.4	3.5	3.1	3.1	3.2	3.1	2.6	

Fuente: [16]

Los factores de conversión para emisiones de CO<sub>2</sub> de las diferentes fuentes de energía se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Factores conversión emisión CO<sub>2</sub>

FACTORES CONVERSIÓN EMISIÓN DE CO <sub>2</sub>	(Kg CO <sub>2</sub> /BOE)	(Kg CO <sub>2</sub> /TJ)
Petróleo	448,54	73300
Gas Natural	343,29	56100
Leña	685,36	112000
Productos de Caña	433,24	70800
Electricidad	-	-
Gas licuado de petróleo	386,13	63100
Gasolinas	424,06	69300
Kerosene y Turbo	439,97	71900
Diesel	453,44	74100
Fuel Oil	473,63	77400
Solar / Eólica	-	-
Asfaltos y lubricantes	448,54	73300

Fuente: [17]

Como podemos observar en la figura 6, al proyectar los dos escenarios planteados podemos darnos cuenta de que al mantener la participación de las fuentes de energía actuales los sectores del transporte y del agro incrementarían las emisiones de CO<sub>2</sub> al año 2040, mientras que los otros sectores tenderían a reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>. Tomando en cuenta los escenarios planteados con un mix energético con mayor participación de energías renovables, las emisiones de todos los sectores disminuirían notablemente alcanzando niveles bajos de emisiones en el Ecuador.

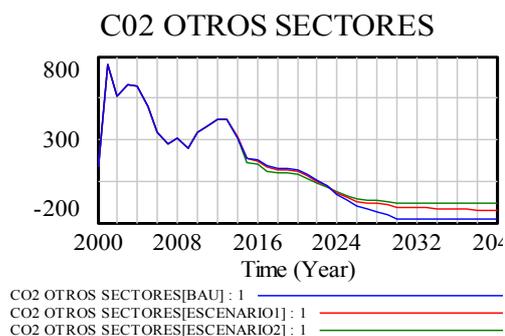
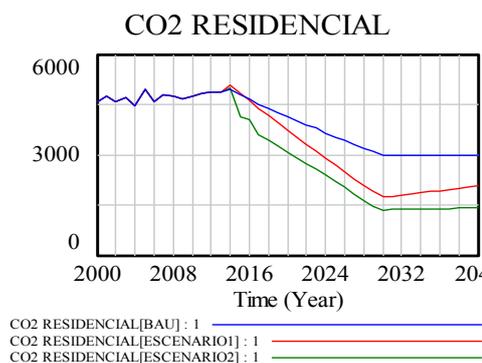
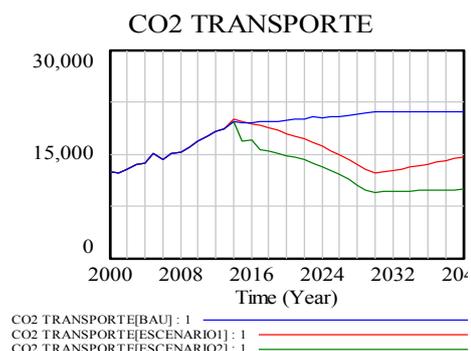
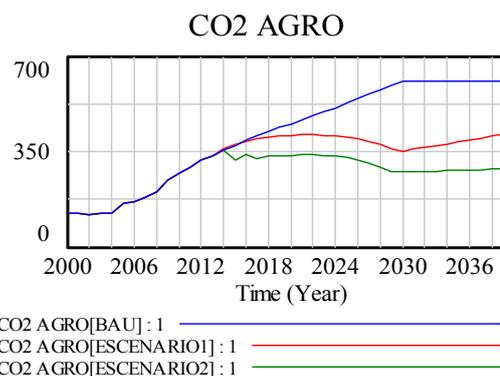
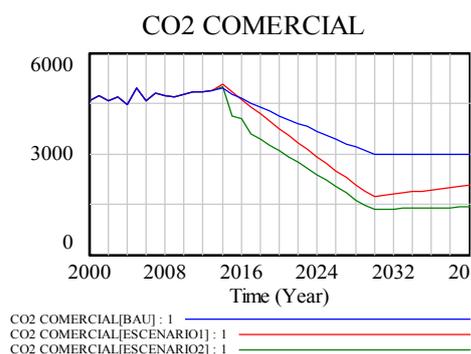
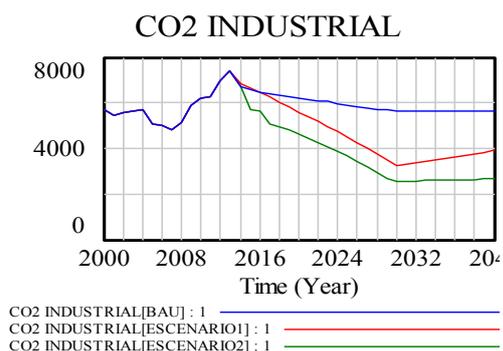


Figura 6. Evolución producción de energía secundaria por sector de consumo

En la figura 7, se observa la evolución y proyección del total de emisiones de CO<sub>2</sub> por el consumo de energía final en el Ecuador durante el período 2000 – 2040. En el período 2008 – 2014, la producción de emisiones alcanzó los niveles más altos del período evaluado, mientras que desde el año 2015 empiezan a disminuir los valores de emisiones totales, esto se debe principalmente a las políticas de cambio de matriz energética que se planteó el gobierno nacional.

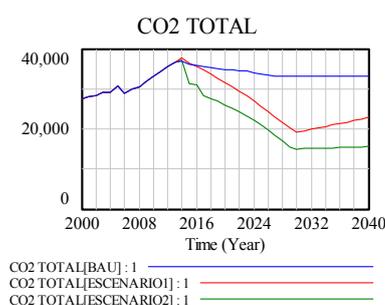


Figura 7. CO<sub>2</sub> emissions (KT CO<sub>2</sub>)

Al analizar cada uno de los escenarios podemos observar en la figura 7, que el mejor escenario sería el escenario 2 que considera políticas de países industrializados o desarrollados. Las proyecciones de producción de emisiones de CO<sub>2</sub> en los tres escenarios son las siguientes BAU: 33150 (KtCO<sub>2</sub>), ESCENARIO 1: 22910 (KtCO<sub>2</sub>) y ESCENARIO 2: 15590 (KtCO<sub>2</sub>).

#### 4. CONCLUSIONES

Con el fin de proyectar la producción de emisiones de CO<sub>2</sub> en el Ecuador durante el período 2000-2040, se desarrolló un modelo de dinámica de sistemas integrado basado en un marco de software Vensim.

Mediante la dinámica de sistemas se desarrolló un modelo que permite simular escenarios de producción de las emisiones de CO<sub>2</sub> al 2040, los resultados obtenidos servirán de base a propuestas de políticas energéticas futuras encaminadas a la mitigación de emisiones.

Sectores como el transporte o el agro mantienen una tendencia a consumir más energía que al ser de origen fósil producen una mayor cantidad de emisiones.

Al incrementar la participación de energías de fuentes naturales se observa cómo se reduce la producción de emisión de CO<sub>2</sub>.

Tomando en cuenta el potencial hidroeléctrico del Ecuador, un mix energético que tenga mayor participación hidroenergía y otras fuentes renovables produce una menor cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub>.

El incremento del uso hidroenergía en los últimos años desempeña un papel fundamental en la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub>. El desarrollo

de energías renovables es importante para el Ecuador, se hace necesario una producción y consumo de energía de fuentes naturales.

Finalmente, tomando en consideración que los combustibles fósiles son una fuente principal del consumo total de energía, es esencial que Ecuador mejore eficiencia energética ya que contribuye a la reducción de los gastos en toda la cadena energética, disminuye las emisiones y mejora la productividad del país.

#### 5. REFERENCIAS

- [1] PNUMA. (2016). Perspectivas del Medio Ambiente Mundial (GEO-6): Evaluaciones Regionales. Nairobi: Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
- [2] Fresnada, C. (18 de Enero de 2016). Alerta mundial por la contaminación en las ciudades de todo el planeta. El mundo. Obtenido de <http://www.elmundo.es/d/2016/01/18/569bba3d268e3ea1548b45e4.html>
- [3] Lu, C., & Wu, D. (2016). Environment and economic risk: An analysis of carbon emission market and portfolio management. *Environmental Research*, 297-301.
- [4] Mirzaei, M., & Bekri, M. (2017). Energy consumption and CO<sub>2</sub> emissions in Iran, 2025. *Environmental Research*, 354-351.
- [5] BP. (2017). *Statistical Review of World Energy*. Londres: BP.
- [6] UNED. (2016 de Marzo de 2016). Emergencia y Desarrollo Sostenible. Obtenido de <http://www2.uned.es/biblioteca/energiarenovable3/impacto.htm>
- [7] Tang, V., & Vijay, S. (2001). System Dynamics. Origins, development, and future prospects of a method. *Research Seminar in Engineering Systems*, 1-12.
- [8] Dyson, B., & Chang, N.-B. (2005). Forecasting municipal solid waste generation in a fast-growing urban region with system dynamics modeling. *Waste Management*, 669-679.

[9] Sterman, J. D. (2000). *Business dynamics. Systems thinking and modeling for a complex world*. New York: McGraw-Hill Higher Education.

[10] Wu, D. D., Kefan, X., Hua, L., & Olson, D. L. (2010). Modeling technological innovation risks of an entrepreneurial team using system dynamics: An agent-based perspective. *Technological Forecasting and Social Change*, 857-869.

[11] CEPAL. (2013). *La economía del cambio climático en el Ecuador 2012*. Santiago de Chile: Naciones Unidas.

[12] Robalino López, A. (2014). *Carbon emissions, energy consumption and sustainable development in Ecuador (1980-2025): System dynamics modelling, decomposition analysis and the environmental kuznets curve*. (Tesis Doctorado). Huelva: Universidad de Huelva.

[13] Cárdenas Herrera, J. (2014). *Estudio de la reducción de emisiones de carbono en el Ecuador (Tesis Maestría)*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.

[14] Lin, B., Omoju, O. E., & Okonkwo, J. (2015). Impact of industrialisation on CO<sub>2</sub> emissions in Nigeria. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 1228-1239.

[15] Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos. (2017). *Balance energético nacional 2016*. Quito: Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos.

[16] Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos. (2014). *Balance energético nacional 2013*. Quito: Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos.

[17] Garg, A., Kazunari, K., & Pulles, T. (2006). *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero*. Ginebra: IPCC.

## 6. BIOGRAFÍAS



<sup>1</sup>Flavio Roberto Arroyo Morocho, Ingeniero de Ejecución en Mecánica Automotriz, Ingeniero Industrial, Magíster en Gestión de la Calidad y Productividad. Director de la carrera de Ingeniería en Diseño Industrial de la Universidad Central del Ecuador. Candidato a Ph.D por la Universidad de Valladolid. Consultor de sistemas de gestión y cuidado medioambiental.



<sup>2</sup> Luis Javier Bravo Alvarracín, estudiante de la carrera de Ingeniería Matemática por la Escuela Politécnica Nacional, se desempeña como capacitador de herramientas matemáticas, asesor de proyectos de análisis estadísticos y desarrollo organizacional.

### REGISTRO DE LA PUBLICACIÓN

Fecha recepción	23 octubre 2017
Fecha aceptación	28 noviembre 2017

## **DESEMPEÑO ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO DE UN MÓDULO DE CONTROL PARA INYECCIÓN Y ENCENDIDO DE UNA MOTOCICLETA DE 200CC**

### **ELECTRICAL AND ELECTRONIC PERFORMANCE OF A CONTROL MODULE FOR INJECTION AND IGNITION OF A 200CC MOTORCYCLE**

Erazo Laverde Washigton German<sup>1</sup>, López Barberán René Fernando<sup>2</sup>, Lozada Pilco Jonathan Samuel<sup>3</sup>, Alex Javier Ramos Jinez<sup>4</sup>  
<sup>5</sup>José Quiroz Erazo

<sup>1,2,4,5</sup> Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE – Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica, Quijano y Ordoñez y Marques de Maenza s/n <sup>3</sup> Americantruck Quito

e – mail : <sup>1</sup>wgerazo@espe.edu.ec, <sup>2</sup>rflopez@espe.edu.ec, <sup>3</sup>jhon.lozada@americantruckecuador.com, <sup>4</sup>ajramos@espe.edu.ec <sup>5</sup>jlquiroz@espe.edu.ec

*Revista Energía Mecánica Innovación y Futuro VI Edición 2017, No.1 (19)*

#### **Resumen**

La investigación describe los tipos de estrategias de inyección que existen y su implementación en una motocicleta y optimizar el método el método para el encendido de la mezcla aire-combustible y la forma típica de las curvas de avance en los sistemas de descarga capacitiva usando microcontroladores. Se guía en el diseño del módulo de control de encendido, dando una descripción del mismo. Se establecen los criterios de selección para el método de inyección más adecuado al tipo de motor utilizado en base al análisis de señales provenientes de los distintos sensores y se valida en cada sección de circuito del módulo, tomando las formas de onda obtenidas con el osciloscopio y comparando las mismas con las formas de onda esperadas de cada una.

#### **Palabras Clave:**

Oscilograma inyección, avance al encendido, módulo inyección.

#### **Abstract**

The research describes the types of injection strategies that exist and their implementation in two-wheeled vehicles such as motorcycles and scooters, as well as the most usual method for igniting the air-fuel mixture and the typical form of the forward curves In capacitive discharge systems using microcontrollers. In addition to a design guide for the ignition control module, giving a description of the general circuit of the same. It also establishes the criteria of the selection for the most convenient injection method the type of motor used in the base analysis of signals coming from the various sensors and the means of the same method is validated each section of circuit of the module, taking Into account the forms Obtained with the oscilloscope and comparing them with the expected forms of each.

#### **Keywords:**

Injection oscillograms, advance to ignition, module of injection.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de alimentación y encendido, dentro del ámbito de las motocicletas, se ha mantenido casi sin variaciones dentro del mercado local por lo que los sistemas de carburación continúan siendo casi absolutamente el único sistema de alimentación disponible para este tipo de medio de transporte. Debido a esto, en combinación con las normativas ambientales y la demanda de los usuarios por sistemas con mejores características en desempeño, es necesaria la implementación de un nuevo sistema de alimentación y encendido que permita obtener mejoras en las características de potencia y torque, además de mejorar el consumo y reducir las emisiones contaminantes.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### Método de inyección

En general las motocicletas utilizan dos tipos de estrategias de inyección denominadas Alfa-N y Velocidad-Densidad, las cuales se diferencian por la forma en que se determina la cantidad de aire que ingresa al cilindro y por lo tanto en la forma de cálculo del pulso de inyección. [1]

El sistema velocidad-densidad utiliza mediciones de variación de caudal de aire por medio de la variación de presión absoluta a través del MAP (sensor de presión de la admisión), sin embargo el bajo cilindraje del motor y la baja sensibilidad del sensor a cambios menores no permiten su uso en la motocicleta. [2]

El sistema alfa-N estima la cantidad de aire que ingresa en base a la velocidad de giro del motor y con ese resultado incrementa el pulso de inyección basándose en la posición del acelerador que determina el TPS (Sensor de posición del acelerador). [3]

Esta estimación hace que esta estrategia sea la menos utilizada en motores de mayor cilindraje, puesto que no permite tener mezclas estequiométrica en todas las condiciones de operación, sin embargo, es ampliamente utilizada en motores de bajo cilindraje debido que el uso del sensor de presión de admisión (MAP) no resulta adecuado y la implementación de un sensor de flujo de aire de admisión (MAF)

elevaría demasiado los costos produciendo un decremento sustancial de la rentabilidad y viabilidad del sistema de inyección. [4]

Ambos sistemas se realizan pruebas para validar el comportamiento y determinar la mejor estrategia de inyección.

### Adelanto al encendido

Los sistemas de encendido en motores pequeños se limitan, casi en su totalidad, al uso de sistemas de descarga capacitiva, por lo que en motocicletas es el método más utilizado. [5]

Debido a que la velocidad del pistón es variable y está ligada al régimen de funcionamiento del motor, y que además la velocidad de propagación de la llama en la combustión es casi constante, es necesario que el encendido de la chispa se adelante según dicho régimen. [6]

La eficiencia del motor y la cantidad de emisiones están directamente ligadas con el correcto avance al encendido por lo cual es uno de los parámetros clave a tomar en cuenta en la mejora de sistemas de encendido tanto para la mejora del desempeño como para la reducción de emisiones en correspondencia con las estrictas normativas medioambientales modernas.

El uso de microcontroladores en el control del avance ha permitido un incrementar la precisión de los puntos de disparo y la variedad de la forma de la curva de avance, necesitando únicamente señales del CKP o pulser para la referencia de disparo y el cálculo de los tiempos de retraso. Como se muestra en la Figura 1. [7]

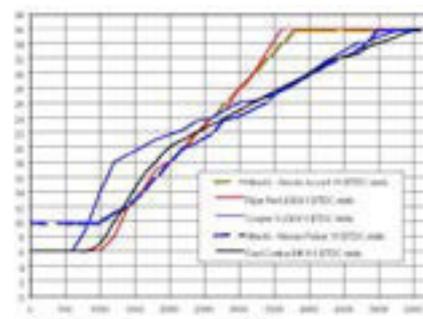


Figura 1. Curvas típicas de avance al encendido en motores de 4 tiempos.

Fuente: (Chichak, 2002).



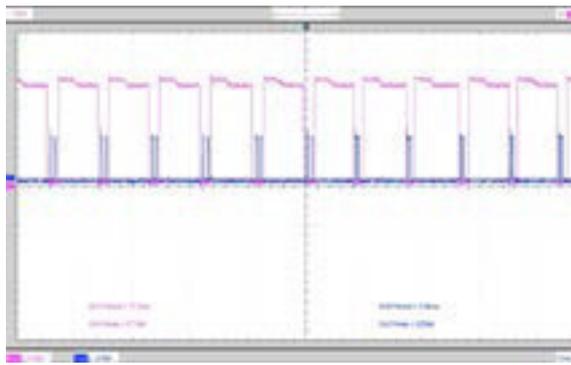


Figura 6. Pulsos de inyección en rosa y encendido en azul.

Como se aprecia en la figura 7, la señal del MAP varía únicamente cuando abre la válvula de admisión, por lo que no se registra valores aceptables de cambio en el flujo de admisión lo cual repercute en el cálculo del ancho de pulso no permitiendo que exista un incremento del mismo resultando una pobre variación en la aceleración del motor impidiendo su funcionamiento normal.

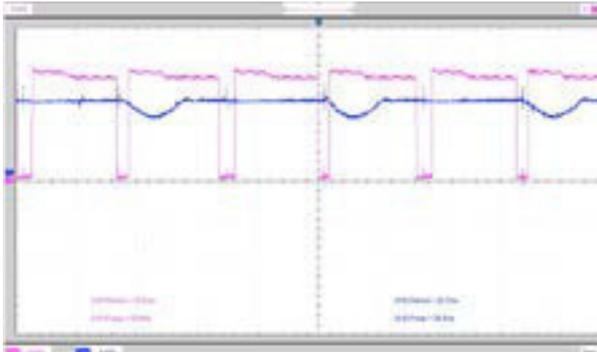


Figura 7. Pulsos de inyección en rosa y señal del MAP en azul.

Para la estrategia por Alfa-N se tienen las siguientes señales tomadas a ralentí:

Se puede apreciar en la figura 8, a los pulsos de inyección en color rosa y los de encendido en color azul.

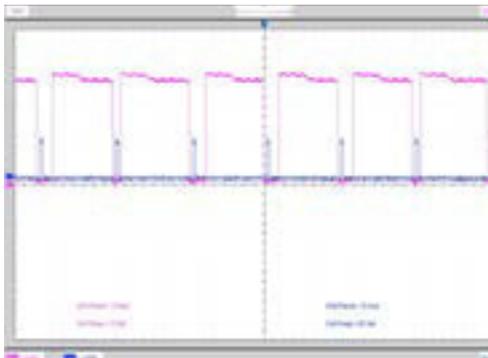


Figura 8. Pulsos de inyección en rosa y de encendido en azul.

Como se puede apreciar, se tiene un mayor pulso de inyección a ralentí con el método de alfa-N el cual responde a las necesidades del motor permitiendo que acelere como se muestra en la figura 9:

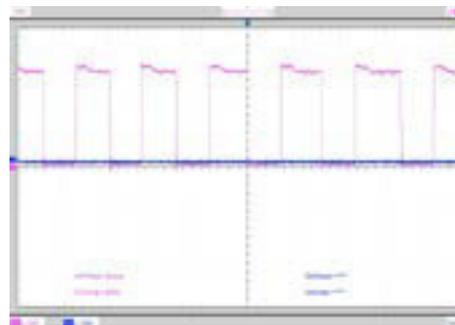


Figura 9. Ancho de pulso de inyección a altas RPM.

Esto indica que la estrategia más adecuada a utilizar en el caso de un motor de motocicleta de bajo cilindraje es la de inyección por Alfa-N.

### Toma de señales de componentes

Para validar todo el módulo se evalúa las ondas provenientes de cada uno de los componentes del módulo para determinar su correcto funcionamiento.

Se inicia evaluando las señales de alimentación, mostrada en la figura 10.

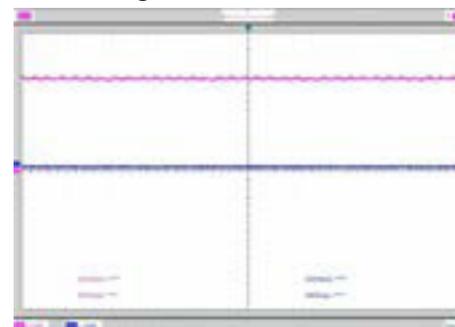


Figura 10. Señal de alimentación al módulo de 12V.

El módulo también dispone de una señal regulada de 5V, como indica la figura 11.

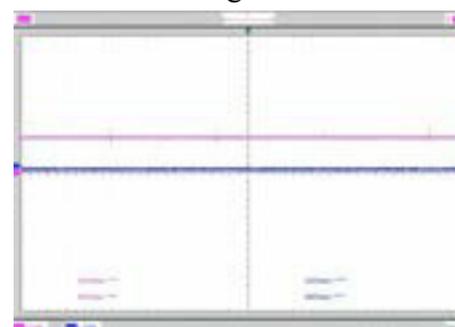


Figura 11. Señal regulada de 5V.

Se puede apreciar que la señal de alimentación de 12V contiene un rizo importante que puede introducir ruido al sistema; sin embargo la señal de salida de 5V elimina casi por completo el rizo y la posibilidad de mal funcionamiento ocasionado por ruido.

La siguiente onda en analizar es la del CKP que sirve como referencia de disparo y para calcular las RPM del motor.

En la figura 12 se puede apreciar la señal del sensor de posición de cigüeñal (CKP) sin acondicionamiento.

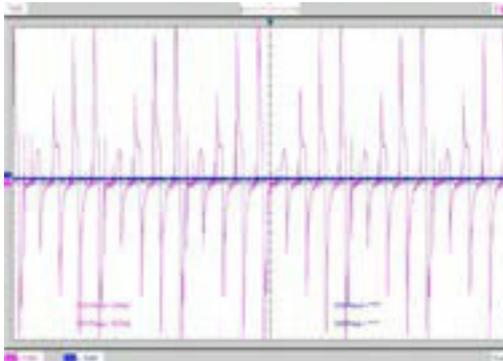


Figura 12. Señal del CKP sin acondicionar.

En la figura 13 se muestra la señal acondicionada del sensor de posición del cigüeñal (CKP).

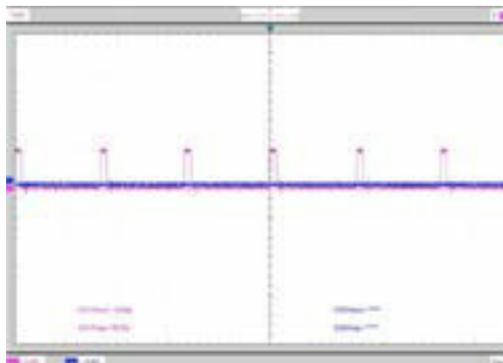


Figura 13. Señal acondicionada del CKP.

La señal suministrada por el sensor de posición del cigüeñal (CKP) es de tipo alterno con picos de aproximadamente 15V en ciclo positivo y negativo, por lo se acondiciona para ingresar al microcontrolador dejándola en un tren de pulsos de 5V positivos.

En la figura 14 se evalúa la señal del sensor de posición del acelerador (TPS) y se determina que varía de forma proporcional al movimiento del acelerador entre 0.5V y 4.5V.

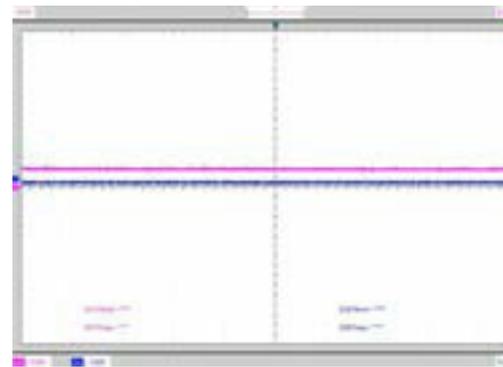


Figura 14. Señal de salida del TPS.

### 3. RESULTADO Y DISCUSIÓN

Análisis del comportamiento de la chispa en la bujía.

Se obtuvo los oscilogramas correspondientes, con la ayuda de una pinza amperimétrica y un oscilograma, tanto del sistema de encendido CDI original de la motocicleta y el sistema de encendido modificado del módulo de control electrónico.

En la tabla 1 se muestra los datos iniciales del comportamiento del sistema.

Tabla 1 Datos previos medidos para la obtención de los oscilogramas de bujía.

Descripción	Valor
Pinza amperimétrica	100mV/A
Bobina encendido secundario	6.1kΩ

Se obtuvo el siguiente oscilograma de la bujía mediante una pinza amperimétrica, en la figura 15:

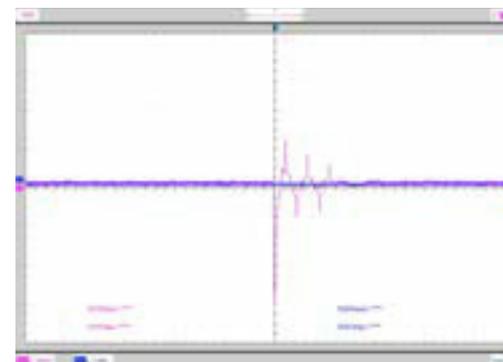


Figura 15. Oscilograma bujía CDI original.

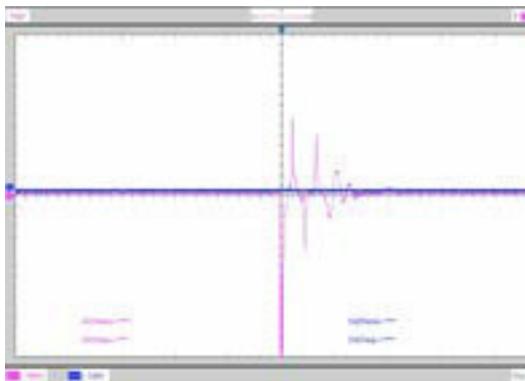
Mediante la forma de ondas se pudieron obtener los valores en la tabla 2, para poder conocer el desempeño de la chispa de la bujía.

**Tabla 2 Valores obtenidos en el oscilograma del cdi original.**

Descripción	Valor
Voltaje máximo (kV):	18.3
Voltaje mínimo (kV):	3.05
Corriente máxima (A):	3
Corriente mínima (A):	0.5
Angulo (°):	1.728

Chispa de bujía con el sistema de encendido modificado del módulo de control de inyección electrónica.

Se instaló el módulo de encendido inyección y encendido electrónico para obtener el siguiente oscilograma de la bujía mediante la pinza amperimétrica, una característica de la pinza nos permitió determinar el amperaje mediante la siguiente relación 1A/100mV, en la figura 16:



**Figura 16. Oscilograma bujía sistema de encendido modificado.**

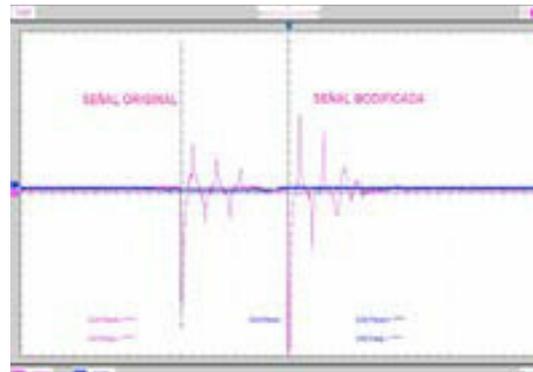
Con la forma de obtenida con el sistema instalado se pudo obtener los datos en la tabla 3, la cual nos ayuda a determinar nuevo comportamiento de la chispa de bujía.

**Tabla 3. Valores obtenidos en el oscilograma del módulo de inyección y encendido electrónico.**

Descripción	Valor
Voltaje máximo (kV):	24.4
Voltaje mínimo (kV):	4.27
Corriente máxima (A):	4
Corriente mínima (A):	0.70
Angulo (°):	2.016

Comparación de datos obtenidos de la chispa de la bujía, con el CDI original y el módulo de encendido electrónico.

Se obtuvo los datos necesarios de los oscilogramas para elaborar el análisis estadístico del comportamiento de la chispa de la bujía con el CDI y el módulo de inyección y encendido electrónico, mostrado en la figura 17:



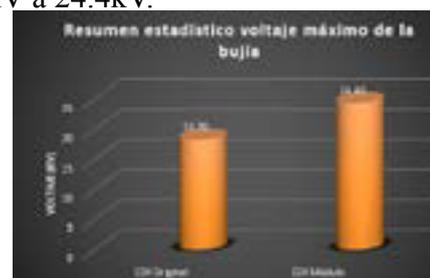
**Figura 17. Comparación de oscilogramas de la chispa de bujía.**

En la tabla 4 se puede observar la variación que existe en los diferentes valores obtenidos, se nota un aumento con el módulo de inyección y encendido instalado; respecto al sistema de encendido original de la motocicleta

**Tabla 4. Comparación datos obtenidos chispa de bujía.**

Valores	V. max. (kV)	V. mín. (kV)	C. máx. (A)	C. mín. (A)	Angulo encendido (°)
Osci. Original	18.3	3.05	3	0.5	1.728
Osci. Modif.	24.4	4.27	4	0.7	2.016
Valor máx. total	24.4	4.27	4	0.7	2.016
Promedio	21.35	3.66	3.5	0.6	1.872
Porctj. de variación	25%	29%	25%	29%	14%

En la figura 18, se muestran que los valores de voltajes máximos aumentan en un 25%; de 18.30kV a 24.4kV.



**Figura 18. Resumen estadístico del voltaje máximo de la bujía.**

En cambio, los valores de voltajes mínimos aumentan en un 29%; de 3.05kV a 4.27kV, como se aprecia en la figura 19.



Figura 19. Resumen estadístico del voltaje mínimo de la bujía.

También podemos observar el mismo comportamiento en la corriente máxima y mínima ya que esta depende directamente del voltaje.

En la figura 20, podemos apreciar que la corriente máxima tiene un aumento del 25%, con respecto al sistema original.

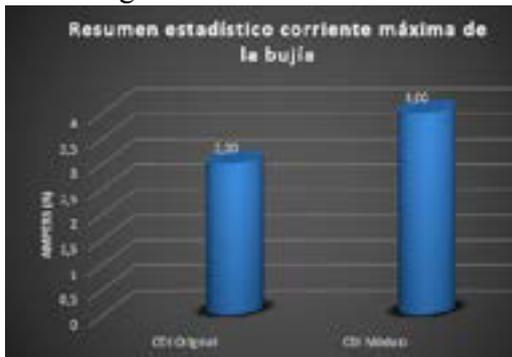


Figura 20. Resumen estadístico de corriente máxima de la bujía.

Así mismo en la corriente mínima existe un aumento del 29% con respecto al sistema original, como se puede apreciar en la figura 21.

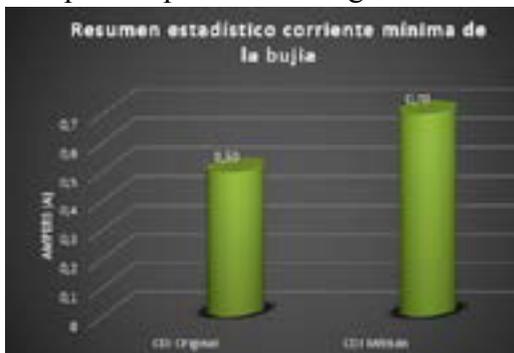


Figura 21. Resumen estadístico de corriente mínima de la bujía.

Podemos apreciar un aumento del 14% en el ángulo de encendido, que va de 1.728° a 2.016°, permitiendo que la chispa de la bujía este activa por mucho más tiempo generando mayor combustión, se puede observar en la figura 22.

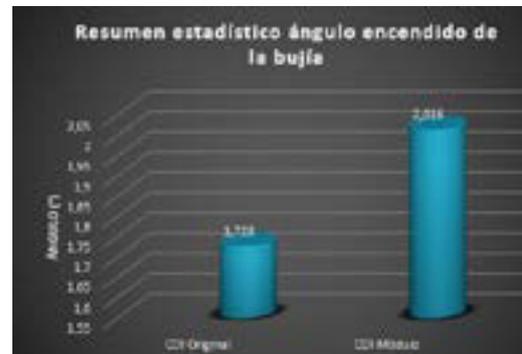


Figura 22. Resumen estadístico del ángulo de encendido de la bujía.

#### 4. CONCLUSIONES

La selección de componentes de cada sección del circuito se efectuó tomando en cuenta no sólo los voltajes y corrientes que pueden manejar sino también tomando en función a su desempeño eléctrico en términos de velocidad de respuesta y temperatura de trabajo.

En base a los parámetros iniciales se llevó a cabo el diseño del acondicionador de la señal de entrada proveniente del CKP, para que la misma pueda ser leída correctamente por el microcontrolador, y de la fuente de alimentación de forma que esta pueda suplir las necesidades de corriente de cada sección del módulo.

El driver de encendido fue diseñado en función de los voltajes máximos que puede recibir el mismo, los cuales pueden llegar hasta cerca de 400V de corriente alterna, aislando esta sección del circuito de forma que pueda comunicarse con el microcontrolador y al mismo tiempo evite que tan alto voltaje alcance a estos otros elementos que no lo toleren.

#### 5. REFERENCIAS

- [1] Armansyah, S. (Recuperado el: 28 de Diciembre de 2016). Binus ASO School of Engineering. Obtenido de <http://base.binus.ac.id/automotive-roboticsengineering/2016/12/28/air-fuel-ratio-in-internal-combustion-engine/>

- [2] Basshuysen, R. v., & Schäfer, F. (2004). Internal Combustion Engine Handbook - Basics, Components, Systems and Perspectives. Warrendale: SAE International.
- [3] Martín, T. (2012). How to Tune and Modify Motorcycle Engine Management Systems. Wisconsin: Motorbooks.
- [4] Wade, A. (2004). Motorcycle Fuel Injection Handbook. Motorbooks International.
- [5] Bremond, A., & Merceron, P. (2004). AN819 Application Note - Capacitive Discharge Ignition. Australia: STMicroelectronics.
- [6] Zareei, J., & Kakaee, A. H. (2013). Study and the effects of ignition timing on gasoline engine performance and emissions. Berlin: Springer.
- [7] Banish, G. (2007). Engine Management - Advanced Tuning. Minnesota: CarTech

automático industrial.



<sup>3</sup>**Jonathan Lozada Pilco**, nació en la ciudad de Quito-Ecuador. Ingeniero Automotriz Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE – Latacunga, Líder de garantías y servicio técnico en Americantruck.



<sup>4</sup>**Alex Javier Ramos Jinez**, nació en la ciudad de Ambato-Ecuador. Ingeniero Automotriz Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE – Latacunga, Docente a tiempo completo en la Unidad de Gestión de Tecnologías de la Universidad de las Fuerzas Armadas.

<sup>5</sup>**Quiroz Erazo Jose Lizandro** Ingeniero Automotriz, Diplomado Superior en Autotrónica, Maestría en Gestión de Energías, Docente Tiempo Completo ESPE, Jefe de Laboratorio de Autotrónica.

## 6. BIOGRAFÍA



<sup>1</sup>**Germán Erazo Laverde** nació en Latacunga- Ecuador, es Ingeniero Automotriz, Ingeniero Industrial posee estudios de Posgrado en Autotrónica, Gerencia de Marketing, Especialista en Gerencia de Proyectos, Diseño Curricular, Magíster en Gestión de

Energías. Es Técnico Máster CISE Electronics en Electrónica del Automóvil y Vehículos Híbridos. Docente en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE desde 1993. Imparte servicios de asesoramiento y capacitación en Mecánica y electrónica automotriz.



<sup>2</sup>**Fernando López Barberán**, nació en la ciudad de Manabí-Ecuador. Ingeniero Automotriz Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE – Latacunga, Electromecánico, Diseñador y constructor de sistemas electrónicos para motocicletas,

Diseñador y modificador de motocicletas de competencia, Diseñador de sistemas de control

# HOMOGENEIZACIÓN DE LA CAPA ENDURECIDA POR TEMPLE LÁSER DE PASOS MÚLTIPLES EN SUPERFICIES CILÍNDRICAS

## HOMOGENIZATION OF THE LASER HARDENING CURED LAYER MULTISTEP CYLINDRICAL SURFACES

Milton Israel Quinga Morales<sup>1</sup>, Paul Alejandro Montufar Paz<sup>2</sup>, Vicente Javier Romero Hidalgo<sup>3</sup>, Bolívar Alejandro Cuaical Angulo<sup>4</sup>  
<sup>1,2,3,4</sup> Escuela Superior Politécnica de Chimborazo - Facultad de Mecánica, Panamericana sur km 1 ½ Riobamba-Ecuador  
 e - mail: <sup>1</sup>milton.quinga@esPOCH.edu.ec, <sup>2</sup>paul.montufar@esPOCH.edu.ec, <sup>3</sup>vicente.romero@esPOCH.edu.ec, <sup>4</sup>bcuaiacal@esPOCH.edu.ec.

Revista Energía Mecánica Innovación y Futuro VI Edición 2017, No.1 (19)

### Resumen

El tratamiento térmico de endurecimiento superficial por láser aporta calor en un área específica, lo cual permite que el interior de la pieza se mantenga frío y propicie la conducción de calor hacia el interior de la pieza, se alcanzan velocidades de enfriamiento muy elevadas, dejando a un lado la necesidad de utilizar un medio de temple o líquidos refrigerantes. En piezas cilíndricas de gran longitud es necesario realizar pasos múltiples del spot láser para cubrir una determinada área de trabajo, este proceso de avance genera trayectorias traslapadas que forman una capa endurecida no uniforme, analizando este principio y los factores que intervienen en el proceso de temple, se desarrolló una estrategia que emplea conceptos de propiedades de los aceros al carbono, diagramas de temperatura, tiempo y transformación, curvas de enfriamiento continuo, para comprender el fenómeno de temple, y aportar los datos de entrada necesarios al software, obteniendo como resultado cada uno de los casos de un diseño de experimentos previamente determinado, los valores óptimos de este estudio se muestran en el análisis del diseño de experimentos, y se genera un aporte especial para determinar el grado de uniformidad de la capa de martensita resultando el diagrama ternario de factores.

### Palabras Clave:

Homogeneización de superficies templadas, martensita, pasos múltiples de láser, temple láser, tratamiento térmico

### Abstract

The thermal treatment of superficial hardening by laser, contributes heat in a specific area, which allows that the interior of the piece stays cold and conducts the conduction of heat towards the interior of the piece, very high cooling speeds are reached, leaving to one side the need to use a tempering medium or coolants. In cylindrical pieces of great length it is necessary to make multiple steps of the laser spot to cover a certain work area, this advance process generates overlapping trajectories that form a non-uniform hardened layer, analyzing this principle and the factors that intervene in the tempering process, a strategy was developed that uses concepts of properties of carbon steels, temperature diagrams, time and transformation, continuous cooling curves, to understand the tempering phenomenon, and provide the necessary input data to the software, and solve each one of the cases of a previously determined design of experiments, the optimal values of this study are shown from the analysis of the design of experiments, and a special contribution to determine the degree of uniformity of the resulting martensite layer is the ternary factor diagram.

### Keywords:

Homogenization of tempered surfaces, martensite, multiple steps of laser, laser temple, thermal treatment.

## 1. Introducción

Los procesos para endurecimiento superficial basados en tecnologías láser, como el temple, revenido, reducción de esfuerzos, etc. cada vez se consolidan más dentro de las líneas de producción en la industria automotriz, debido a que el efecto térmico se realiza en zonas muy específicas y localizadas de los elementos manufacturados.

Si se compara el temple por láser con otros procesos más tradicionales para tratamientos superficiales, como el endurecimiento por inducción o por flama, es posible obtener una zona tratada muy localizada sobre superficies complejas en 3D con mínimas tensiones residuales, sin que sea necesario un proceso final de rectificado o pulido. Además, el interés de este proceso radica en la posibilidad de integrar una fuente láser muy versátil directamente dentro de la cadena de producción, sin la necesidad de un medio de temple adicional y con la posibilidad de producir sobre un mismo material dos microestructuras muy diferentes, un núcleo blando y con una capa superficial endurecida [1]

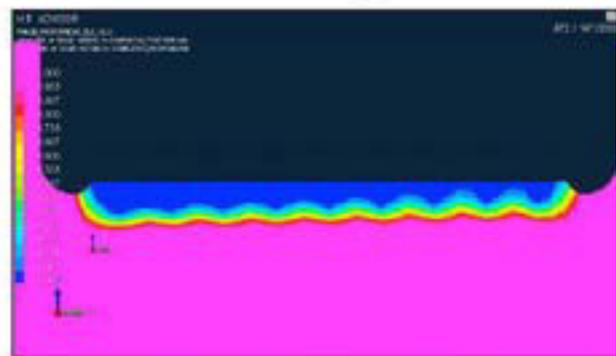
El tratamiento térmico involucra varios procesos de calentamiento y enfriamiento para efectuar cambios microestructurales en un material, con el propósito de modificar las propiedades mecánicas finales de un componente, la reducción y optimización de procesos en la industria manufacturera representa un ahorro de energía, tiempo y recursos, por esta razón el procedimiento usado para el endurecimiento superficial ha cambiado a lo largo de la historia, siempre de la mano del desarrollo de nuevas tecnologías, en la tabla 1 se resume los principales procesos empleados hasta la actualidad con sus respectivas ventajas y desventajas.

Rockwood (2014) realizó una modelación computacional del proceso de temple utilizando tecnología láser sobre el muñón de un cigüeñal, uno de sus resultados se muestra en la figura 1, donde en color azul se distingue el perfil de la capa endurecida, nótese la irregularidad de la martensita que se forma en la superficie al realizar 9 pasadas del haz de luz láser, lo cual se traduce

**Tabla 1. Comparación de los procesos empleados para endurecimiento superficial. [3]**

Procesos	Ventajas	Desventajas
Flama	Económico Flexible Móvil	Baja productividad. Requiere de un choque térmico y de un medio donde efectuarlo. Alta distorsión de componentes
Inducción	Alta productividad. Máxima penetración de la capa de martensita. Buena cobertura en grandes áreas.	Tiempos muertos por cambios de bobinas inductoras. Requiere de un choque térmico y de un medio donde efectuarlo. Distorsión elevada de las piezas tratadas. Incidencia térmica en toda la pieza. Fabricación de bobinas complejas para casos específicos. Requiere un postproceso de acabado.
Láser	Distorsión mínima de los componentes. Endurecimiento localizado. No se requiere de un choque térmico. Se elimina el postproceso. Mejora la vida a la fatiga del componente	Alto costo de equipos. Restricciones en la cobertura de grandes áreas. El proceso puede requerir de recubrimientos de las piezas para incrementar la opacidad. Múltiples carreras ocasionan el revenido local.

en un perfil de dureza irregular a lo largo de toda la superficie tratada, para contrarrestar esta problemática se desarrolló una nueva simulación computacional, variando cada uno de los factores involucrados en el fenómeno, lo que permite hallar los valores adecuados para conseguir una capa endurecida uniforme.



**Figura 1. Sección transversal de un muñón de cigüeñal, con 9 pasadas del spot láser para cubrir toda la superficie.**

Cada una de las trayectorias traslapa a la anterior en el proceso de avance del spot láser, lo que genera un tratamiento no homogéneo y un perfil de dureza irregular, esto no es deseable en componentes tales como cigüeñales, ejes, flechas de potencia y cualquier componente mecánico de superficie cilíndrica, por tal motivo se busca perfeccionar el proceso de temple láser para masificar su uso y aprovechar sus beneficios en la reducción de los costos de producción.

Modelar los procesos de tratamiento superficial por láser y obtener los parámetros óptimos, se puede lograr mediante un modelo analítico local, donde se introduce los efectos de los cambios metalúrgicos para un material específico, o intentar simular un proceso más global en máquina, introduciendo las trayectorias del láser. Este trabajo propone realizar un diseño de experimentos a partir de los datos obtenidos por medio de simulación computacional del fenómeno de temple por láser, donde tendremos en cuenta los factores que influyen directamente en la uniformidad de la capa de martensita, para posteriormente enfocar el análisis en desarrollar una metodología que pueda ser fácilmente aplicable y reproducible.

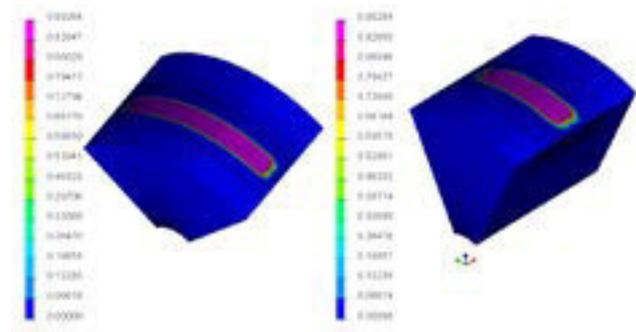
## 2. Materiales y Métodos

Para el presente estudio se empleó la aplicación Visual Environment 10.5 de ESI Group, y su plataforma de Sysweld, un software especializado para la simulación de tratamientos térmicos y soldadura, que cuenta con los módulos de Malla, Soldadura y Visualización, que permite predecir el proceso de tratamiento térmico empleando tecnología láser, el solver de Sysweld ofrece una solución automática de problemas de soldadura, cubriendo todas las matemáticas complejas relacionadas con la física y el material, dependiendo de la temperatura, fases presentes, proporción de los elementos químicos y térmicos, se computan los resultados micro estructurales y mecánicos.

### Dominio de la geometría

Uno de los objetivos de una simulación computacional es encontrar soluciones confiables y cercanas a la realidad, ocupando la menor cantidad de recursos disponibles, ya que

pueden presentarse limitantes tanto en hardware, software y tiempo, impidiendo realizar estudios en geometrías complejas o en operaciones innecesarias que no interfieren en los resultados. Se realizó un análisis de la geometría propuesta para este estudio, que consiste en una barra circular de gran longitud, la aplicación de la geometría completa no se justifica, por lo que se realizó un análisis en una geometría de un cuarto de sección es decir  $90^\circ$  y una de  $50^\circ$  de sección propuesta por Rockwood (2014), en la figura 2 se muestra un caso práctico para cada una de las geometrías, empleando los mismos parámetros y se compararon los resultados obtenidos de las simulaciones.



*Figura 2. Caso práctico, geometrías de  $50^\circ$  y  $90^\circ$  de sección, dos pasadas de láser en cada pieza. En colores se indica el porcentaje de concentración de martensita.*

### Diseño de experimentos

Una vez definida la geometría que se empleará en el estudio, se consideran los factores que intervienen en el proceso de temple láser, y una variable de respuesta adecuada que permita comparar cada uno de los experimentos, dentro de un arreglo ortogonal L9 de Taguchi que se ajustó perfectamente a las variables propuestas para el estudio.

### Factores

Para definir los factores que influyen en la uniformidad de la capa de martensita, se consideran las variables controlables dentro del software de Sysweld, y los estudios previos realizados por (S. Martínez et al., 2010), (Dong-Hyeon Kim y Choon-Man Lee, 2013), (Rockwood, 2014), (Lakhkar, Shin y Krane, 2009), donde para caracterizar adecuadamente el haz de luz láser se consideran los factores: Traslape de las trayectorias, velocidad de avance del spot láser, potencia y penetración del láser,

cada uno de ellos se analizó en tres niveles con el propósito de verificar la linealidad del efecto por factor.

### Traslape de las trayectorias del haz de luz láser

Por la necesidad de cubrir grandes áreas en piezas cilíndricas con un tratamiento térmico por láser, es imprescindible realizar múltiples pasadas en una trayectoria de avance, es decir una trayectoria traslapa en cierta medida a la anterior, se fijó el valor del diámetro del haz de luz láser en 3,4 mm típicamente usado en los estudios expuestos anteriormente.

Con el valor fijo del diámetro del haz de luz láser, el valor del traslape de las trayectorias mínimo es cero, mientras que el valor máximo será de 3,4 mm si se cruzan en su totalidad, en términos prácticos ningún valor extremo es útil, ya que con un traslape de cero la uniformidad de la capa endurecida será deficiente, y con un traslape total no existiría avance por superposición de las trayectorias.

Una limitación en la selección de los niveles del traslape es el tamaño del elemento de la malla, que en este caso es de 0,25 mm que determina la resolución de los valores, por lo tanto, si se define el dominio del traslape tendríamos {0,15; 0,4; 0,65; 0,9; 1,15; 1,4; 1,65; 1,9; 2,15; 2,4; 2,65; 2,9; 3,15; 3,4} como posibles valores, para la experimentación se toman los valores centrales 1,4; 1,9 y 2,4.

### Potencia del láser

El haz de luz láser es la fuente de calor que permite al material alcanzar la temperatura de austenización, dependiendo de la composición química del acero tendrá un rango específico de valores, se estudió el diagrama de fases del material a templar, y para el acero DP-W-600 el rango de temperaturas de austenización es de: [812° C, 1495° C]. [6]

Una vez determinado el rango de temperaturas, en una simulación del proceso de temple se ejecutan varios casos de estudios, variando únicamente el valor de la potencia, en el caso de Sysweld se expresa en términos de energía, de esta manera

se encuentran los valores mínimos y máximos de potencia, que garanticen que el material alcance la temperatura de austenización. El rango de potencia cuando se mantienen fijas las demás variables es: [64 J/mm, 70 J/mm].

### Velocidad del spot láser

La velocidad determina el avance que tendrá el láser cuando la pieza cilíndrica gira sobre su propio eje, para el estudio se emplearán velocidades reportadas en publicaciones de estudios relacionados, considerando un rango de valores entre 7 mm/s y 18 mm/s.

### Penetración del láser

La penetración se refiere a la capacidad del haz de luz láser de alcanzar una determinada profundidad, entre los valores reportados en estudios previos se tienen los valores de 1,25 mm, 1,50 mm y 1,75 mm, que mantiene la misma proporción de variación.

### Variable de respuesta

La variable de respuesta debe representar adecuadamente la uniformidad del perfil de la capa endurecida de un componente, y que dentro del diseño de experimentos permitirá comparar cada uno de los casos de estudio, la propuesta que se maneja en este documento se ilustra en la figura 3.

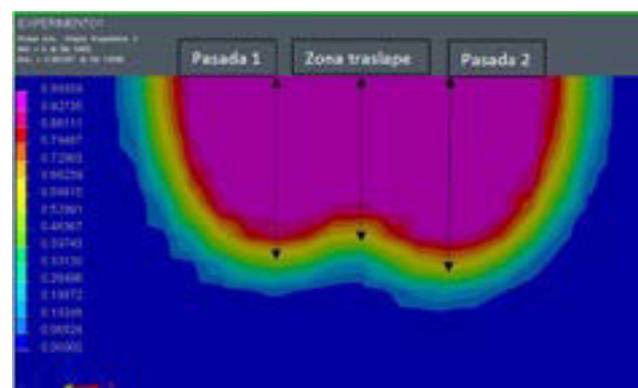


Figura 3. Definición de la variable de respuesta en el perfil de martensita con dos pasadas de láser.

La profundidad de la capa endurecida se mide hasta una concentración de martensita del 50 %, este espesor brinda las características de dureza superficial efectiva y se relaciona con el concepto de diámetro crítico de temple.

La profundidad de la capa endurecida de la segunda pasada del láser no es igual a la primera, esto se debe a que el software toma en cuenta aspectos multi-físicos y el calor acumulado en la pieza, el fenómeno presente en la pieza es el aumento de volumen [7], que representa la transformación de austenita a martensita y que depende del porcentaje de carbono a razón de:

$$\Delta V = 4,64 - 1,43 * (\% C)$$

La variable de respuesta tomará el nombre de índice de desempeño (ID) que se calcula dividiendo el promedio de la profundidad de las pasadas 1 y 2, menos la profundidad de la zona de traslape, entre el promedio de las pasadas 1 y 2, resultando valores entre cero y uno, los valores cercanos a cero representarán capas más uniformes.

## Resultados y Discusión

Una vez definidos los factores que intervienen en el proceso de temple láser con sus respectivos niveles, se completa la matriz de experimentos de la tabla 2, constituida por tres diseños de experimentos L9 de Taguchi con su respectiva variable de respuesta o índice de desempeño.

Los datos de la tabla 2 se analizaron en Minitab 17, para determinar el efecto de cada uno de los factores, figura 4, el traslape tiene el mayor efecto en la uniformidad de la capa de martensita, lo que se confirma con el cálculo del factor de influencia de cada factor, resultando : 89,60 % para el traslape, 4,50 % para la potencia, 5,69 % para la velocidad y la penetración 0,22 %

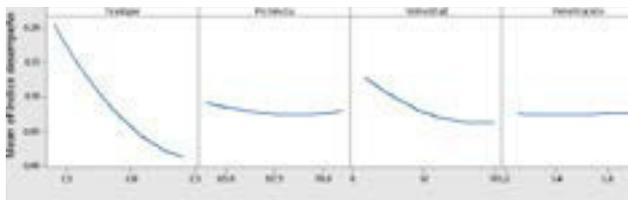


Figura 4. Efectos principales de cada factor

Teniendo en cuenta que cuando el índice de desempeño tiende a cero la capa endurecida resulta más uniforme, se determinan los valores de cada factor obteniendo el menor valor del índice de desempeño, el experimento 27 de la tabla 2 registra el mejor resultado, el experimento halla un valor óptimo de manera discreta, y no se descarta que existan valores en los cuales

se obtenga un resultado aún mejor, para tal efecto se usa la herramienta de optimización de respuesta dentro del paquete de Minitab 17, los resultados se muestran en la figura 5, donde se aprecia que mientras mayor es el traslape mejor es el resultado, la potencia alcanzaría un valor óptimo de 65,767 7 J/mm, la velocidad un valor de 13,888 9 mm/s y la penetración en su valor más bajo de 1,25 mm

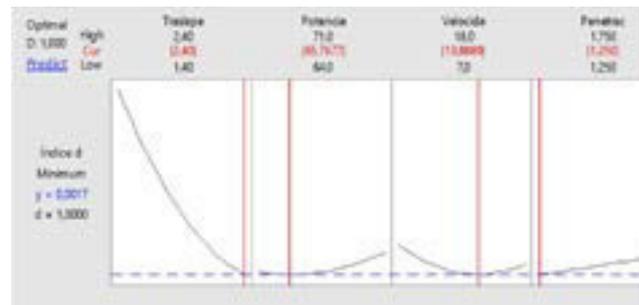


Figura 5. Optimización de la variable de respuesta en su valor mínimo.

Tabla 2. Matriz de experimentos

Experimento	Traslape mm	Potencia J/mm	Velocidad mm/s	Penetración mm	Índice de desempeño
1	1,4	64	8	1,25	0,2974
2	1,4	67	10	1,5	0,2264
3	1,4	70	12	1,75	0,1947
4	1,9	64	10	1,75	0,1344
5	1,9	67	12	1,25	0,0743
6	1,9	70	8	1,5	0,1081
7	2,4	64	12	1,5	0,0242
8	2,4	67	8	1,75	0,0478
9	2,4	70	10	1,25	0,0185
10	1,9	65	7	1,25	0,1339
11	1,9	68	10	1,5	0,0876
12	1,9	71	13	1,75	0,0730
13	2,15	65	10	1,75	0,0650
14	2,15	68	13	1,25	0,0474
15	2,15	71	7	1,5	0,0737
16	2,4	65	13	1,5	0,0212
17	2,4	68	7	1,75	0,0502
18	2,4	71	10	1,25	0,0235
19	1,9	64	12	1,25	0,0769
20	1,9	67	15	1,5	0,0681
21	1,9	70	18	1,75	0,0625
22	2,15	64	15	1,75	0,0516
23	2,15	67	18	1,25	0,0332
24	2,15	70	12	1,5	0,0402
25	2,4	64	18	1,5	0,0227
26	2,4	67	12	1,75	0,0207
27	2,4	70	15	1,25	0,0136

En el trabajo experimental de (Lakhkar et al., 2009) se realizó una comparación de los perfiles de dureza a lo largo de la zona tratada, variando únicamente el traslape de las trayectorias, los autores determinaron que el traslape afecta significativamente el perfil de dureza del material,

<sup>2</sup>Calculo del factor de influencia de los experimentos del 1 al 9 que corresponden a un solo DOE.

lo cual es comprobado en el presente trabajo, ya que la dureza en la capa superficial depende del porcentaje de martensita, y al tener capas uniformes se tendrá perfiles de dureza también uniformes.

Para predecir el fenómeno de uniformidad de la capa de martensita, se determina una ecuación de regresión con los factores significativos, para lo cual se genera un análisis de varianza que se muestra en la tabla 3.

Ecuación de regresión:

$$ID = 1,470 - 0,773 * T - 0,003 * P - 0,039 * V + 0,008 * T * V + 0,126 * T^2 + 0,0006$$

Siendo:

ID= Índice de desempeño

T= Traslape de las trayectorias del láser en (mm)

P= Potencia del láser (J/mm)

V= Velocidad del spot láser.

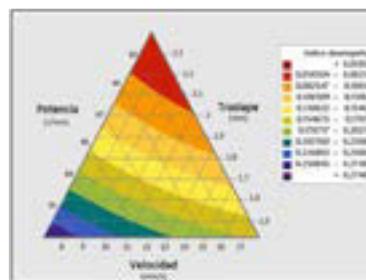
**Tabla 3. Análisis de varianza, generado en Minitab 17.**

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	6	0,119149	0,019858	168,15	0,000
Traslape	1	0,011974	0,011974	101,39	0,000
Potencia	1	0,001118	0,001118	9,47	0,006
Velocidad	1	0,003292	0,003292	27,88	0,000
Traslape*Velocidad	1	0,000936	0,000936	7,92	0,011
Traslape^2	1	0,004517	0,004517	38,25	0,000
Velocidad^2	1	0,001445	0,001445	12,24	0,002
Error	20	0,002362	0,000118		
Total	26	0,121511			

El análisis de varianza se lo realizó con un  $\alpha = 0,05$  y el resumen del modelo es: S = 0,0108672; R-sq =98,06%; R-sq(adj)= 97,47%; R-sq(pred)= 95,53%

En la industria automotriz y manufacturera existe una búsqueda permanente por mejorar y abaratar los costos de producción, en tal virtud un proceso debe acoplarse a cada producto y necesidad, para suplir esta necesidad se debe tener un control adecuado en el factor de mayor influencia, en este caso es el traslape de las trayectorias del láser, sin descuidar las demás variables significativas, por tal motivo se propone la utilización de un diagrama de proceso, figura 6, el cual involucre los tres factores significativos en una superficie de contornos que indiquen la variación del

índice de desempeño; de esta manera, si un componente mecánico requiere un índice de desempeño predeterminado, se pueden conseguir la combinación de factores adecuados para cada necesidad, el ingeniero encargado del proceso de temple, seleccionará los niveles necesarios en cada factor con la ayuda del diagrama ternario de factores garantizando que se cumplan los requerimientos del proceso, al menor costo posible.



**Figura 6. Diagrama ternario de factores, las capas de colores indican los rangos de ID.**

## Conclusiones

Dentro de los límites propuestos en el diseño de experimentos no se obtiene un ID de cero, es decir una capa de martensita completamente uniforme, pero se logra determinar una combinación de factores con un valor óptimo que permitiría una capa endurecida más uniforme.

El factor más importante es el traslape de las trayectorias de láser, aquí se debe considerar que mientras mayor es el traslape menor será el avance, un mayor número de pasadas del láser se requerirá para cubrir una superficie determinada, lo que genera el aumento del costo del proceso, es aquí donde el uso del diagrama ternario de factores toma relevancia, ya que se pueden obtener los mismos resultados con un traslape menor.

Si bien no se obtiene una capa endurecida totalmente uniforme, este estudio abre las puertas a la investigación para el desarrollo de nuevas propuestas en el uso del láser en tratamientos térmicos superficiales, variando diámetros del spot láser o trabajando en un sistema de barrido, que se complementarían en la práctica y experimentación con el desarrollo de la máquina especializada para el temple de superficies cilíndricas.

## Referencias

- [1]. S. Martínez, E. Ukar, A. Lamikiz (2010). Simulación del proceso de temple por láser en piezas de geometría compleja. XVIII Congreso Nacional de Ingeniería Mecánica. España.
- [2]. Rockwood Iglesias, Robert (2014). Tesis de Maestría, Simulación computacional del proceso de temple de los muñones de cigüeñales utilizando tecnología láser. Toluca Estado de México, México, Tecnológico de Monterrey.
- [3]. Steen, W., & Mazunder, J. (2012) Laser material processing, cuarta edición, Nueva York, EEUU. Springer
- [4]. Dong-Hyeon Kim, Choon-Man Lee. (2013). A study of cutting force and preheating-temperature prediction for laser-assisted milling of Inconel 718 and AISI 1045 steel. Heat and Mass transfer
- [5]. Lakhkar, R. S., Shin, Y. C., & Krane, M. J. M. (2008). Predictive modeling of multi-track laser hardening of AISI 4140 steel. Materials Science and Engineering A 480(2008) 209-217.
- [6]. McCallum, Brent, "Characterization of DP600 Steel Subject to Electrohydraulic Forming" (2014). Electronic Theses and Dissertations. Paper 5173.
- [7]. A.S.M. Handbook, Heat treating. ASM international (1991) p. 19
- [8]. ESI Group, (2008). Sysweld Welding Simulation User's Guide. Paris, Francia.

## Biografía



<sup>1</sup>Milton Israel Quinga Morales, Ingeniero Automotriz, Maestro en Ingeniería Automotriz por el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Docente a tiempo completo de la Facultad de

Mecánica, Escuela de Ingeniería Automotriz de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.



<sup>2</sup> Paul Alejandro Montufar Paz, Ingeniero Automotriz, Maestro en Ingeniería Automotriz por el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Docente a tiempo completo de la Facultad de Mecánica, Escuela de Ingeniería Automotriz de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.



<sup>3</sup> Vicente Javier Romero Hidalgo, Ingeniero Automotriz, Master Universitario en Ingeniería Mecánica por la Universidad Politécnica de Madrid, Docente a tiempo completo de la Facultad de Mecánica, Escuela de Ingeniería Automotriz de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.



<sup>4</sup> Bolívar Alejandro Cuaical Angulo, Ingeniero Automotriz, Magister en Gestión de Energías por la Universidad Técnica de Cotopaxi, Docente a tiempo completo de la Facultad de Mecánica, Escuela de Ingeniería Automotriz de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

### REGISTRO DE LA PUBLICACIÓN

Fecha recepción	2 octubre 2017
Fecha aceptación	18 diciembre 2017

**SISTEMA BIFUEL ALTERNATIVO GNV/DIESEL****ALTERNATIVE BIFUEL SISTEM GNV/DIESEL**

Ramos Jinez Alex Javier<sup>1</sup>, Romero Guano Néstor Aníbal<sup>2</sup>, León Almeida Jaime Eduardo<sup>3</sup>, Quiroz Erazo Leonidas Antonio<sup>4</sup>, Lozada Pilco Jonathan Samuel<sup>5</sup>, Suárez Castro Alexander Rafael<sup>6</sup>, Salinas Adriana<sup>7</sup>

<sup>1,3</sup> Unidad de Gestión de Tecnologías de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Latacunga

<sup>2,4</sup> Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Quijano y Ordoñez y Marques de Maenza s/n

<sup>5</sup> Americantruck, Quito

<sup>6</sup> Escuela de Conducción Profesional ESPE, Latacunga

<sup>7</sup>KIA Motors - Latacunga

e-mail: <sup>1</sup>ajramos@espe.edu.ec, <sup>2</sup>naromero@espe.edu.ec, <sup>3</sup>jeleon2@espe.edu.ec, <sup>4</sup>laquiroz@espe.edu.ec <sup>5</sup>jhon.lozada@americantruckecuador.com, <sup>6</sup>arsuarez@espe.edu.ec

*Revista Energía Mecánica Innovación y Futuro VI Edición 2017, No.1 (19)*

**Resumen**

El proyecto consiste en la implementación de un sistema Bifuel GNV/Diesel de acuerdo a la Normativa Técnica Ecuatoriana vigente, con combustible alternativo, de tal manera de determinar la incidencia de este carburante en las emisiones, producto de los procesos de combustión y rendimiento mecánico del motor de combustión interna ciclo Diesel. La implementación del sistema se realiza mediante la adaptación de componentes mecánicos y electrónicos, en el sistema de alimentación y gestión electrónica. El sistema bifuel está constituido por un sistema neumático de alta y baja presión, controlados a partir de la gestión electrónica de combustible del sistema de alimentación GNV/Diesel, mediante sensores, actuadores y módulos de control. Una vez instalado el sistema en el vehículo, se realizan pruebas de funcionalidad, análisis de emisiones, pruebas dinámicas y pruebas de ruta, en condiciones estándar y con la implementación del sistema Bifuel GNV/Diesel. La implementación del sistema Bifuel disminuye la emisión de gases contaminantes y niveles de opacidad, contribuyendo al medio ambiente y optimizando el rendimiento del motor en parámetros de torque y potencia

**Palabras Clave:**

Sistema bifuel, GNV/Diesel, emisión de gases – opacidad.

**Abstract**

The project consists of the implementation of a Bifuel GNV/Diesel system in accordance with the current Ecuadorian Technical Regulations, with alternative fuel, in order to determine the incidence of this fuel in the emissions, product of the combustion processes and mechanical performance of the Internal combustion engine Diesel cycle. The implementation of the system is carried out through the adaptation of mechanical and electronic components, in the power supply and electronic management system. The bifuel system is constituted by a pneumatic system of high and low pressure, controlled from the electronic fuel management of the GNV/Diesel power system, by means of sensors, actuators and control modules. Once the system is installed in the vehicle, functionality tests, emission analysis, dynamometer tests and road tests are performed under standard conditions and with the implementation of the Bifuel GNV/Diesel system. The implementation of the Bifuel system reduces the emission of polluting gases and levels of opacity, contributing to the environment and optimizing the performance of the engine in torque and power parameters.

**Keywords:**

Bifuel system, GNV/Diesel, emission of gases – opacity.

## 1. INTRODUCCIÓN

El funcionamiento del sistema GNV/Diésel consiste en adaptar un actuador en el múltiple de admisión del motor que proporcione la cantidad adecuada de GNV, esta mezcla de GNV-Aire ingresa a la cámara de combustión por aspersión donde es comprimida por el ascenso del pistón; a continuación ingresa diésel a alta presión por el inyector lo que ocasiona la combustión del GNV/Diésel, generando el trabajo del motor.

Para la implementación del sistema GNV/Diésel es necesario analizar los parámetros de funcionamiento del vehículo, y de ésta manera seleccionar los componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos que garanticen la conversión; considerando normas de conversión, instalación y seguridad, mediante una calibración que permita poner a punto el motor, de tal manera que garantice la funcionalidad y operatividad del sistema bifuel.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### Componentes del sistema Bifuel

Los componentes, tanto mecánicos, eléctricos y electrónicos, del sistema bifuel se dividen en diferentes tipos, entre los que se destacan sensores, actuadores, componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos.



*Figura 1. Componentes del sistema bifuel*

### Sensores

Los sensores que intervienen en el sistema bifuel GNV/Diesel son TPS, CKP y EGO.

El TPS (Sensor de posición de la mariposa del acelerador) es un sensor tipo potenciómetro compuesto por tres cables, el de alimentación, el de señal y el de masa.

El CKP (Sensor de posición del cigüeñal) es un sensor de tipo inductivo compuesto por dos cables, que generan una señal de voltaje alterno.

EL EGO (Sensor de oxígeno) es un sensor de tipo piezoeléctrico, compuesto por zirconio y el mismo al contacto con el oxígeno generan una reacción química y por lo tanto un voltaje que va desde 0.1 a 0.9 V. [1]

### Actuadores

Los principales actuadores que intervienen en el sistema de conversión dual GNV/Diésel son los inyectores de gas que son los encargados de proporcionar la cantidad adecuada de gas en la admisión del vehículo para su posterior combustión, solenoides que complementan la parte electrónica del sistema. [1]



*Figura 2. Inyectores GNV.*

El regulador de presión es el encargado de mantener la presión del gas en el sistema, además de proporcionar la presión adecuada para el correcto funcionamiento del sistema GNV/Diesel.



*Figura 3. Regulador de presión.*

La función principal del reductor de presión es reducir la presión del GNC contenido en el cilindro y dosificar la salida del mismo hacia los inyectores.

Para esto se requiere de tres etapas; la primera etapa reduce los 200 bares de presión con los que el GNC sale del tanque a una presión

aproximada de 3.5 bares, esto se logra mediante un conjunto resorte diafragma; el gas natural pasa por un agujero calibrado y se conecta con la segunda etapa en la que la presión se reduce a 1.5 bares de igual manera con un mecanismo resorte diafragma; en la tercera etapa se realiza un proceso similar a los anteriores con la particularidad que con la ayuda de un balancín y válvulas deja salir del regulador cierta presión se transforma en un caudal constante.

En el regulador de presión también actúa un circuito de agua, que tiene como principio, calentar el reductor, principalmente donde circula el caudal de GNC, a fin de evitar que la descompresión de éste provoque un congelamiento de las partes móviles del reductor. [2]

La válvula de carga está compuesta por un cuerpo principal y por un sistema de control manual de cierre y apertura circuito de gas natural comprimido, además de permitir la carga o abastecimiento de GNC desde las estaciones de carga. [3]



Figura 4. Válvula de carga

### Adaptación mecánica

“Los cilindros a instalar en el vehículo deben estar contruidos para operar a una presión normal de 20 MPa (200 bar), estar aprobados por la entidad competente y una vez instalados, no ser modificados ni alterados.” [4]

“En cilindros de hasta 110 kg de tara los sunchos de sujeción deben tener un ancho mínimo de 30 mm y un espesor de 3 mm.” Por lo tanto se adquirió platina de ¼ de pulgada para realizar la estructura del soporte donde va ubicado el cilindro. [5]

Las platinas están fijadas al balde de la camioneta mediante pernos de sujeción, las mismas que envuelven al cilindro para que éste quede fijo

colocando entre el tanque y las platinas una protección de caucho para evitar el desgaste por fricción entre los componentes. [1]



Figura 5. Cilindro GNV.

Para el primer llenado, el cilindro de GNV, debe ser aspirado o dado una sustitución de nitrógeno para disipar el aire en el cilindro. Al menos 0.1 MPa de presión debe permanecer en el cilindro antes del relleno. Un cilindro de GNV llenado al máximo, debe estar mantenido lejos de fuentes de calor, rayos del sol directas y debe estar al menos 10 metros lejos de la flama.

Para tener una operatividad óptima con gas natural es necesario comprimir el gas natural hasta un máximo de 200 bares y después proceder al llenado. Por lo tanto los cilindros de almacenamiento deben ser muy resistentes para soportar tan elevadas presiones. [1]

“Las tuberías para la conducción de GNCV deben seguir el recorrido práctico más corto, entre los cilindros y el mezclador, compatibles con su flexibilidad, y deben ser protegidas contra daños o roturas debido a choques, esfuerzos excesivos o desgaste por rozamiento. Las tuberías deben ser encamisadas cuando resulte necesario. (h.1) Es recomendable que la ruta de la tubería siga la ruta de la línea de gasolina o línea de frenos original.”

De acuerdo a lo citado anteriormente, la cañería de alta presión en la camioneta está instalada junto a la línea de combustible de la misma. [6]

### Adaptación electrónica

La llave conmutadora es una parte esencial en los motores que funcionan con sistema dual. Es la encargada de realizar el cambio de tipo de combustible cuando el sistema está en condiciones adecuadas para su correcto funcionamiento con GNV.



Figura 6. Llave conmutadora. [1]

La unidad electrónica de control es la encargada de generar los pulsos para la inyección del GNV en el sistema de admisión, la inyección va en función de los parámetros de lectura de los sensores del vehículo, en este caso según los valores del TPS y del sensor de revoluciones del motor.

Dentro de las principales características técnicas de la unidad de control electrónica se tiene: control preciso de la relación aire-combustible según la velocidad del motor, puede leer la información original del vehículo y los códigos OBD de avería, ajuste en tiempo real de la relación aire-combustible, adecuado para motores de 4 a 6 cilindros, función de diagnóstico automático, en caso de mal funcionamiento o falta de GNC.



Figura 7. Unidad electrónica de control. [1]

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### Análisis técnico de la instalación del sistema bifuel

En este punto se analizan los cambios presentados de torque y potencia de la camioneta antes y después de la instalación del sistema alternativo bifuel GNV/diésel

Tabla 1 Análisis variación de torque y potencia

	Combustible Convencional	Sistema alternativo bifuel GNV/diésel
Torque máximo (Nm)	235,10	359,70
Potencia máxima (HP)	107,4	118

La tabla 1 muestra los datos de torque y potencia del vehículo en dependencia del combustible con el que está operando, los datos fueron obtenidos de forma experimental con la realización de las pruebas dinamométricas.

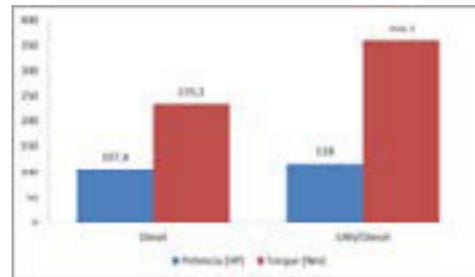


Figura 8 Variación de potencia y torque

Se determinó que el torque aumento en un 52,99 % y la potencia se incrementó en un 9,86 %.

#### Análisis económico de la instalación del sistema bifuel.

Para la realización del análisis económico es necesaria la comparación de los costes de operación de la camioneta con combustible convencional con los costes funcionando con el sistema alternativo bifuel GNV/diésel. [1]

En primer lugar se calcula el costo por kilómetro de recorrido de la camioneta funcionando con combustible convencional.

$$C_{100} = K_s * Costo \quad [1]$$

Ecuación 1 Costo de operación con diésel por cada 100 km [1]

Siendo:

$$C_{100} = Costo \text{ por } 100 \text{ km de recorrido}$$

$$K_s = Consumo \text{ de combustible } \left[ \frac{L}{100 \text{ km}} \right]$$

$$Costo = precio \text{ del combustible por galón}$$

Reemplazando datos en la ecuación 1 se tiene:

$$C_{100} = 4,36 \left[ \frac{L}{100 \text{ km}} \right] * \$ 1,037$$

$$C_{100} = 4,52 \left[ \frac{\$}{100 \text{ km}} \right]$$

Lo que significa que por cada 100 km de recorrido la camioneta gastara 4,52 dólares de los Estados Unidos de América.

A continuación se calcula el costo por kilómetro de recorrido de la camioneta funcionando con el sistema alternativo bifuel GNV/diésel.

$$C_{100} = K_s \text{ diesel} * \text{Costo 1} + K_s \text{ GNC} * \text{Costo 2} \quad [2]$$

Ecuación 2 Costo de operación bifuel por cada 100 km [1]

Siendo:

$$C_{100} = \text{Costo por 100 km de recorrido}$$

$$K_s \text{ diesel} = \text{Consumo de combustible diesel} \left[ \frac{L}{100 \text{ km}} \right]$$

$$K_s \text{ GNC} = \text{Consumo de combustible} \left[ \frac{Kg}{100 \text{ km}} \right]$$

Costo 1 = precio del diesel por galón

Costo 2 = precio del GNC por kilogramo

Lo que significa que por cada 100 km de recorrido con el sistema bifuel la camioneta gastara 4,26 dólares de los Estados Unidos de América.

Por lo tanto con los datos obtenidos, se puede realizar el cálculo de kilómetros necesarios para recuperar la inversión.

$$A_i = C_{100} \text{ Convencional} - C_{100} \text{ Dual} \quad \text{Ecuación 1 Cálculo de ahorro por 100 km [1]}$$

Dónde:

$A_i$  = Ahorro por cada 100 km

$$C_{100} \text{ Dual} = \text{Costo por cada 100 Km dual} \left[ \frac{\$}{100 \text{ km}} \right]$$

$$C_{100} \text{ Convencional} = \text{Costo por cada 100 Km convencional} \left[ \frac{\$}{100 \text{ km}} \right]$$

Reemplazando los datos en la ecuación 3 se tiene:

$$A_i = C_{100} \text{ Convencional} - C_{100} \text{ Dual}$$

$$A_i = 4,52 \left[ \frac{\$}{100 \text{ km}} \right] - 4,26 \left[ \frac{\$}{100 \text{ km}} \right]$$

$$A_i = 0,26 \left[ \frac{\$}{100 \text{ km}} \right]$$

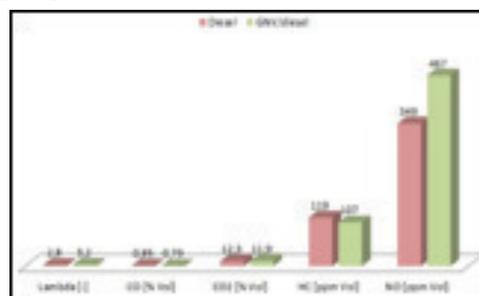
Lo que indica que por cada 100 km se tendrá un ahorro de \$ 0,08 y por lo tanto se puede realizar la tabla 6 que indica el ahorro en torno a los kilómetros recorridos.

**Tabla 2 Ahorro por kilómetros recorridos**

Kilómetros recorridos	Ahorro
20000	\$ 52
25000	\$ 65
40000	\$ 104
50000	\$ 130
75000	\$ 195
100000	\$ 260

### **Análisis ambiental de la instalación del sistema bifuel.**

Finalizadas las pruebas de emisión de gases en la camioneta, con el sistema bifuel GNV/diésel y con combustible convencional, se obtuvo datos veraces del comportamiento del motor, lo que permite realizar una comparación y análisis de parámetros tales como opacidad, gases contaminantes; con las dos formas de operación del motor.



**Figura 9 Comparación emisión de gases**

En la figura 9 se aprecia la variación de los parámetros de emisión de gases entre el funcionamiento del motor con diésel y con el sistema GNV/diésel.

Se nota claramente un aumento de 14,29 % en el factor lambda, lo cual indica que el sistema bifuel trabaja con una mezcla rica para la combustión.

La emisión de óxido de carbono es menor cuando el motor trabaja con el sistema bifuel, aquí se tiene una reducción de 7,06 % en este parámetro.

En cuanto a la emisión de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) hay una disminución de 2,91 % cuando el motor trabaja con el sistema GNV/diésel. Reduciendo así la emanación de este gas de efecto invernadero.

La emisión de hidrocarburos (HC) se reduce en 10,08 % cuando el motor trabaja con el sistema bifuel. Se obtiene la disminución de otro parámetro importante de contaminación y contribuye al medio ambiente.

Finalmente, hay un parámetro que aumenta, en la emisión de óxido de nitrógeno (NO) se ve un incremento de 33,81 % cuando está en funcionamiento el sistema GNV/diésel. Estos gases son degradados inmediatamente en la atmósfera al reaccionar con otras sustancias que por lo general están presentes en el aire.

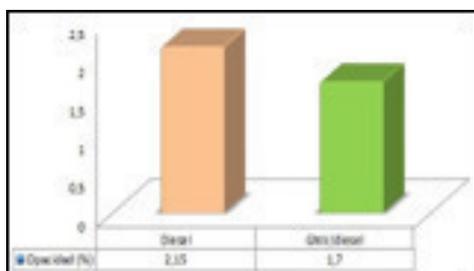


Figura 10 Porcentaje de opacidad

El porcentaje de opacidad es menor cuando el motor trabaja con el sistema bifuel GNV/diesel, se muestra claramente una reducción de 0,45 % de este parámetro.

#### 4. CONCLUSIONES

Con la implementación del sistema alternativo bifuel GNV/diesel se consiguió mejorar los parámetros de rendimiento del motor del vehículo, logrando un aumento del 52,99 % del torque y un 9,86 % de potencia.

Se observó una disminución del 0,45 % de la opacidad del motor del vehículo cuando éste opera con el sistema alternativo bifuel GNV/diesel, en comparación a su funcionamiento con diesel.

Se determinó que las emisiones de hidrocarburos (HC) se redujeron en 10,08 % cuando el motor funciona con el sistema alternativo bifuel lo que permite disminuir la emanación de gases contaminantes al medio ambiente.

Las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) reflejan una disminución de 2,91 % cuando el motor trabaja con el sistema alternativo bifuel GNV/diesel, aportando a la disminución del efecto invernadero que es generado por estos subproductos de la combustión de los motores alternativos.

Se consiguió una disminución del 7,06 % de las emisiones de óxido de carbono (CO) lo que

contribuye a mejorar la calidad del aire, y por lo tanto brinda aportes medioambientales.

La implementación del sistema es viable en cuanto a términos medioambientales, puesto que todas las emisiones disminuyen, excepto el NO<sub>x</sub> que aumenta; en cuanto al rendimiento del vehículo, tanto el torque como la potencia, presentan un aumento lo que es favorable para el proyecto.

#### REFERENCIAS

- [1] León Almeida, J. E., & Ramos Jinez, A. J. (2017). Sistema Bifuel alternativo GNV/diesel en la camioneta Chevrolet Luv D-Max de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga (Bachelor's thesis, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga. Carrera de Ingeniería Automotriz.).
- [2] Alvarez Borrero, S. R., & Jaramillo Chamba, T. R. (2016). Eficiencia y rendimiento del combustible gas natural comprimido (GNC) en un motor a inyección didáctico (Bachelor's thesis, Universidad del Azuay).
- [3] Molina, P., Darío, S., Granja, C., & William, R. (2006). Análisis de factibilidad para la aplicación del "gas natural comprimido GNC" vehicular como combustible alternativo en motores a gasolina en el Ecuador (Bachelor's thesis, LATACUNGA/ESPE/2006).
- [4] Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2009). Vehículos Automotores. Funcionamiento de Vehículos Automotores con GNCV. Instalación de equipos completos en Vehículos con gas natural vehicular (GNVC). Requisitos. Quito.
- [5] Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2009). VEHÍCULOS AUTOMOTORES. FUNCIONAMIENTO DE VEHÍCULOS AUTOMOTORES CON GNCV. INSTALACIÓN DE EQUIPOS COMPLETOS EN VEHÍCULOS CON

GAS NATURAL VEHICULAR (GNCV). REQUISITOS. En INEN, NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 2488:2009 (pág. 18). Quito.

- [6] Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2011). DISPOSITIVOS DE SUJECCIÓN PARA CILINDROS EN VEHÍCULOS CON GAS NATURAL VEHICULAR (GNCV). REQUISITOS E INSPECCIÓN. En INEN, NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 2591:2011. Quito.

## 6. BIOGRAFÍA



<sup>1</sup>Alex Javier Ramos Jinez, nació en la ciudad de Ambato-Ecuador. Ingeniero Automotriz Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE – Latacunga, Docente a tiempo completo en la Unidad de Gestión de Tecnologías de la Universidad de las Fuerzas Armadas.



<sup>2</sup>Néstor Aníbal Romero Guano, nacido en Pujilí Ingeniero Automotriz, Magister en gestión de Energías, Diploma Superior en Autotrónica, Diploma Superior en Gestión para el Aprendizaje Universitario. Director Administrativo (E) de la Escuela de Conducción Profesional ESPE. Docente de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga.



<sup>3</sup>Jaime Eduardo León Almeida, nació en la ciudad de Quito-Ecuador. Ingeniero Automotriz de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE - Latacunga, Docente a tiempo completo en la Unidad de Gestión de Tecnologías de la Universidad de las Fuerzas Armadas.



<sup>4</sup>Leonidas Antonio Quiroz Erazo, nació en Latacunga, Ingeniero Automotriz, Magister en gestión de Energías, Diploma Superior en Autotrónica, Diploma Superior en Gestión para el Aprendizaje Universitario. Jefe de Laboratorio de Mecánica de Patio, Planificador Académico Decem, Docente del área de conocimiento de Energía y Termofluidos, Procesos de Manufactura, Sistemas Automotrices, Especialista en Autotrónica y Electrónica del Automóvil, Mantenimiento Automotriz y Organización y Administración de Talleres de Servicio Automotriz.



<sup>5</sup>Jonathan Lozada Pilco, nació en la ciudad de Quito-Ecuador. Ingeniero Automotriz Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE – Latacunga, Líder de garantías y servicio técnico en Americantruck.



<sup>6</sup>Alexander Rafael Suarez Castro, nació en la ciudad de Ibarra. Ingeniero Automotriz Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE – Latacunga, Docente en la Escuela Conducción Profesional ESPE.

<sup>7</sup>Salinas Adriana, Ingeniera Automotriz de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Asesor Técnico Comercial en KIA Motors, presta servicios y asesoramiento en sistemas automotrices.

### REGISTRO DE LA PUBLICACIÓN

Fecha recepción	10 octubre 2017
Fecha aceptación	22 diciembre 2017

# **PROGRAMACIÓN DE MÓDULO DE CONTROL PANDOO EN EL VEHÍCULO SUZUKI 1300, PARA ELEVAR LOS PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DEL MOTOR DE ENCENDIDO POR CHISPA**

## **PROGRAMMING THE PANDOO CONTROL MODULE ON THE SUZUKI 1300 VEHICLE, TO RAISE THE CHARACTERISTIC PARAMETERS OF THE SPARK IGNITION ENGINE**

Carlos David Escola Viñan<sup>1</sup> Washington Germán Erazo<sup>2</sup> Danilo Zambrano León<sup>3</sup> Luis Molina Molina<sup>4</sup>

<sup>1234</sup> Universidad de Fuerzas Armadas ESPE – Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica, Carrera de Ingeniería Automotriz, Quijano y Ordoñez y Marques de Maenza s/n.

e – mail : <sup>1</sup> cdescola1@espe.edu.ec , wgerazo@espe.edu.ec, vdzambrano@espe.edu.ec, lamolina@espe.edu.ec

*Revista Energía Mecánica Innovación y Futuro VI Edición 2017, No.1 (19)*

### **Resumen**

La investigación presenta los resultados de la implementación de una computadora programable para la optimización de los parámetros característicos del motor de combustión interna 1.3 litros del vehículo Suzuki 1300.

Los parámetros de inyección de combustible y avance al encendido son modificados en tiempo real a través de una PC conectado al módulo de control Pandoo mediante un cable USB con el software.

Las correcciones de tiempos de inyección y ángulos de avance al encendido se modificó considerando las señales de los sensores de: posición de la mariposa del estrangulador (TPS), presión absoluta en el múltiple de admisión (MAP), la velocidad de giro del cigüeñal (CKP), la temperatura del aire (IAT), del refrigerante del motor (ECT). Finalmente se establece la variación de torque y potencia obtenidos al realizar pruebas estándar y modificadas.

### **Palabras Clave:**

Programación, mapeo de inyección, mapeo de ignición, torque, potencia.

### **Abstract**

The research presents the results of the implementation of a programmable computer for the optimization of the characteristic parameters of the 1.3-liter internal combustion engine of the Suzuki 1300.

The parameters of the fuel injection and ahead of the ignition are modified in real time through a PC connected to the Pandoo control module by means of a USB cable with the software.

Corrections of injection times and feed angles on are modified Observation of sensor signals: throttle throttle position (TPS), absolute pressure in the intake manifold (MAP), speed of rotation of the CKP crankshaft), air temperature (IAT), engine coolant (ECT). Finally the variation of torque and power is established standard and modified tests are performed

### **Keywords:**

Programming, injection mapping, ignition mapping, torque, power

### 1. Introducción

En el ámbito deportivo automotriz las exigencias por parte de los conductores y los equipos sobre el mejoramiento de los parámetros característicos del motor en torque y potencia han ido creciendo considerablemente.

El sistema electrónico de inyección tiene una unidad electrónica de control (ECU), que almacena las señales provenientes de los sensores instalados en los diferentes subsistemas del motor donde reciben información tales como: temperatura y presión atmosférica, contenido de oxígeno en los gases de escape y las posiciones del cigüeñal medidas en rpm, la posición de la mariposa de aceleración medida en porcentaje. En función de esta información, la ECU basándose en métodos de control inteligente grabados o incorporados, genera las órdenes para los actuadores. [1]

La investigación trató de la reprogramación de módulos de control con la mejora del rendimiento del motor sin ningún cambio o trucaje mecánico.

### 2. Materiales y Métodos

En la investigación se utiliza los siguientes métodos:

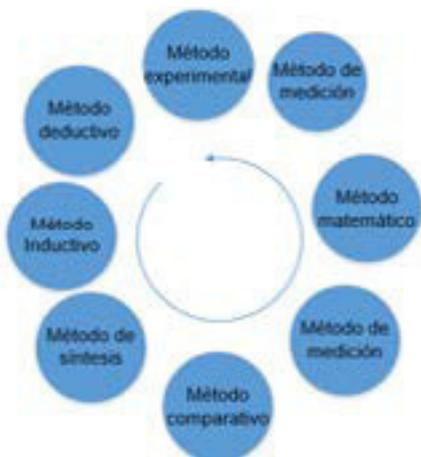


Figura 1 Metodología de investigación

Los sensores son los encargados de enviar las distintas señales a el módulo de control programable Pandoo acerca del estado de funcionamiento del motor, con la finalidad de optimizar la cantidad de combustible que requiere el motor a diferentes regímenes. [2]

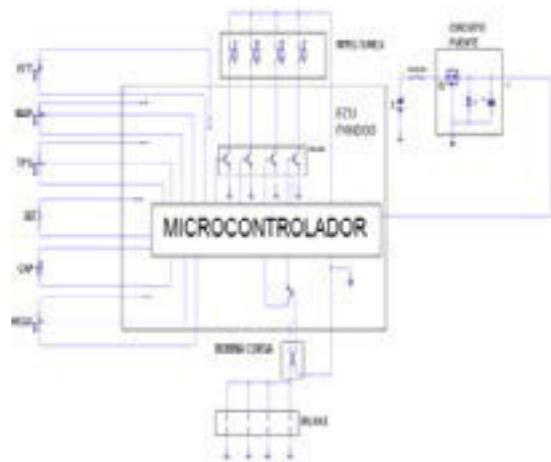


Figura 2 Esquema de conexión Pandoo

Para administrar los estados transitorios (positivos o negativos) resulta ventajoso para la ECU determinar la posición física inicial y final de la mariposa de aceleración, con la posibilidad de determinar exactamente la cantidad de combustible que se va a inyectar. En los sistemas de inyección que no poseen potenciómetro para el seguimiento de la posición de la mariposa, la gestión de los estados transitorios la realiza la ECU basándose en la variación de lectura del flujo de aire. [3]



Figura 3 Sensor TPS (Hayabusa)

El sensor MAP viene incorporado en el módulo de control Pandoo. Ver figura 3.



Figura 4. Sensor MAP integrado

El sensor CKP de la figura 4, se monta a una distancia mínima de 1.7mm a la rueda fónica. Cuando el diente de referencia de la rueda fónica se mueve cerca de la cara del extremo del sensor, influyen en el campo magnético con respecto a su magnitud y su dirección. [4]



Figura 5. Sensor CKP

El sensor de temperatura de aire utiliza un alambre-caliente que al ser enfriado según el flujo de aire en el múltiple de admisión el voltaje del amplificador aumenta, esto quiere decir que cambia su resistencia cuando este se enfría, siendo un termistor de tipo NTC. [5]



Figura 6. Sensor IAT

El mapa es la configuración del sistema de inyección para la regulación de la mezcla aire – combustible. Es similar a un gráfico de eje X y eje Y, el eje X tiene sentido de izquierda a derecha, mientras que el eje Y tiene sentido de arriba hacia abajo. En cada punto la computadora da la señal a los inyectores de que hacer en una situación específica, con la combinación de velocidad del motor y demanda de torque. Normalmente, la computadora usa un mapa numérico o un mapa de tres dimensiones para determinar cuánto combustible debe entregar o cual será el avance al encendido. [6]

Se observa en la figura 6, que al realizar el mapeo por inyección se configura la curva dimensional del tiempo de inyección con respecto a la variación

de depresión en el múltiple de admisión, y así llegar a una curva afinada con respecto a la que proporciona el fabricante.

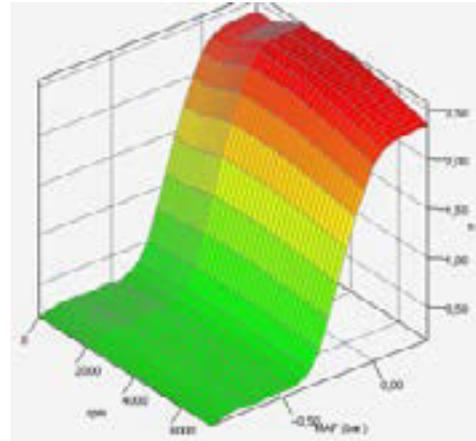


Figura 7 Mapa de inyección

En la figura 7, el mapa tridimensional de avance al encendido, es sencillo observar como no tiene una superficie muy pareja o suave, que por lo tanto está sujeta a una afinación de curva con respecto a dicha corrección.

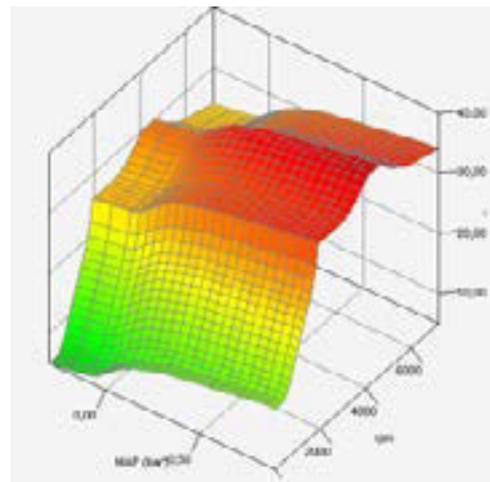


Figura 8. Mapa de ignición

La programación de Pandoo se realiza mediante mapas dimensionales.[8]

Para calibraciones de inyección se rectifica la curva según las necesidades del conductor en este caso las prestaciones de alto rendimiento ya que en competencias de automovilismo es necesaria una mayor potencia a altas revoluciones (rpm).

En la figura 8, el tiempo de inyección (ms) se corrige a la variación de presión de admisión (bar) que ocurre al cambiar de marcha.[9]

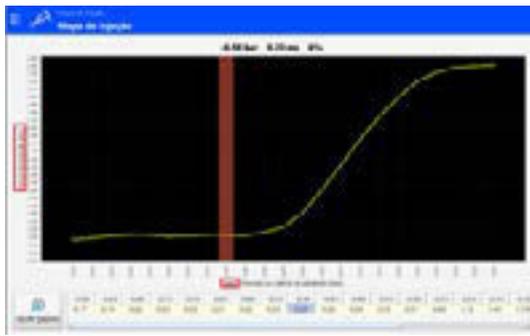


Figura 9. Mapa de inyección

En la figura 9 se observa que, a bajas revoluciones, donde el sensor MAP presenta lecturas de -0,50 bar a - 0,65 bar, se modifica punto por punto con la finalidad de aumentar el combustible, este proceso afina al motor a ralentí.

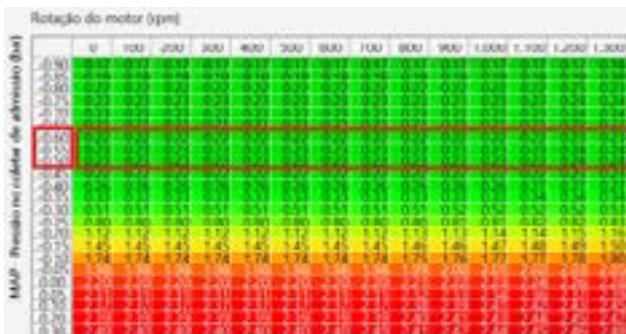


Figura 10. Tiempo de inyección vs presión

En la figura 10, para altas revoluciones el nivel de economía de combustible será óptimo con la finalidad de una mayor potencia, esto se logra con una corrección de menos un 5% en toda la curva a partir de - 0,65 bar hasta -0,90 bar.

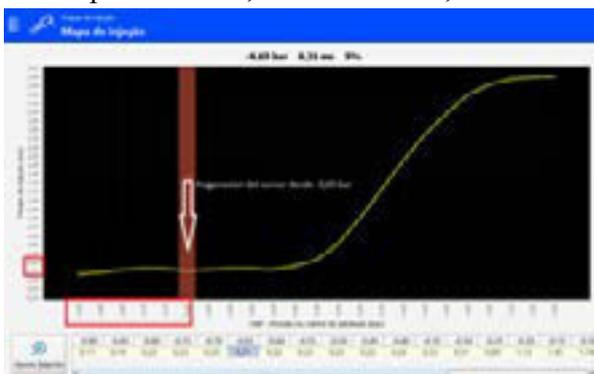


Figura 11. Corrección a baja presiones.

En la figura 11, el tipo de ajuste es de un 5% desde el lugar donde se parametrize con el cursor, el software nos muestra tres parámetros como modificar hacia atrás, toda la gráfica desde -0,90 bar hasta 0,30bar, y hacia el frente. Todo esto se varió respecto a las portaciones del motor acorde a la necesidad de los investigadores.

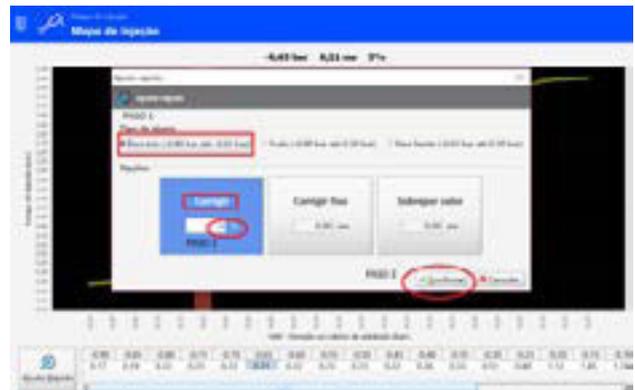


Figura 12. Correcciones en porcentajes

Para la calibración a el avance de encendido, se realiza las correcciones de carga de la bobina con la finalidad que a partir de 1000 rpm se combustione mejor la gasolina.

En la figura 12, las modificaciones correspondientes a partir 1000 rpm se configura la carga de la bobina a 3,8 ms, y posteriormente a partir de 2000 rpm la carga de la bobina será de 3,9 ms.

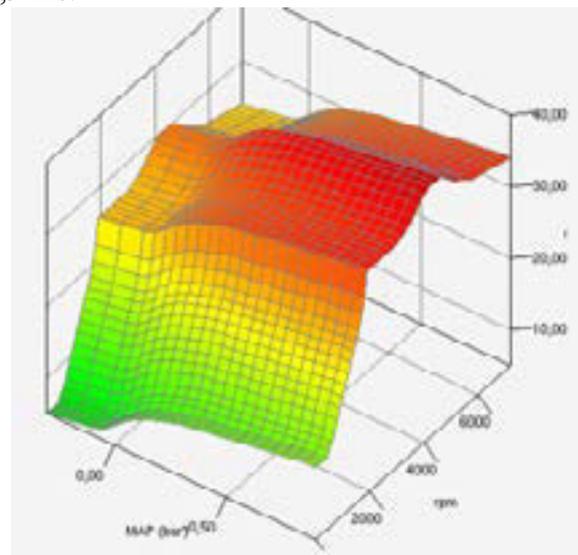


Figura 13. Mapa de ignición.

Desde los 180 a 230 después del PMS la combustión debería finalizar para tener mayor fuerza de los gases combustionados, ya que todo combustible se quema con una velocidad de propagación de frente de llama entre 20 m/s – 40 m/s. La velocidad de propagación de frente de llama depende del octanaje, compresión y llenado del cilindro. Por lo cual a menor llenado del cilindro que sucede en altas rpm, mayor será el ángulo de avance al encendido, en la investigación el ángulo máximo de avance es de 320.[10]

De las pruebas realizadas en el dinamómetro de rodillos, se analiza las curvas de torque y potencia en el vehículo estándar vs el sistema implementado.

En la figura 13 se muestra la curva de potencia del vehículo estándar, vs el sistema de estrangulación independiente ITB reprogramado.

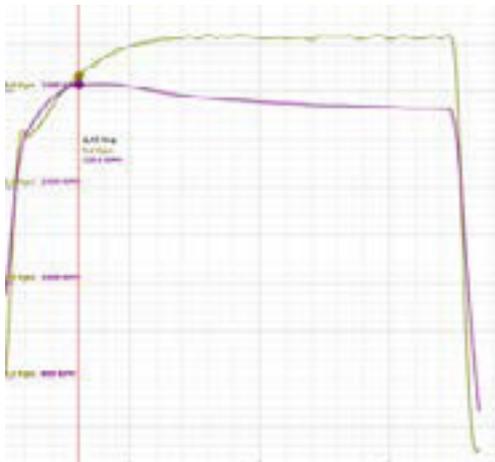


Figura 14. Curva de potencia vs rpm

En la tabla 1 se verifica la diferencia de potencia entre el vehículo estándar respecto al sistema de estrangulación independiente ITB, programado con Pandoo

Tabla 1 Porcentaje de potencia ganada

Configuración	RPM	Potencia [HP]	Incremento [HP]
Estándar	3224	52,97	-----
Programada	4724	71,73	18,76
Ganacia en % [HP]			26,15

En la figura 14, el torque que se representa con la curva de color rojo del vehículo estándar, la curva de color negro con el sistema de estrangulación independiente controlado con el módulo de control programable Pandoo

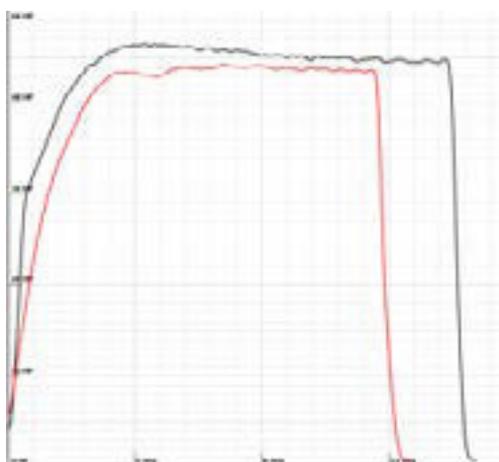


Figura 15. Curva de torque vs rpm.

En la tabla 2 se verifica el torque del vehículo estándar respecto al sistema de estrangulación independiente ITB, programado con Pandoo

Tabla 2 Porcentaje de torque ganado

Configuración	RPM	Torque [kg-m]	Incremento [kg-m]
Estándar	3224	9,91	-----
Programada	4724	9,3	0,61
Ganacia en % [kg-m]			6,15

### 3. Resultados y Discusión

En la figura 15 se muestra los valores obtenidos de cada prueba dinamométrica en condiciones estándar del motor Suzuki 1300 y con el sistema implementado.

En el vehículo estándar tiene una potencia máxima de 52.97 HP, con el sistema implementado con programación Pandoo se obtuvo una potencia máxima de 71.73 HP.

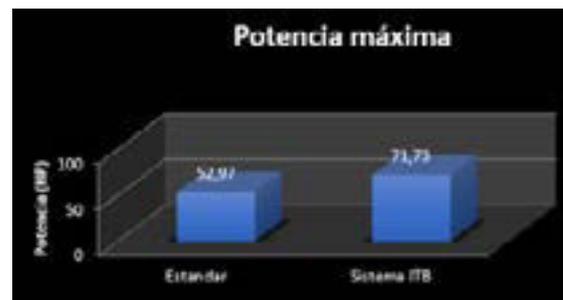


Figura 16. Resumen estadístico de potencias

En la figura 16 se muestra el porcentaje de ganancia neta de 26.15 %, con el sistema implementado.

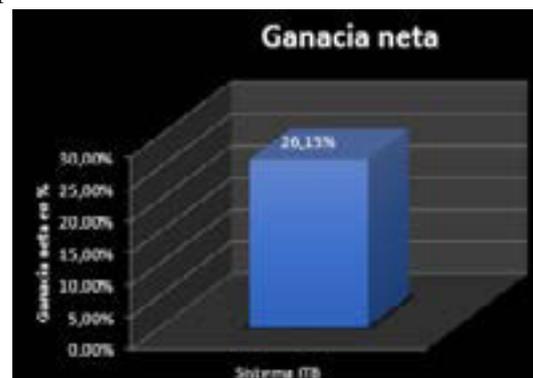


Figura 17. Ganancia neta

En la figura 17, el torque máximo del vehículo estándar obtuvo 9.91 kg-m mientras que con sistema implementado obtuvo 9,3 kg-m, esto se debe a que en altas rpm a vencido las inercias existentes de movimiento

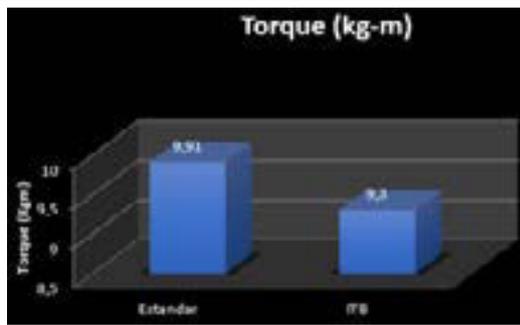


Figura 18. Torque máximo

#### 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.

Se investigó en fuentes bibliográficas relevantes, como mejorar el rendimiento térmico y mecánico al implementar el sistema de estrangulación independiente ITB.

Se modeló y diseñó un múltiple de admisión para el sistema de estrangulación independiente ITB, en el cual el rendimiento volumétrico del motor estándar con un 51,55 %, alcanzo un valor de 68,41% con el sistema implementado, el cual se considera muy eficiente en la investigación.

Con el módulo de control programable, se configuro los mapas de inyección y de ignición, con el cual aumento su potencia en un 26,15%, el cual sobrepaso lo estimado por los investigadores.

Se incrementó la potencia del motor Suzuki 1300 sin modificaciones mecánicas, e implementado elementos electrónicos con la finalidad de monitorear las señales del motor y ejecutarlas mediante el módulo de control programable a sus actuadores.

Existió un incremento de emisión de gases de escape después del ampliar el sistema debido a que existe más ingreso de aire y combustible para mejorar la mezcla estequiométrica

#### Referencias

[1] Nachum, (2014). “Demostrador de Encendido Electrónico AT-3002”. 103. Obtenido de [www.degem.com](http://www.degem.com)

[2] Carillo, (11 de febrero de 2014). “Mecánica Automotriz” . Recuperado el 10 de julio de 2016, de [http://server-die.alc.upv.es/asignaturas/LSED/2003-04/0.Sens\\_Temp/ARCHIVOS/SensoresTemperatura.pdf](http://server-die.alc.upv.es/asignaturas/LSED/2003-04/0.Sens_Temp/ARCHIVOS/SensoresTemperatura.pdf)

[3] Díaz, (2013). “Reprogramación electrónica del vehículo corsa evolution 1.4, para elevar los parámetros característicos del motor de combustión interna” . Energía y Mecánica , Innovación y futuro , 6.

[4] Tinizaray, D. (2015). “Reprogramación electrónica del control de inyección y encendido del motor cbr 600 F4I, para el vehículo formula student “p. 139.

[5] Ocaña, (2000). “Tratado del automovil. Madrid: cie inversines editoriales dossat” 2000.

[6] Payri, & Desantes, (2011). “Motores de combustión interna alternativos”. Barcelona: REVERTE, S.A.

[7] Performance, (2017). “Manual de Instalación y operación”. Rio de Janeiro: Pandoo Performance.

[8] Reyes & Sandoval, (4 de Junio de 2013). “Sistema electrónico del automovil”. Obtenido de <http://victorefren1.blogspot.com/2013/06/sensores-ckp-y-cmp-y-sus-tipos.html>

[9] Romero et Al. (2006). “Módulo de un sistema de inyección electrónico de gasolina basado en el microcontrolador INTEL 8751. Scientia et Technica Año XII”, p. 196. Recuperado el 7 de Febrero de 2017, de <http://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/6525/3775>

[10] Santander, (2006). En J. R. Santander, “Manual Técnico de Fuel Injection”(págs. 58-60). Guayaquil: diseli.

## BIOGRAFIA.



<sup>1</sup>Carlos Escala.- Nació en Ambato, Ecuador, es Ingeniero Automotriz de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, profesional independiente asesor en sistemas mecánicos y electrónicos del automóvil.



<sup>2</sup>Germán Erazo Laverde nació en Latacunga- Ecuador, es Ingeniero Automotriz, Ingeniero Industrial posee estudios de Posgrado en Autotrónica, Gerencia de Marketing, Especialista en Gerencia de Proyectos, Diseño Curricular, Magister en Gestión de Energías. Es Técnico Máster CISE Electronics en Electrónica del Automóvil y Vehículos Híbridos. Docente en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE desde 1993. Imparte servicios de asesoramiento y capacitación en Mecánica y electrónica automotriz



<sup>3</sup> Víctor Danilo Zambrano León, nació en Quito, Ecuador, Ingeniero Automotriz, Magíster en Sistemas Automotrices, Magíster en Gestión de la Producción, Diplomado Superior en Autotrónica, Docente del Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica Extensión Latacunga, servicio de Asesoría Automotriz

<sup>4</sup>Luis Molina Molina. Ing. Automotriz , Docente de la Unidad de Gestión de Tecnologías de la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE.

### REGISTRO DE LA PUBLICACIÓN

Fecha recepción	01 octubre 2017
Fecha aceptación	04 diciembre 2017

# ANÁLISIS DE LAS DETERMINANTES UTILIZANDO COMBUSTIBLE LOCAL Y EUROPEO

## ANALYSIS OF DETERMINANTS USING LOCAL AND EUROPEAN FUEL

Guillermo Gorky Reyes Campaña<sup>1</sup>, José Andrés Castillo Reyes<sup>2</sup>, Andrés Sebastián Ortiz Espinoza<sup>3</sup>, Gerardo Giovanni Rodríguez Gallegos<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>Universidad Internacional del Ecuador – UIDE, Facultad de Ingeniería Automotriz, Av. Jorge Fernández y Simón Bolívar

<sup>1</sup>gureyesca@uide.edu.ec, <sup>2</sup>acastillo@uide.edu.ec, <sup>3</sup>sebas\_92andy@hotmail.com, <sup>4</sup>gerardogiova@gmail.com

*Revista Energía Mecánica Innovación y Futuro VI Edición 2017, No.1 (19)*

### RESUMEN

A nivel país en los próximos años ingresarán vehículos europeos con menos aranceles, por tal motivo se realizó un estudio de las características de torque y potencia, utilizando un vehículo europeo con 2 tipos de combustible a 2 condiciones de altura regidos bajo normas DIN 70020, así como mediciones en sensores específicos del vehículo, bajo norma ISO 9141-2. El desempeño del vehículo dependerá de las condiciones geográficas a las que esté expuesto y del tipo de combustible que oferte cada país. Realizadas las pruebas, se determinó que el vehículo pierde aproximadamente un 8% de torque y potencia cada 1000 metros de altura en la zona andina, a pesar de ello se mantiene el correcto funcionamiento del vehículo dadas las condiciones geográficas que ofrece la ciudad de Quito ubicada a 2800 msnm.

### Palabras clave

combustible, torque y potencia, vehículo

### ABSTRACT

At the country level in the coming years European vehicles with lower tariffs will enter, for this reason a study of torque and power characteristics was carried out, using a European vehicle with 2 types of fuel at 2 height conditions governed by DIN 70020 norms, as well as measurements on vehicle-specific sensors, under ISO 9141-2. The performance of the vehicle will depend on the geographical conditions to which it is exposed and the type of fuel offered by each country. Carried out the tests, it was determined that the vehicle loses approximately 8% of torque and power every 1000 meters of height in the Andean zone, in spite of this the correct operation of the vehicle is maintained given the geographical conditions offered by the city of Quito

### Keywords:

fuel, torque and power, vehicle

## 1. INTRODUCCION

El torque y la potencia son factores de importancia al momento de obtener un vehículo, y estos dependen de medios externos y de diseño para que la eficiencia sea mayor o menos.

Para obtener mayor potencia se necesita quemar más combustibles con un porcentaje mayor de oxígeno el cual aumenta proporcionalmente con las condiciones geográficas a las que esté expuesto el vehículo.

Ecuador siendo un país con múltiples pisos climáticos [1], determina que los automotores presenten variaciones en la máxima eficiencia de torque y potencia. El combustible por otro lado, tiene características específicas, como: octanaje, poder calorífico, porcentaje de azufre, las cuales varían de acuerdo al proceso de refinación a los que se haya expuesto, teniendo una relación directa con la performance del vehículo.

Existen estudios de la eficiencia vehicular en función de la altura, lo que es importante determinar cómo se comporta un vehículo con un combustible propio de su país de fabricación, cuyos resultados determinan una visión más amplia sobre la importancia de las condiciones a la que está expuesto el vehículo para mejorar el rendimiento en cuanto a torque, potencia y consumo de combustible. [2]

Se tomó como punto de referencia la ciudad de Quito ubicada a 2800 msnm, por la altura a la que se encuentra esta ciudad, se obtiene una cantidad menor de oxígeno, para luego comparar con datos obtenidos en la ciudad de Guayaquil ubicada a 4 msnm. [3]

El presente análisis analizó las normas nacionales e internacionales de control de gases contaminantes [4], demostrando la importancia de contar con estándares mínimos de contaminación.

La investigación empieza analizando las especificaciones del vehículo europeo, enfocándose en torque y potencia a 2800 msnm y a 4 msnm en el Ecuador, utilizando como variables la calidad de combustible y la influencia de la altura, comprobando así la necesidad de las modificaciones en la computadora del automotor

al ingresar a los diferentes países. En cada vehículo se observa una diferente reacción en relación a la altura y a la calidad de combustible, debido a una diferenciación en el octanaje, pureza del combustible y el ingreso del aire en la combustión. [5].

Las normas Euro fijan límites en la emisión de gases contaminantes como son el monóxido de carbono (CO), óxidos nitrosos (NO<sub>x</sub>) e hidrocarburos (HC), [6] creando tecnologías para la reducción al máximo de emisiones contaminantes, considerando las diferentes modalidades de conducción, el tipo de motor, características del combustible, las velocidades de operación del vehículo, la temperatura ambiente, altitud, kilometraje y la pendiente del terreno. [7]

La calidad del combustible es un factor fundamental en la medición de la eficiencia del motor, específicamente de torque-potencia en un vehículo, ya que las propiedades del combustible son el insumo principal para que el vehículo realice una combustión más completa y obtener así un mejor rendimiento. [9]

La gasolina es el combustible que se utilizó en la presente investigación, teniendo características propias como su composición química C<sub>8</sub>H<sub>18</sub>, con un punto de ebullición esta entre 27 y 177 °C, con un valor de lambda de 14,7, lo cual significa que necesita 14,7 partes de oxígeno por 1 de combustible.

En Ecuador la cantidad de partículas por millón de azufre es alta en comparación a otros países latinoamericanos como por ejemplo Chile y Colombia que son países con menor cantidad de partículas de azufre en el combustible, dado por las distintas regulaciones que hay en cada país.

El azufre es un componente que se encuentra en el crudo de petróleo, éste se elimina por medio de un proceso de refinación en la destilación del petróleo. En el Ecuador la gasolina tiene 650 ppm de azufre produciendo como desecho SO<sub>x</sub> en mayor proporción que otros países sin embargo estos gases no se miden en el país. Dicho componente tiende a causar corrosión en los componentes mecánicos del vehículo [10].

Por otro lado, el combustible europeo supera las normas establecidas en Latinoamérica, siendo un combustible de mejor calidad pues las ppm de azufre son inferiores a 10 ppm y el octanaje fluctúa entre 95 y 98 octanos, produciendo así una mejor combustión y menor contaminación. [11]

Latinoamérica posee combustible de menor calidad, pudiendo esto ocasionar daños a largo plazo al motor, disminuyendo su vida útil y ocasionando una mayor contaminación al medio ambiente.

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

El diseño a aplicarse será de tipo cuantitativo, por ser un método de investigación que permite analizar los datos recogidos de las diferentes pruebas aplicadas. El método deductivo permite llegar a conclusiones a través del examen del caso específico de estudio, partiendo de la premisa general que su altitud y composición del combustible se modifican. La investigación se realizó en tres períodos, en el primero una aproximación teórica, en el segundo la realización de pruebas, mientras en el tercero se evaluará los datos obtenidos. [12]

#### 3.1 Vehículo

Se escogió un vehículo de procedencia europea, que cumple normativas de seguridad y emisiones, cuyas especificaciones técnicas determina un motor con un cilindraje 1600 Cc, potencia de 90 Hp a 5200 rpm, y un torque de 150 Nm a 3000 rpm.

Se consideró al automóvil 1.6, pues según datos de la AEADE para el 2015 la venta del segmento automóviles ocupó el 37.3% de ventas totales tanto de vehículos importados como de fabricación nacional [13], lo que justifica el uso de un automóvil con motor 1.6.

#### 3.2 Combustible

A nivel de Latinoamérica existe variedad en cuanto a la calidad de combustible con respecto a las partículas por millón de azufre en cada país. Colombia y Argentina seguidas de Ecuador son de los países con menor cantidad de partículas

de azufre siendo las más idóneas al momento de comparar con el combustible europeo, con un octanaje de entre 95 a 98 octanos y una cantidad menor a 650 ppm de contenido de azufre [14]. Por las aseveraciones antes mencionadas se escogió el combustible europeo Efitec de 95 octanos y una cantidad menor a 50 ppm de azufre [15], el cual se asemeja a las características de combustible nacional y a su vez es comparable con combustibles latinoamericanos.

Ecuador, así como el resto de países latinoamericanos, se rigen bajo normas internacionales, y a su vez crea normativas propias que les permiten a los vehículos operar con una cantidad mayor de partículas de azufre. Es así que el Ecuador produce una gasolina con 650 ppm de azufre sometidos a la normativa nacional NTE INEN1490, comparándose con normas internacionales Euro III [16].

*Tabla 1 Características combustible nacional y europeo.*

COMBUSTIBLE	OCTANAJE	PODER CALORIFICO	PPM AZUFRE
Extra	87	9,576	<650
Súper	92	9,232	<650
Europea	95	10,377	<50

La tabla 1 muestra las características del combustible que se utilizó en el estudio realizado, el combustible de procedencia europea supera aproximadamente en un 10% al combustible nacional en el poder calorífico (Kcal/kg) liberando mayor energía por Kilogramo de combustible, de igual manera un porcentaje menor de partículas por millón de azufre, mostrando cualidades superiores e idóneas para la investigación realizada.

#### 3.3 Altitud

En los países de Latinoamérica existen condiciones geográficas distintas, las cuales afectan el rendimiento del vehículo por sus diferentes alturas y geografía de carreteras en general. [17] A continuación se anota las variaciones en altitud de las ciudades más grandes del Ecuador como son Guayaquil y Quito, por la notable diferencia de altitud se denota la necesidad de un estudio del comportamiento del vehículo en dichas condiciones geográficas.

**Tabla 2 Altura sobre el nivel del mar [18]**

Ciudad	Msnm
QUITO	2800msnm
GUAYAQUIL	4 msnm

Se realizaron bancos de pruebas a 2800 msnm en la ciudad de Quito y a 4msnm en la ciudad de Guayaquil, tomando en cuenta la diferencia en presión atmosférica, densidad del aire, temperatura ambiente y el efecto de estos factores tanto en la performance como en los sensores del vehículo [19].

### 3.4 Equipos

Para obtener datos cuantitativos adecuados es importante utilizar equipos que estén calibrados y regidos bajo norma internacional, de esta manera obtendremos datos cuantitativos siendo comparados con las diferentes condiciones geográficas como las alturas a las que se realizaron las pruebas

Los bancos de pruebas de torque y potencia para el vehículo se desarrollaron por medio de dinamómetros, en Quito y en Guayaquil.

Sometiendo al vehículo a dos pruebas de torque y potencia en cada ciudad mencionada, estos dinamómetros están calibrados bajo normas DIN 70020 y normas ISO 2534 (74) aplicadas para garantizar la seguridad y estándares de medios internacionales. [22] Se obtienen finalmente datos sobre el performance del vehículo y su comportamiento bajo circunstancias variables.



**Figura 1 Dinamómetro**

Para analizar los parámetros de encendido se utilizó el equipo de diagnóstico, el cual posee protocolos de comunicación ideales para la obtención de datos.

**Tabla 3 Normativas de comunicación OBDII para diferentes modelos.**

NORMA	PROTOCOLO	MODELOS
ISO 9141-2	KWP	Europeos
ISO 1423	VPW	Renault, otros

Para el estudio a realizar el escáner tiene que ser regido bajo normas para vehículos europeos, ISO 9141-2, y la norma ISO 14230. [23]

A pesar de que el sistema OBD II está estandarizado, no todos los equipos de medición son compatibles para la extensa gama de vehículos que existe, y debe cumplir con normas específicas por marca como se menciona con anterioridad, ya que cada uno de estos requiere un tratamiento de la información diferente, antes de conectarse con la centralita del vehículo.

### 4. NORMATIVAS

El Ecuador se rige bajo normas NTE INEN 2204, la cual expresa los límites máximos de contaminación permitidos para vehículos con motores a gasolina, dicha norma se basa en normas internacionales como es la Euro III.

En la siguiente tabla se anota la variación de las normas internacionales aplicadas a las normas nacionales vigentes del país.

**Tabla 4 normativa nacional e internacional [20]**

NOMAS	CO ppm	HC ppm	Nox ppm
INEN2204	2100	200	620
EURO 3	2300	200	150

En el Ecuador existe de igual forma regulaciones diferentes para el combustible, dependiendo de su uso. La contaminación que producen los vehículos que circulan en las ciudades y carreteras en el país es mayor, es por esto que el pocesamiento de dichos combustibles es mas extenso en comparacion por ejemplo del combustible en las zonas maritimas o el combustible utilizado en motores estacionarios, dichas regulaciones se aplican con mayor severidad en la ciudades principales como son Quito y Guayaquil, dado el numero de vehiculos en circulacion [20].

De igual forma existen regulaciones para el ingreso de vehículos al Ecuador y que estos estén respectivamente homologados, lo cual garantiza que un modelo de vehículo que se pretende comercializar en el país, cumpla con todas las normas técnicas y de seguridad que le son aplicables, a su vez en un trabajo interinstitucional con el ministerio de transporte y obras públicas, ministerio de industria y productividad, organismo de acreditación ecuatoriana y el instituto ecuatoriano de normalización INEN, la agencia nacional de tránsito ejecuta el control sobre el ingreso de vehículos ya sea para transporte público o privado, extendiendo certificados de homologación a importadores, fabricantes, carroceros o comercializadores que cumplan con los requisitos y condiciones que establece la norma RTE INEN 034.[21]

## 5. RESULTADOS

Los resultados de las pruebas realizadas en las ciudades de Quito a 2800 msnm y Guayaquil a 4 msnm, presentan diferencias considerables tanto en torque y potencia del vehículo. Así como una variación en la medición de los diferentes sensores y la interpretación de la computadora hacia estos.

La tabla 4 indica la variación que existe en los diferentes sensores tanto en Quito como en Guayaquil, utilizando el combustible “Extra 87”.

*Tabla 5: Variación sensores gasolina extra*

SENSORES	EXTRA	EXTRA
UBICACIÓN	QUITO	GUAYAQUIL
MAP	236 – 244 mbar	284 – 306 mbar
ECT	95 – 96 °C	95 °C
Pulso inyección	2,82 - 2,98 ms	3,16 - 3,55 ms
Oxígeno 1	107 – 791 mv	78 – 859 mv
Oxígeno 2	410mv	176 – 225mv
Adelanto encendido	2' - 6'	2' - 6'
IAT	69°C	67°C
Presión atmosférica	735 mbar	1009 mbar

Los sensores que tienen una variación considerable son: el pulso de inyección y los sensores de oxígeno 1 y 2, en los cuales se concentrará el análisis de la investigación.

En la tabla 5 se observa que el pulso de inyección aumentó en Guayaquil en un 19,12% ya que, al aumentar la cantidad de oxígeno, se incrementa a su vez el combustible a utilizar.

Con respecto a Guayaquil, el sensor de oxígeno 1 aumenta su voltaje en un 10% dadas las condiciones de la posición geográfica a las que está expuesto y el incremento de oxígeno en el aire, dicho sensor se encuentra previo al catalizador del vehículo, en cambio el sensor de oxígeno 2 dispuesto a continuación del catalizador, disminuye su valor en un rango de 45 a 57%.

En la tabla 6, se muestran las diferencias en sensores específicos, producto de los diferentes contextos geográficos de las ciudades antes mencionadas, con combustible “Súper 92”.

*Tabla 6: Variación sensores gasolina súper.*

SENSORES	SUPER	SUPER
UBICACION	QUITO	GUAYAQUIL
MAP	225 – 251 mbar	288 – 295 mbar
ECT	92 – 96 °C	95 – 98 °C
Pulso inyección	2,96 - 3,08 ms	3,18 - 3,26 ms
Oxígeno 1	176 – 781 mv	88 – 830 mv
Oxígeno 2	400 - 410 mv	156 – 185 mv
Adelanto al encendido	2' - 5'	2' - 5'
IAT	69°C	75°C
Presión atmosférica	735 mbar	1009 mbar

En la tabla 6 se observa variaciones semejantes a las observadas en la tabla 5 en los sensores de oxígeno y pulso de inyección. El pulso de inyección con respecto a Guayaquil aumenta en un 6 %, de igual manera el sensor de oxígeno 1 aumenta en 7% y el sensor de oxígeno 2 tiene una disminución del 54 al 62% en su medición de voltaje, dichos cambios se justifican por utilizar un combustible de mejores características tanto en octanaje como en poder calorífico y proceso de refinación, así como también el aumento de oxígeno por presión atmosférica.

Comparando los valores de la tabla 6 con los de la tabla 5, la diferencia porcentual del pulso de inyección es menor ya que al ser un combustible

con propiedades superiores, no es necesario una inyección de combustible tan prolongada y es regulada por la centralita, de igual manera se nota una disminución en el sensor de oxígeno 1 y 2, lo cual indica que al tener mejores propiedades en el combustible como es el caso de la “Super 92” con respecto a la “Extra 87” se obtiene una combustión con menor cantidad de combustible.

En la tabla 7 se observa las lecturas de sensores específicos en relación a la variación de combustible, teniendo el de procedencia extranjera un número de octano de 95 y rango menor a 50 ppm de azufre.

**Tabla 7: Variación sensores gasolina europea.**

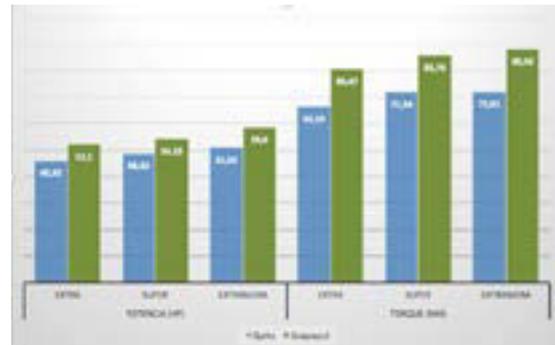
SENSORES	EXTRANJERA	EXTRANJERA
SENSOR	QUITO	GUAYAQUIL
MAP	225 – 258 mbar	284 – 321 mbar
ECT	93 – 94 °C	92 – 98 °C
Pulso inyección	2,74 - 2,84 ms	3,24 - 3,57 ms
Oxígeno 1	59 – 869 mv	205 – 791 mv
Oxígeno 2	390 mv	117 – 170 mv
Adelanto al encendido	3' - 4'	2' - 5'
IAT	60°C	76°C
Presión atmosférica	732 mbar	1009 mbar

Las variaciones en la tabla 7 con respecto a Guayaquil de Quito son: Un aumento del 25% en el pulso de inyección, una disminución en el sensor de oxígeno 1 del 9% siendo el único caso en el cual el sensor de oxígeno 1 disminuye su valor, y de igual forma una disminución de entre 56 y 70% en el sensor de oxígeno 2, dichos valores son justificables ya que el combustible utilizado tiene propiedades superiores a los combustibles utilizados en el Ecuador, además del incremento de partículas de oxígeno ya mencionada por razones de altitud y presión atmosférica.

En comparación del combustible Europeo con el nacional, se denota un tiempo de inyección similar al obtenido con combustible “Extra87”, una disminución del voltaje del sensor de oxígeno 1 del 5 al 8% y de igual manera una disminución del 8 al 24% en los valores del sensor de oxígeno 2, denotando la superioridad del combustible europeo ya que los valores de los sensores de oxígeno son menores a los obtenidos con combustible nacional, siendo este

combustible el más favorable al momento de trabajar en conjunto con el catalizador, y se puede comprobar observando los valores del sensor de oxígeno 2 con una cantidad de combustible similar a la inyectada con Extra87.

La figura 2 indica los valores de las pruebas realizadas a 2800 y 4 msnm, con los distintos combustibles seleccionados.



**Figura 2: Mediciones de torque y en Quito y Guayaquil.**

En la figura 2 se observa un incremento de un 6% entre combustible “Extra87” y “Super92” y de igual forma un incremento de 5% en potencia entre “super92” y el combustible europeo de 95 octanos en la ciudad de Quito, en cambio en la ciudad de Guayaquil se ven un incremento de un 4% entre combustible “Extra87” y “Super92” y un 8% entre “Súper92” y el combustible europeo, lo cual demuestra la influencia del combustible y condiciones geográficas en la performance del vehículo.

Según la referencia 20 afirma que por cada 1000 metros de altura se reduce en un 10 % la performance del vehículo. Dicha pérdida se compensa aumentando 2 grados por cada 1000 metros en el avance al encendido, actividad que realiza la computadora automáticamente en vehículos actuales.

En promedio el vehículo de estudio pierde un aproximado de 5% por cada 1000 metros de altitud en potencia reduciendo en menor porcentaje a lo afirmado en la referencia 20 y según las tablas 4, 5 y 6 la regulación del avance de encendido es modificada según las condiciones a las que se encuentre, pudiendo tanto retrasar o adelantar hasta 4 grados al avance de encendido.

En lo que se refiere al torque del vehículo en la ciudad de Quito, se observa que el combustible

“Super92” incrementa un 9% su valor con respecto al “Extra87”, hasta llegar un máximo de 72 Nm con combustible europeo, que es un incremento menor al 1% con respecto al obtenido con “Súper 92”.

En la ciudad de Guayaquil el incremento es mayor, con combustible “Super92” se obtiene un incremento de 7% con respecto al combustible “Extra87”, y con combustible europeo el torque aumenta un 3% en relación con el de “Súper92”. Comparando los resultados obtenidos de ambas ciudades se obtiene que por la diferencia de altura hay un promedio de incremento de torque en la ciudad de Guayaquil de un 21%, lo que significaría que por cada 1000 metros de altitud se pierde un 7.5% de torque.

En la figura 3 se observa una comparación de los datos teóricos dados por el fabricante del vehículo en el Ecuador como su homólogo en Europa, a su vez los datos obtenidos con combustible europeo en la ciudad de Quito con el factor de corrección DIN de 1,347 y los datos obtenidos a 4 msnm, en condiciones ideales.

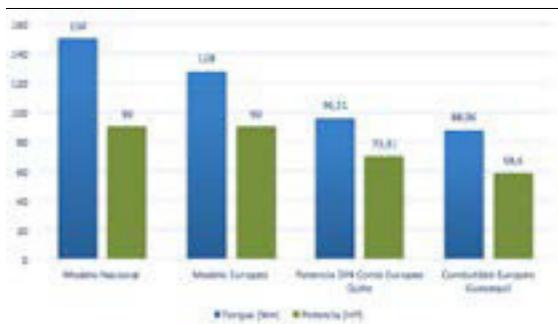


Figura 3: Comparación modelos nacional y europeo

El vehículo europeo tiene características similares en potencia comparado con el modelo nacional, pero tanto la potencia y el torque en corrección DIN y condiciones ideales son menores que las entregadas por sus respectivos fabricantes, estas variaciones se puede explicar por regulaciones existentes en el Ecuador de homologación y requisitos previos para que un vehículo pueda circular libremente en el país, el proceso de homologación viene desde la carrocería hasta las especificaciones de la centralita por motivos de combustible, regulaciones de emisiones contaminantes y posición geográfica, dichos factores influyentes directamente en la

performance del vehículo.

La Potencia DIN muestra un factor de perdida más elevado que el obtenido en el vehículo de prueba, con un valor del 7% en perdida por cada 1000 metros de altitud, por otra parte comparando los valores entregados por el fabricante varían hasta un 30% en torque y potencia con los obtenidos en el estudio realizado.

## 6. CONCLUSIONES

El avance al encendido está directamente relacionado con la posición geográfica a la que se encuentra el vehículo y a otros factores como son combustible, temperatura de aire, modo de conducción, entre otros, lo cual hacen que su valor esté cambiando constantemente al igual que el tiempo de pulso de inyección, variando en hasta 4 grados el avance al encendido y hasta 0,83 ms el pulso de inyección, contribuyendo de este modo directamente en la performance del vehículo tomando en cuenta factores externos, indiferentes a las variables de estudio.

Se puede distinguir notablemente una superioridad del combustible europeo al combustible nacional, y a su vez la incidencia de la posición geográfica en la performance del vehículo de estudio, siendo factores determinantes el grado de refinación del combustible y la cantidad de oxígeno que presente la posición geográfica, perdiendo así un 5% de potencia y 7.5% en torque cada 1000 metros de altitud, y a su vez incrementa de un 7 a 12% la performance del vehículo con combustible con características mejoradas.

Al comparar datos entregados por el fabricante, se observa una diferencia de hasta un 30% en la performance del vehículo con los valores teóricos y prácticos entregados, concluyendo así que el vehículo esta expuesto a muchas variables las cuales influyen en el torque y potencia del vehículo, regulaciones nacionales e internacionales, posición geográfica, características del combustible, homologación en centralita y otros elementos del motor, desgaste del motor entre otros son factores que intervienen de manera directa o indirecta en la performance del vehículo.

## 7. REFERENCIAS

- [1] Michael Richter, Andrés Moreira Muñoz, Heterogeneidad climática y diversidad de la vegetación en el sur de Ecuador: un método de fitoindicación, Institut für Geographie, Friedrich Alexander Universität - Erlangen, Alemania, Obtenido de [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1727-99332005000200007&script=sci\\_arttext&tlng=en](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1727-99332005000200007&script=sci_arttext&tlng=en)
- [2] autosuministroscosta.com. Obtenido de <https://www.pruebaderuta.com/potencia-vs-altura.php>
- [3] Obtenido de <http://www.ecuaworld.ec/ciudades.htm>
- [4] Public.Resource.Org,Inc. Obtenido de NTE. INEN 2204: [http://apps.normalizacion.gob.ec/fileserver/2016/nte\\_inen\\_2204-2.pdf](http://apps.normalizacion.gob.ec/fileserver/2016/nte_inen_2204-2.pdf)
- [5] Guillermo Sepúlveda, Impacto de la Restricción Vehicular sobre la Calidad del Aire: Lecciones para Santiago de Chile. Universidad de Chile, Facultad de Economía y Negocios - Escuela de Economía y Administración. Obtenido de [http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/144866/seminario%20de%20titulo\\_guillermo%20sepulveda%20witt.pdf?sequence=1](http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/144866/seminario%20de%20titulo_guillermo%20sepulveda%20witt.pdf?sequence=1)
- [6] Ecología Verde, Tipo de Polución Emite el Tubo de Escape de un Coche. Obtenido de: <http://www.ecologiaverde.com/que-tipo-de-polucion-emite-el-tubo-de-escape-de-un-coche/>
- [7] Josefa Varcárcel, Conduccion Eficiente. Subdirección general de intervención y políticas viales unidad de intervención educativa obtenido de [http://www.dgt.es/PEVI/documentos/catalogo\\_recursos/didacticos/did\\_adultas/Conduccion\\_eficiente.pdf](http://www.dgt.es/PEVI/documentos/catalogo_recursos/didacticos/did_adultas/Conduccion_eficiente.pdf)
- [8] Alberto Araujo, Debate sobre la calidad de las gasolinas. Obtenido de <http://www.elcomercio.com/actualidad/negocios/debate-calidad-de-gasolinas.html>
- [9] El telegrafo, Gasolina del pais deja de ser la mas contaminante. Obtenido de <http://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/economia/8/gasolina-del-pais-deja-de-ser-la-mas-contaminante>
- [10] Red operativa de desagües españoles, La gasolina de 95 octanos marca el nivel de octanaje mínimo en Europa y parece la opción más popularizada del mercado. Obtenido de <https://www.rodes.com/mecanica/tipos-de-gasolina-y-caracteristicas/>
- [11] Arellano, Carla Viviana, Determinación y análisis de las emisiones de contaminantes primarios y rendimiento vehicular mediante la variación del octanaje y contenido de azufre en la gasolina y diésel, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Obtenido de. <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/7569>
- [12] Edison Coimbra G, Reporte de investigación. Los 10 pasos de la Investigación. Universidad Privada de Santa Cruz de la Sierra UPSA – Bolivia. Obtenido de <https://es.slideshare.net/edisoncoimbra/10reporte-de-investigacin-los-10-pasos-de-la-investigacion>
- [13] (2013).Obtenido de AEADE.net <http://aeade.net/wp-content/uploads/2016/11/ANUARIO-2015.pdf>
- [14] Igor Torrinco, Gasolina colombiana, entre las más limpias de Latinoamérica . El mundo [http://www.elmundo.com/portal/noticias/territorio/gasolina\\_colombiana\\_entre\\_las\\_mas\\_limpias\\_de\\_latinoamerica.php#.WPUVGtI1-00](http://www.elmundo.com/portal/noticias/territorio/gasolina_colombiana_entre_las_mas_limpias_de_latinoamerica.php#.WPUVGtI1-00)
- [15] Boletín No. 048, Calidad de combustible que distribuye EP Petroecuador al país. Obtenido de <http://www.>

hidrocarburos.gob.ec/confirman-calidad-de-combustible-que-distribuye-ep-petroecuador-al-pais/

- [16] Boletín No. 086 , Combustibles que Produce EP Petroecuador Superan Metas de Calidad obtenido de. <http://www4.eppetroecuador.ec:8500/sistemanoticias/noticias/BOL%20086.pdf>
- [17] M. Lapuerta, O Armas, R. Agudelo y C. Sánchez, Estudio del Efecto de la Altitud sobre el Comportamiento de Motores de Combustión Interna. Universidad de Castilla-La Mancha, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales. Obtenido de. [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_rtext&pid=S0718-07642006000500005](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_rtext&pid=S0718-07642006000500005)
- [18] Obtenido de <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/03/Bienes-inmuebles-1.pdf>
- [19] M. Paredes, F. Viteri, Estudio de la Relación Altitud Geográfica y las Emisiones de Gases en un Vehículo 1600 Cm<sup>3</sup> en el Ciclo Riobamba, Guayaquil, Universidad Tecnológica Equinoccial, Obtenido de [http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/4847/1/51038\\_1.pdf](http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/4847/1/51038_1.pdf)
- [20] Límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres que emplean gasolina, obtenido de. [http://apps.normalizacion.gob.ec/filesserver/2016/nte\\_inen\\_2204-2.pdf](http://apps.normalizacion.gob.ec/filesserver/2016/nte_inen_2204-2.pdf)
- [21] Obtenido de <http://www.ehu.eus/mmtde/bancomot.htm>
- [22] Elementos mínimos de seguridad en vehículos automotores, Obtenido de <http://www.normalizacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/09/RTE-034-4R.pdf>

## 8. BIBLIOGRAFIA



<sup>1</sup>Guillermo Gorky Reyes Campaña  
- Ingeniero Mecánico Automotriz,  
Coordinador Investigación  
- Docente TC Universidad  
Internacional del Ecuador,  
Director de artículos y proyectos  
de investigación, MSc, Maestría  
en Sistemas Automotrices, Phd(c) Doctorado en  
Humanidades y Artes con mención en Educación



<sup>2</sup>José Andrés Castillo Reyes -  
Ingeniero Mecánico Automotriz,  
Director Académico - Docente  
TC Universidad Internacional del  
Ecuador, Director de artículos y  
proyectos de investigación, MSc,  
Maestría en Gerencia y Liderazgo Educativo,  
Phd(c) Doctorado en Humanidades y Artes con  
mención en Educación



<sup>3</sup>Andrés Sebastián Ortiz Espinoza,  
Ingeniero Automotriz. Universidad  
Internacional del Ecuador



<sup>4</sup>Gerardo Giovanni Rodríguez  
Gallego, Ingeniero Automotriz.  
Universidad Internacional del  
Ecuador

## MODELO MATEMÁTICO PARA EL CÁLCULO DEL TIEMPO DE INYECCIÓN APLICABLE A UN SIMULADOR

## MATHEMATICAL MODEL FOR THE CALCULATION OF THE INJECTION TIME APPLICABLE TO A SIMULATOR

Raúl Hidrobo Salazar<sup>1</sup>, Angel Portilla Aguilar<sup>2</sup>, Luis Corrales Paucar<sup>3</sup>, Wilson Morán Flores<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Mecánica Express, Calle Japón N 37-96 y Avenida Naciones Unidas, <sup>2,3,4</sup> Escuela Politécnica Nacional, Ladrón de Guevara E11•253

e – mail: <sup>1</sup>mecanica\_express@yahoo.com, <sup>2</sup>angel.portilla@epn.edu.ec, <sup>3</sup>luis.corrales@epn.edu.ec, <sup>4</sup>wilson.moran@epn.edu.ec

*Revista Energía Mecánica Innovación y Futuro VI Edición 2017, No.1 (19)*

### RESUMEN

El objetivo del artículo es presentar el comportamiento de los diferentes sensores para el cálculo del tiempo de inyección utilizable en un sistema de inyección electrónica de combustible que permita determinar su comportamiento a diferentes condiciones de funcionamiento y de carga, la obtención de mapas de inyección para determinar el efecto de cada sensor en la inyección de gasolina, aire y en la corrección del mismo.

Con este objetivo se elaboró un modelo matemático aplicable a un software que calcule los tiempos de inyección, tiempos de chispa, funcionamiento en modo alterno de falla y control de los actuadores que pueden ser elementos reales o circuitos para simular los sensores más relevantes de la Unidad de Control Electrónico (ECU) para que pueda calcular la cantidad de combustible, determinar el orden de inyección, corregir los tiempos de retraso de chispa, determinar las correcciones por ancho de pulso y el comando a actuadores.

Las pruebas realizadas muestran que la simulación presenta un error de hasta el 10,82% al comparar los valores medidos con los valores obtenidos mediante el modelo matemático. Se logró obtener los mapas de inyección de combustible y se verificó con pruebas sobre sensores y actuadores reales.

### Palabras clave

ECU, simulación, sensores, inyección electrónica, software para cálculo de tiempos.

### ABSTRACT

The objective of the present article is to study the behavior of the different sensors for the calculation of the injection time usable in Electronic Fuel Injection Systems that allows the study of their behavior on different operating and loading conditions, we managed to get the fuel injection maps to determine the effect of each sensor on gasoline injection, air and correction for this systems.

With this objective, a mathematical model was developed applied to a software that calculates the injection times, spark-time, running in failure mode and actuators control that can be real elements or circuits to simulate the most relevant sensors of the Electronic Control Unit (ECU) so that you can calculate the fuel amount, determine the injection order, correct the spark times delay, determine the pulse width corrections and the command to actuators.

The performed tests show that the simulation presents an error of up to 10.82% when comparing the measured values with the values obtained by the mathematical model. The fuel injection maps were obtained and verified with tests on real sensors and actuators.

### Keywords:

ECU, injection time, sensors simulation, electronic injection, time calculation software.

## INTRODUCCIÓN

El modelo matemático diseñado está basado en un sistema de inyección electrónica de combustible, aplicado a un motor ciclo Otto de 4 tiempos a gasolina.

Se toma en cuenta los principales sensores, los cuales son simulados por medio de circuitos eléctricos y de software para entregar la información a una Unidad de Control Electrónica (ECU), la cual procesa la información recibida, calcula los tiempos de inyección y el control lógico de los actuadores. [1]

La simulación, permite analizar el funcionamiento en conjunto, la influencia de los sensores a diferentes condiciones de carga, obtener los mapas de inyección, verificar el funcionamiento en modo alterno de falla, comprobar el modelo matemático y determinar el comando a actuadores.

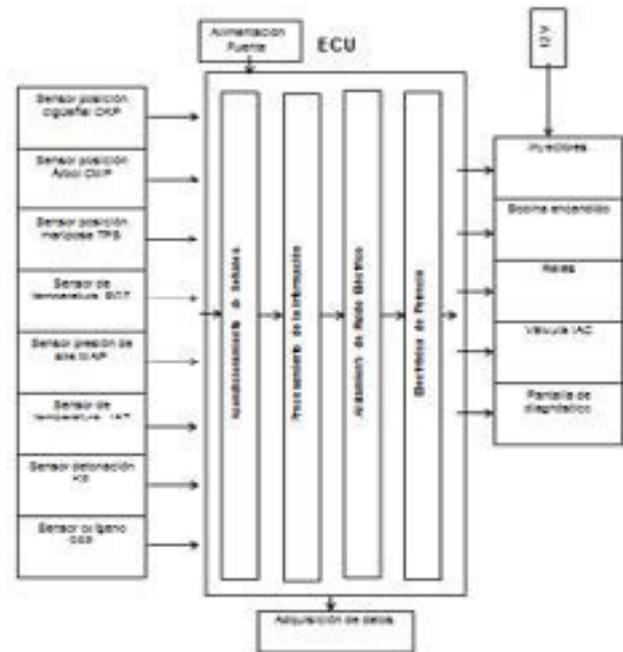
Los sensores entregan información de las condiciones de funcionamiento a la ECU por medio de señales eléctricas, al interior de esta se realiza inicialmente el acondicionamiento de señales, luego se pasa al procesamiento de la información, una etapa de aislamiento de ruido eléctrico y el control de la electrónica de potencia para comando de los actuadores. Adicionalmente la ECU tiene una salida para adquisición de datos. Estas funciones se pueden apreciar en el diagrama de bloques de la figura 1. [2]

Los sensores utilizados en la simulación son:

- Sensor posición cigüeñal (CKP).
- Sensor posición eje de levas (CMP).
- Sensor posición de mariposa (TPS).
- Sensores Temperatura (ECT e IAT).
- Sensor presión múltiple (MAP).
- Sensor detonaciones (KS).
- Sensor Oxígeno (O2S).

Los actuadores que comanda la ECU son:

- Inyectores.
- Bobina de encendido.
- Relés.
- Válvula IAC
- Pantalla de diagnóstico.



## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

La ECU del simulador recibe las señales para convertirlas, procesarlas e interpretarlas de manera binaria. [3] Una vez digitalizada es procesada por otro microprocesador que se encarga de determinar los tiempos de apertura de inyectores, las modulaciones de ancho de pulso, y el comando a transistores de potencia para el control de actuadores. Este proceso se observa en la figura 2.

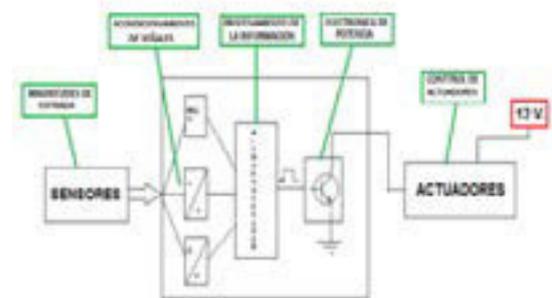


Figura 2. Acondicionamiento de señales

Para la simulación de las señales de los sensores TPS, MAP, IAT, ECT, SO<sub>2</sub>, se utiliza divisores de tensión por medio de potenciómetros y resistencias variables con alimentación de 5V como voltaje de referencia proveniente de la fuente de alimentación. A la resistencia variable o potenciómetro se le conecta una resistencia de valor fijo, que sirve para hacer el divisor de tensión y para protección en caso de corto circuito.

Para determinar el momento de inyección, la secuencia y el salto de chispa, se necesita simular los sensores CKP y CMP (sensor de posición del cigüeñal y del eje de levas respectivamente), para lo cual se utiliza un microcontrolador ATMEGA8 programado para generar las dos señales que se envían a la unidad de control para el conteo de pulsos, determinación de rpm y secuencia de inyección.

La simulación de un sensor de detonaciones (KS), utiliza el microprocesador ATMEGA8 programado de tal forma que genere voltaje alterno variable para ser entregados a la ECU la cual se encarga de retardar el tiempo de encendido según el valor recibido del sensor.

### ACONDICIONAMIENTO DE SEÑALES Y ELECTRÓNICA DE POTENCIA PARA ACTUADORES.

En el accionamiento de los actuadores se genera ruido eléctrico, intermitencia, transitorios y altos voltajes inducidos debido a la acción de las bobinas de los mismos. Por tanto, para su accionamiento, es necesario implementar una etapa de potencia, debidamente aislada de la etapa de control, que consiga adaptar las señales provenientes del microcontrolador a los niveles adecuados de voltaje y corriente que gobiernan estos elementos. El aislamiento eléctrico se lo realiza utilizando un opto-acoplador 6N136. Como se indica en la figura 3.

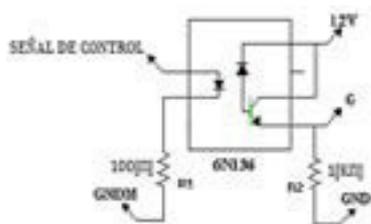


Figura 3. Opto-acoplador 6N136

Para la etapa de potencia de inyectores se seleccionó un transistor TIP122, dado su facilidad de control y los márgenes de tensión y corriente que maneja al tener configuración Darlington.

Las bobinas de encendido al conmutar generan un voltaje del orden de los 380 voltios en el primario, por tal razón se requiere un transistor que soporte este valor y que no tenga incremento de temperatura, por lo cual se seleccionó un

transistor de compuerta aislada tipo Mosfet IRF840, ya que por su configuración de compuerta permite tener una rápida conmutación sin circulación de corriente accionándose por medio de voltaje. Ver figura 4.

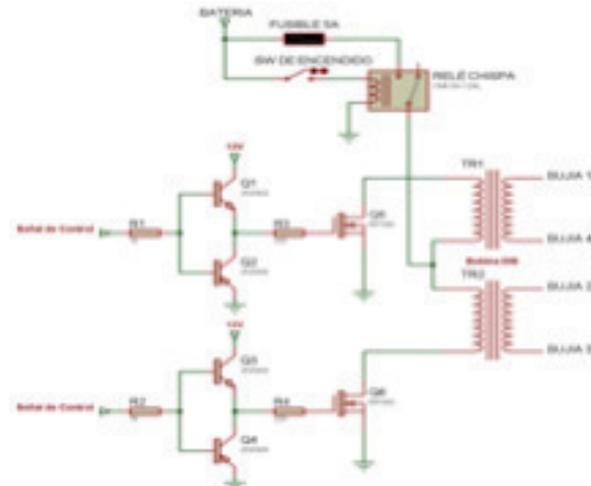


Figura 4. Circuito de potencia bobinas encendido

Los relés del simulador tienen alimentación de 12 V de fuente y el cierre de circuito por negativo se realiza por medio de un transistor TIP 122 que a su vez es comandado por la ECU para su activación, esta disposición se utiliza tanto para el control de relé de bomba de combustible como el de electro ventilador y su accionamiento está condicionado por la ECU. Su circuito se puede apreciar en la figura 5.

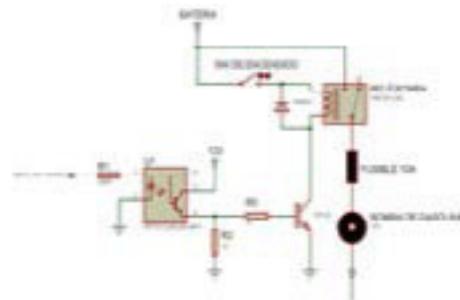


Figura 5. Circuito de potencia para relés.

### OBTENCIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO.

La ecuación 1[1] permite determinar el ancho de pulso (PW), la misma que considera las correcciones para determinar cuál es el tiempo de duración del pulso que debe dar l

$$PW = REQ\ GAS * \frac{VE}{100} * \frac{MAP}{100KPa} * \frac{AJUSTEMP}{100} * ACEL + TAI \quad (1)$$

Dónde:

**REQ\_GAS:** Cantidad de combustible a inyectar (ms)

**VE:** Eficiencia volumétrica (asumido 85%)

**MAP:** Presión en múltiple de admisión (KPa).

**AJUSTEMP:** Factor de enriquecimiento basado en la temperatura del sensor ECT.

**ACEL:** Enriquecimiento extra para solicitudes de aceleración bajo demanda del TPS (de 0% a 90%)

**TAI:** Tiempo de apertura básico del inyector (ms)

REQ\_GAS es el valor que indica la cantidad de combustible a inyectar para lograr la mezcla estequiométrica expresada en milisegundos (ms). El que se obtiene mediante la ecuación 2 [1]

$$REQ\_GAS = \frac{CIL * DENAIR}{NCIL * AFR * FLUJ INY} * \frac{1}{NINY} \quad (2)$$

Dónde:

**CIL:** Cilindraje del motor en litros [l]

**DENAIR:** Densidad aire 1.185 [gr/l]

**NCIL:** Número de cilindros.

**AFR:** Relación aire/combustible.

**FLUJINY:** Flujo del inyector [gramos/segundo]

**NINY:** Número de inyecciones en 720 grados

El proceso de corrección se inicia con el establecimiento del ancho de pulso de la base obtenida de REQ\_GAS. Los parámetros de ajuste tienen como finalidad controlar la cantidad de combustible, que en diferentes condiciones de funcionamiento del motor es necesario inyectar. Esta corrección del pulso de inyección se realiza debido a parámetros como la temperatura, eficiencia volumétrica, Presión del múltiple y aceleración.

Los sensores MAP y TPS presentan una función lineal de la cual se tiene la ecuación 3:

$$y=mx+b \quad (3)$$

Para el MAP:

X = P (Presión en el múltiple de admisión)

Y = V (Voltaje que genera el sensor)

$$V=mP+b \quad (4)$$

Con dos valores experimentales conocidos (P =

71 Kpa y V = 2,9) se obtiene:

$$MAP = \frac{V - 0.1}{0.0395} \quad (5)$$

Para el sensor TPS los valores serian:

X = % Apertura del acelerador

Y = Voltaje del sensor

$$V = m * \% AP + b \quad (6)$$

Reemplazando con dos valores conocidos (% AP = 39 y V = 2.43) se obtiene:

$$\%AP = \frac{V-0.6}{0.0469} \quad (7)$$

Para demandas de aceleración se realiza la corrección porcentual, para 1.01% la corrección será de 1,01, para 99% será de 1,99 (corrección mínima y máxima respectivamente) y cuando no hay aceleración la corrección será un factor multiplicador de 1 considerado en la fórmula 1 como el valor ACEL.

Los sensores de temperatura ECT e IAT son del tipo NTC y tienen una respuesta exponencial negativa de su resistencia interna con respecto a la variación de la temperatura. Se obtiene la ecuación que relaciona la temperatura del sensor en función del voltaje y es la fórmula que se empleará para la programación del microcontrolador. Esta relación esta expresada en la fórmula 8.

$$T = \frac{4034.9558}{12.918172 - \ln\left(\frac{5V}{V_{RT1}} - 1\right)} - 273 \quad (8)$$

Para determinar el número de moles de aire que ingresan en el proceso de combustión al cilindro, se considera al aire como gas ideal, por lo cual obedece la siguiente Ley de Gases Ideales:

$$P * V = n * R * T \quad (9)$$

Dónde:

P: Presión del aire en atmósferas (atm)

V: Volumen del aire en litros (l)

n: Número de moles (mol)

T: Temperatura (°K)

R: Constante universal de los gases: 0.082 atm\*l/°K\*mol

Se conoce también que el número de moles se puede determinar con la siguiente expresión:

$$n = \frac{m_{\text{aire}}}{mm_{\text{aire}}} \quad (10)$$

Dónde:

$m_{\text{aire}}$  Masa de aire en gramos

$mm_{\text{(aire)}}$  Masa molar del aire = 28.9 gr./mol.

Finalmente se obtiene:

$$m_{\text{aire}} = 3.482 * \frac{MAP * V}{IAT + 273} [gr_{\text{aire}}] \quad (11)$$

### SELECCIÓN DEL TIPO DE PROGRAMACIÓN Y LENGUAJE.

El programa implementado en el microcontrolador para el control de los actuadores del sistema de inyección electrónica de combustible se realiza en base a la herramienta BASCOM AVR, desarrollado por la empresa MCS Electronics, el cual es un compilador disponible para la familia de microcontroladores 8051s, AT89Cx051, Atmel AVR.

La memoria interna de la ECU tiene valores preestablecidos de los voltajes de variación de los sensores tomando como limites los siguientes:

- Sensores TPS, MAP, ECT, IAT: valores comprendidos entre 0,5 a 4,5 V.
- Sensor de oxigeno (O2): de 0 a 1 V.
- Sensor KS: de 2, 4 y 6 V AC.

La estrategia de control del simulador depende de la ausencia o no de diferentes señales de sensores y de sus valores para determinar el funcionamiento en lazo cerrado o lazo abierto, los tiempos y secuencia de inyección, las correcciones y las estrategias de control de actuadores en general, como se puede apreciar en el diagrama de flujo de la figura 6.

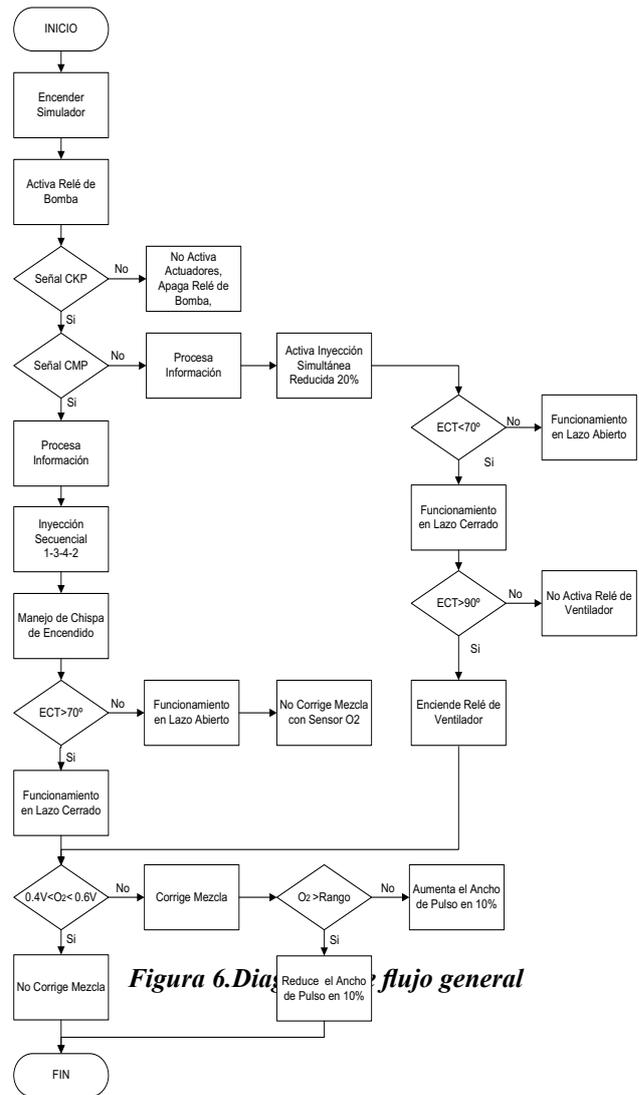


Figura 6. Diagrama de flujo general

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### Verificación de ancho de pulso:

Para comprobar el funcionamiento del equipo simulador se realiza inicialmente una prueba de medición del ancho de pulso y se compara con los tiempos obtenidos con el modelo matemático a diferentes condiciones de carga. En esta prueba se encuentra valores de error de hasta el 10.82% como se observa en la tabla 1 y en la figura 7.

Tabla 1. Verificación ancho de pulso.

CONDICION IAT A 25 GRADOS CENTIGRADOS										
RPM	TEMP	Req_Fuel	EV	MAP	Accel	ECT	TAI [ms]	PW calc	PW med [ms]	% Error
800	90	8.89	0.73	0.21	1.01	1	1	2.38	2.6	9.41
800	25	8.89	0.73	0.21	1.01	1.2	1	2.65	2.9	-9.36
1300	30	8.89	0.61	0.54	1.15	1	1	4.37	4.01	8.19
1300	90	8.89	0.61	0.54	1.15	1.2	1	5.04	4.6	8.75
2400	90	8.89	0.41	0.83	1.75	1	1	6.29	6.1	3.09
2400	30	8.89	0.41	0.83	1.75	1.2	1	7.35	7.34	0.18
3500	30	8.89	0.34	0.88	1.9	1	1	6.05	6.6	-9.02
3500	90	8.89	0.34	0.88	1.9	1.2	1	7.06	6.3	10.82
5100	90	8.89	0.29	0.95	2	1	1	5.90	6.2	-5.11
5100	25	8.89	0.29	0.95	2	1.2	1	6.88	7.4	-7.59

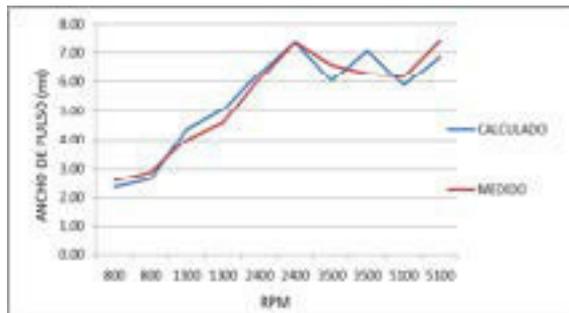


Figura 7. Ancho de pulso medido vs. Calculado

**Prueba en modo alterno de falla:**

Se verifica los tiempos de inyección en simulación de modo alterno de falla. Esta prueba sirve para estimar el comportamiento del simulador al tener fallas o ausencia de sensores. El detalle de esto en la Tabla 2.

Tabla 2. Pruebas en modo alterno de falla.

800 RPM, MAP = 22 KPA, TPS = 3%		
SENSOR ECT	ANCHO PULSO ms	
90 °C	1,90	
DESCONECTADO	2,47	
800 RPM, MAP = 22 KPA, ECT=90°, TP DESCONECTADO		
SENSOR ECT	ANCHO PULSO ms	PULSO CORREGIDO
90 °C	1,90	3,47
PRUEBA CON SENSOR CKP DESCONECTADO	NO ACTIVA ACTUADORES	
PRUEBA CON CMP DESCONECTADO	REALIZA INYECCION SIMULTANEA	

**Obtención de mapas de inyección**

Es posible obtener mapas bidireccionales de la variación independiente de sensores para determinar su influencia en el ancho de pulso.

Se realiza la variación en modo independiente del MAP y del TPS a 90 ° C. (Tabla 3) obteniéndose el mapa de la figura 8.

Tabla 3. PW con Variación independiente del MAP y TPS

MAP	TPS A90°C									
	0	12	20	30	40	50	60	70	80	85
10	1.82	1.83	1.84	2.00	2.48	2.99	3.35	3.50	3.56	
30	1.96	1.97	1.97	2.00	2.40	3.57	3.40	3.60	3.70	
50	2.20	2.23	2.23	2.29	2.45	3.10	4.43	4.80	4.85	
80	2.47	2.48	2.40	2.66	3.37	4.20	5.00	5.31	5.40	
95	2.90	2.90	3.00	3.10	3.84	5.10	6.01	6.47	6.60	

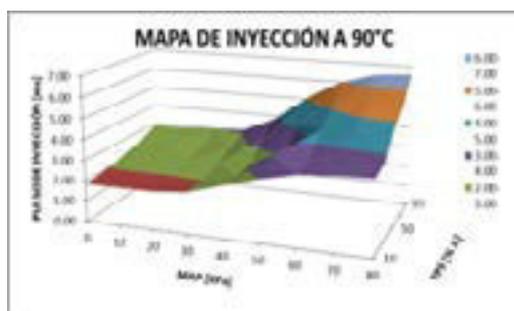


Figura 8. Mapa de inyección MAP y TPS

Adicionalmente, se obtiene el mapa de inyección en simulación de modo real de funcionamiento del motor. Se puede determinar el ancho de pulso obtenido al variar el TPS que varía simultáneamente con el MAP del simulador en rangos normales de operación (tabla 4 y figura 9).

Tabla 4. Ancho de pulso real a 90° C

MAP	TPS								
0	22	30	40	50	60	70	80	90	95
0.5	2.71								
18		2.74							
35			3.10						
50				3.51					
66					4.60				
81						5.72			
97							6.23		
97								6.4	

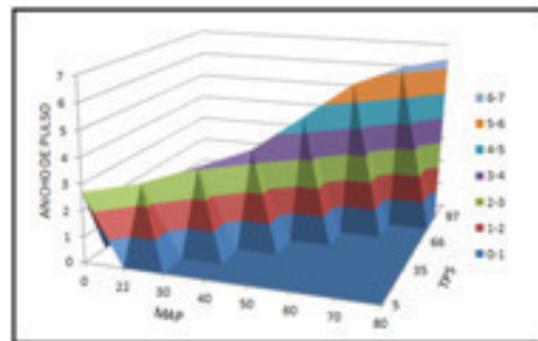


Figura 9. Mapa de inyección lineal modo real.

**Obtención de formas de onda:**

Es posible la obtención de las formas de onda de inyectores y de bobinas de encendido con ayuda de un osciloscopio en tiempo real.

En la simulación dinámica al verificar las formas de onda de los actuadores como inyectores y bobinas de encendido, se observa que las formas de onda obtenidas, son iguales a las formas de onda de un motor real de un vehículo en funcionamiento permitiendo analizar el estado del actuador.

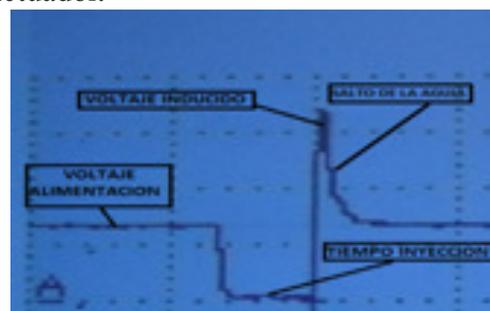


Figura10. Forma de onda del inyector

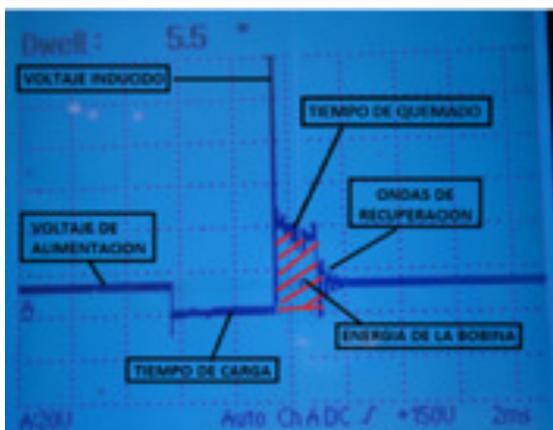


Figura 11. Forma de onda de la bobina de encendido

## CONCLUSIONES

Disponer de un equipo de simulación es importante porque permite entender el comportamiento de los diferentes sensores, el procesamiento de su información y el comportamiento de los actuadores, así como de la electrónica para el acondicionamiento de las diferentes señales y control de potencia en la Unidad Electrónica de Control (ECU), a la vez facilita el aprendizaje de los sistemas de inyección electrónica de combustible.

La utilización de circuitos de simulación para varios sensores, facilita la construcción de equipos con comportamientos sean semejantes.

El modelo matemático permite realizar la simulación adecuada del sistema de inyección electrónica de combustible y los resultados experimentales obtenidos son muy semejantes a los calculados, presentando un error absoluto comprendido entre el 0.18 % y 10.82%, observándose los errores en diferentes partes de la curva debido al comportamiento logarítmico de los potenciómetros utilizados.

Los parámetros considerados en el diseño del simulador corresponden a los de funcionamiento de un motor real. Lo que se verifica al incrementar las RPM y MAP con el accionamiento del TPS y la mariposa de aceleración, esto facilita la comprensión del comportamiento del sistema de inyección electrónica de combustible en su conjunto.

Con el equipo simulador es posible obtener diagramas de tablas bidireccionales de comportamiento de los sensores y visualizar

como afectan en la corrección del tiempo de inyección.

Se establece múltiples pruebas del funcionamiento del sistema de inyección electrónica de combustible que permite verificar la incidencia de cada elemento por separado en la corrección de los tiempos de apertura de los inyectores.

Los potenciómetros del mercado local utilizados en los circuitos para la simulación de sensores, presentan un contacto defectuoso entre la pista interna y el curso del mismo, por lo que generan excesivo ruido eléctrico y fallas en la lectura de los microprocesadores dando errores en el procesamiento de la información, en el cálculo los tiempos de inyección y valores de las señales simuladas de sensores. Estos errores no se presentan con la utilización de los potenciómetros implementados en el software, ya que las señales no pasan por etapas de potencia y trabaja de manera ideal.

En la simulación del sensor TPS, al tener el potenciómetro una respuesta logarítmica, no permite una variación constante de la aceleración presentando señales bruscas ya que no presenta un comportamiento lineal en la curva de la aceleración.

El simulador no tiene de una óptima condición de la instalación a tierra de las bobinas de encendido por no disponer de un área metálica extensa en el equipo, lo que no permite una saturación correcta de la bobina en el tiempo de carga para obtener una chispa de mejor calidad en las bujías.

Los circuitos de simulación son de gran utilidad en la comprobación del funcionamiento del sistema de inyección electrónica de combustible, ya que es posible verificar el comportamiento de actuadores sin necesidad de colocar el motor en funcionamiento, estos circuitos permiten reemplazar temporalmente sensores de un sistema real.

## RECOMENDACIONES:

Tener precaución al momento de medir valores

de la bobina de encendido ya que estas generan voltajes altos tanto en primario como en secundario. Para las mediciones se debe utilizar puntos de prueba debidamente señalados.

No manipular las conexiones internas del equipo simulador ya que se puede causar daños personales y daños a los elementos electrónicos internos del equipo debido a interferencias y ruido eléctrico.

Habilitar la etapa de potencia con el interruptor indicado en el tablero del simulador para activar inyectores, bobinas y válvula IAC, sólo cuando se requiera observar funcionamiento real de los mismos. Caso contrario realizar las pruebas regulares con los LEDS indicadores de inyección, chispa y válvula IAC.

Para futuras aplicaciones el reemplazo de potenciómetros logarítmicos por otros de respuesta lineal adquiribles solo bajo importación ya que estos minimizan el ruido eléctrico y las interferencias hacia los microprocesadores.

El uso de un bastidor metálico como mueble soporte del equipo simulador para mejorar el área de aterrizaje de bobinas de encendido para la obtención de una mejor calidad de chispa en las bujías.

Para filtrar y minimizar el ruido eléctrico producido por los altos voltajes generados por las bobinas de encendido y bobinas de inyectores se recomienda la utilización de condensadores en los pines de entrada del microprocesador y cables con blindaje mallado.

El uso de los circuitos de simulación para generar señales en motores con sensores y actuadores de difícil acceso, elementos faltantes o de difícil adquisición.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] <http://www.megamanual.com/MSFAQ.htm#create> [Último acceso: 15 agosto 2017]
- [2] <http://www.msextra.com/feature-xref.html> [Último acceso: 12 Julio 2017]
- [3] <http://www.cisettraining.com/mod/resource/>

[4] Obregón Santana, Julio George. Análisis de Wave forms en sensores y actuadores del sistema de control electrónico sobre la inyección de combustible del motor S4A del vehículo chevrolet sail. BS thesis. GUAYAQUIL/UIDE/2016.

[5] Campoverde Toledo, Pablo Vinicio. Determinación de la eficiencia de un motor ciclo Otto de inyección electrónica respecto de la temperatura y presión de inyección del combustible. MS thesis. Quito, 2016.

[6] AREVALO SANTAMARIA Telmo Javier. Tesi EPN: Diseño e Implementación del Control Electrónico de Dosificación de Combustible para un Motor de Combustión Interna de la Empresa A&S Custom Bikes 2012, página 34.

## RAUL HERNAN HIDROBO SALAZAR

Nacionalidad Colombiano, Tecnólogo Electromecánico e Ingeniero Eléctrico Escuela Politécnica Nacional, Master en Ingeniería en Ciencias Automotrices, Mención Summa Cum Laude, Escuela Politécnica Nacional- Quito, 2014. Estudios de especialización como Master Technician en electrónica gasolina, electrónica diésel, sistemas Híbridos en CISE Electronics Coop Miami,



Técnico Certificado ASE (Automotive Service Excellence) en electrónica automotriz (Virginia EEUU), soporte técnico a varias empresas petroleras, trabajó del 2007 a 2010 como Ingeniero Técnico de Launch China Para Latinoamérica, Ingeniero de soporte para Brain Bee Italia, Empresa GIT Corea, instructor técnico Internacional para CISE Electronics Coop programa Técnicos Master. Conferencista en Argentina, Chile, Bolivia, Perú, Ecuador, Colombia, Brasil, México, Honduras, Miami, Gerente propietario de Mecánica Express. Amplias investigaciones en el área de sistemas Híbridos y electrónica aplicada desde el año 2009.

## ANGEL ADALBERTO PORTILLA WILSON LEOPOLDO MORAN FLORES AGUILAR

Ingeniero Mecánico de la Escuela Politécnica Nacional-Quito en 1986. Master en Ingeniería Mecánica- Sistemas Automotrices, Escuela Politécnica Nacional-Quito, 2010.



Ha trabajado como Auxiliar y Ayudante de Laboratorio en la Facultad de Ingeniería Mecánica. Ha coordinado

varios estudios en el país en las áreas de energías alternativas, de combustibles alternativos, tecnologías para motores, contaminación ambiental de origen automotriz, entre otros. Profesor Principal en la Facultad de Ingeniería Mecánica, Jefe de los Laboratorios de Motores de Combustión Interna y Transferencia de Calor. Director Ejecutivo del Centro de Transferencia Tecnológica en Control de Emisiones Vehiculares.

Ingeniero Mecánico Cum Laude en la Escuela Politécnica Nacional-Quito en 1986. Se recibe como Magíster en Sistemas Automotrices en la EPN con la mención Summa Cum laude 2104. Trabajo en AYMESA, ensambladora de vehículos multimarca. Posteriormente ingresa a Quito Motors, concesionario



FORD en el Ecuador, obtuvo el título de Master Technician con mención en Electrónica por parte de Ford Motor Company USA y Título de Technical Trainer. Actualmente es gerente de Talleres SERVICENTRO en Quito y profesor de la EPN desde el año 1997.

## LUIS ANIBAL CORRALES PAUCAR

Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones Escuela Politécnica Nacional. En la Universidad de Strathclyde, en Gran Bretaña, sigue sus estudios de post grado donde, desde 1984 a 1988, hace su Maestría en Ciencias (MSc) y su PhD. en la especialidad de Bioingeniería. Trabajó por diez años como Consultor en el Área de Sistemas en el



Banco Interamericano de Desarrollo, es Profesor Principal en la EPN y es también Instructor CCNA de la Academia de CISCO en la EPN. Conferencista en varias Instituciones Educativas del País, así como para varias empresas públicas y privadas, en temas relacionados con Redes LAN, WAN, Redes Digitales Industriales, Instrumentación Biomédica, Bioingeniería, Instrumentación Industrial.

## **METODOLOGÍA DE IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS DE GESTIÓN ENERGÉTICA EN BASE A LA NORMA ISO 50001:2011**

### **METHODOLOGY OF IMPLEMENTATION OF ENERGY MANAGEMENT SYSTEMS BASED ON ISO 50001: 2011 STANDARD**

Luis Marcelo Arellano Rodríguez<sup>1</sup>, María Gabriela Tapia Carrillo<sup>2</sup>, Jonathan Samuel Vélez Salazar<sup>3</sup>, Cristian Paul Chuchico Arcos<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Universidad de Fuerzas Armadas ESPE – Unidad de Gestión de Tecnologías, Quijano y Ordoñez y Hermanas Páez s/n.

<sup>2</sup>MINEDUC Distrito Latacunga, Av. Antonio Vela y Guayaquil

<sup>3</sup>Universidad de Fuerzas Armadas ESPE – Unidad de Gestión de Tecnologías, Quijano y Ordoñez y Hermanas Páez s/n.

<sup>4</sup>Universidad de Fuerzas Armadas ESPE – Unidad de Gestión de Tecnologías, Quijano y Ordoñez y Hermanas Páez s/n.

e – mail: <sup>1</sup>lmarellano1@espe.edu.ec, <sup>2</sup>maria.tapia@utc.edu.ec, <sup>3</sup>jsvelez1@espe.edu.ec, <sup>4</sup>cpchuchico@espe.edu.ec

*Revista Energía Mecánica Innovación y Futuro VI Edición 2017, No.1 (19)*

#### **RESUMEN**

El objetivo de esta publicación es guiar al lector hacia la implementación de un sistema de gestión de energía basado en los requisitos establecidos en la norma ISO 50001:2011, con el propósito de direccionar a las organizaciones a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y mitigar impactos ambientales relacionados, como también influenciar estas actividades en los costes de la energía por medio de un programa sistemático de eficiencia de energía.

Como en todos los Sistemas de Gestión, un requisito indispensable para poner en marcha la implementación del mismo, es el compromiso asumido por todos los miembros de la organización; una vez logrado, se procede a la instauración de una política de gestión energética. Esta política es el elemento inicial para la siguiente etapa, la planificación estratégica, en la cual se obtienen y analizan datos referentes a consumo de energía, conociendo sus principales usos y las variables que intervienen en este proceso. Posteriormente, se procede a diseñar y definir los controles y actividades que servirán para vigilar, evaluar y analizar la organización.

Finalmente, intervienen ciertas actividades de retroalimentación, las cuales permiten respaldar al SGE (Sistema de Gestión Energética)

#### **Palabras clave**

Eficiencia energética / Gestión de energía / ISO 50001:2011

#### **ABSTRACT**

The purpose of this publication is to guide the reader towards the implementation of an energy management system based on the requirements established in ISO 50001: 2011, with the objective of directing organizations to reduce greenhouse gas emissions and mitigate related environmental impacts, as well as to influence these activities on energy costs through a systematic program of energy efficiency.

As in all the Management Systems, an indispensable requirement to start the implementation, is the commitment assumed by all the members of the organization; once this is achieved, an energy management policy is established.

This policy is the initial element for the next stage, the strategic planning, in which data related to energy consumption is obtained and analyzed, knowing its main uses and the variables that intervene in this process. Subsequently we proceed to design and define the controls and activities that will serve to monitor, evaluate and analyze the organization.

Finally, certain feedback activities intervene, which allow to support the SGE (Energy Management System)

#### **Keywords:**

Energy efficiency / Energy management / ISO 50001: 2011

## 1. INTRODUCCIÓN

La energía es el recurso indispensable en todas las actividades de una organización, sin tomar en cuenta el tamaño o a que sector pertenezca, por tal razón uno de sus principales objetivos debería ser gestionar este recurso que supone costos muy representativos en su labor. El uso de energía repercute notablemente en el entorno, desde el mismo hecho de que para producirla se requiere gran cantidad de recursos; y a la vez, mientras más energía se consume, notablemente se requiere de mayor cantidad de los mismos para producirla.[1]

A esto se suma los terribles efectos que el uso indebido e indiscriminado de los recursos naturales, sin conciencia ambiental ni sentido de responsabilidad social o sostenibilidad ha causado en el planeta, como el cambio climático.

Como respuesta a esta preocupación de carácter mundial, varios organismos internacionales empezaron a proponer medidas para mitigar los efectos nocivos del consumo irracional de energía.[2]

El Protocolo de Kioto de la convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (1998) buscar disminuir las emisiones de gases que provocan el efecto invernadero sobre todo de los países industrializados y la Unión Europea, debido a que son los principales emisores de Gas Efecto Invernadero “GEI” presente en la atmósfera.[3]

Este protocolo busca que en cada país se delimiten políticas y leyes a favor del medio ambiente, para reducir las emisiones de GEI, entre las que deberían considerarse la eficiencia energética y el uso de energía limpia.[4]

Específicamente en el artículo 2, numeral 1, literal a); se menciona que se deben elaborar y tomar medidas en función de cada contexto nacional, en temas referentes al fomento de la eficiencia energética en los sectores pertinentes de la economía nacional; investigación, promoción, desarrollo y aumento del uso de formas nuevas y renovables de energía, de tecnologías de secuestro del dióxido de carbono y de tecnologías avanzadas y novedosas que sean ecológicamente racionales; entre otros. [5]

En 2007, se celebra una cumbre por parte de la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (UNIDO), en donde se pone de manifiesto la imperiosa necesidad de establecer un estándar internacional que regule el consumo de energía industrial.

Bajo estas iniciativas en el Ecuador, de acuerdo a cifras del INEC, se investigaron 2232 empresas a nivel nacional incluido Galápagos, con el objetivo de proporcionar información precisa y fiable de las principales características ambientales de diversos sectores que constituyen la actividad industrial de la economía del país, siendo el consumo de energía eléctrica acaparado por la industria manufacturera con un 71,17% [6], también reflejó que existe una alto índice de empresas que cuentan con personal dedicado a actividades ambientales, quienes deben innovar en la manera en que se gestiona su labor.

Una alternativa que se ha tomado como estrategia empresarial, a favor del uso eficiente de energía, es la implementación de la ISO 50001:2011. La Organización Internacional de Normalización – ISO por sus siglas en inglés (International Organization for Standardization), propone un nuevo sistema de Gestión conocido como Sistema de Gestión Energético, que busca desarrollar e implementar la política energética de la organización [7], a través de la Norma ISO 50001 publicada en 2011, la cual detalla los requisitos que debe poseer un Sistema de Gestión Energético, con la finalidad de obtener un mejor rendimiento de energía en las organizaciones. [8]

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

El Ecuador por su situación geográfica es un país privilegiado, lleno de recursos renovables y no renovables, con un gran potencial en cuanto a petróleo, recursos hídricos, geotérmicos y solares, como fuentes de electricidad.

Es indudable la importancia que tiene la electricidad para el crecimiento económico y obviamente el desarrollo de todo el país, ya que es el motor permanente de la industria, del comercio del sector productivo y principio para el mejoramiento de la calidad de vida de todos los hogares.

**Tabla 1. Balance nacional de energía**

1. Potencial generación de energía eléctrica	nominal en	MW	%
Energía Renovable	Hidráulica	4.446,36	54,05
	Eólica	21,15	0,26
	Fotovoltaica	26,48	0,32
	Biomasa	144,30	1,75
	Biogas	2,00	0,02
<b>Total Energía Renovable</b>		<b>4.640,29</b>	<b>56,41</b>
No Renovable	Térmica MCI	2.005,43	24,38
	Térmica	1.118,85	13,60
	Turbogas		
	Térmica Turbovapor	461,87	5,61
<b>Total Energía No Renovable</b>		<b>3.586,14</b>	<b>43,59</b>
<b>Total Potencial Nominal</b>		<b>8.226,42</b>	<b>100</b>
Interconexiones	Colombia	540,00	83,08
	Perú	110,00	16,92
<b>Total Interconexiones</b>		<b>650,00</b>	<b>100</b>

En la última década, el gobierno ecuatoriano ha establecido en sus políticas de desarrollo y Buen Vivir, un programa de fortalecimiento de la matriz productiva, por medio del cambio de la matriz energética, cuya dirección se estableció en función de la reconocida riqueza natural del país, como también en la optimización de los recursos naturales, basado en indicadores, estudios y proyecciones, como se establece en la tabla 1 donde se presenta el balance nacional de energía con base al potencial nominal en MW por tipo de energía: renovable (4.640,29 MW) y no renovable (3.586,14 MW), equivalente al 56,41% y 43,59% respectivamente, donde además se define que las centrales hidráulicas son las que más destacaron con 4.446,36 MW, que representa el 54,05% del total de la potencia nominal en generación. [2]

La generación de energía y más aún el consumo de la misma, tienen un impacto considerable sobre el medio ambiente, que demanda a las organizaciones la implementación de sistemas de gestión de uso racional de recursos energéticos, estrategias que no provoquen un impacto negativo en la eficiencia de sus procesos, sino que por el contrario, represente un cambio innovador que tenga frutos y mejore la calidad y el valor agregado de los mismos.[9]

Con referencia al estudio de buenas prácticas de uso de recursos energéticos se delinean dos mecanismos para mejorar la eficiencia energética, uno de ellos es de base tecnológica, que supone el

uso de componentes de alta precisión y eficiencia, y la implementación de procesos innovadores que mitiguen el desperdicio de energía. Otro mecanismo y del cual se obtienen los mejores resultados es de base conductual, el cual requiere cambios en las conductas y en el compromiso organizacional sin alterar ningún equipo [5].

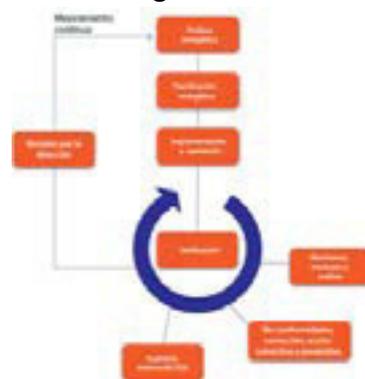
Este panorama ha motivado a la Organización Internacional para la Estandarización a desarrollar lineamientos para frenar el consumo desmesurado de energía mediante la gestión eficiente de forma continua a través de la ISO 50001.[10]

Esta norma al igual que las otras ISO, se sustenta o se basa en el ciclo de Deming "PDCA": Plan, Do, Check, Act [8], lo que se puede evidenciar en la tabla 2.

**Tabla 2. Ciclo PCDA en la ISO 50001**

<b>PLAN</b>	Entender el comportamiento energético organizacional para establecer objetivos que mejoren el desempeño en esta área.
<b>DO</b>	Implementar procedimientos y procesos sistematizados, para controlar y mejorar el desempeño energético.
<b>CHECK</b>	Monitorear y medir procesos y productos en base a la política y a los objetivos previamente establecidos. Reportar los resultados.
<b>ACT</b>	En base a los resultados proponer acciones de mejora continua en relación al desempeño energético.

Según la propia ISO, la norma 50001 influiría hasta en un 60% del consumo mundial de energía [8] y puede ser implementada independientemente del tipo o tamaño de organización.

**Figura 1. Modelo de Sistema de Gestión**

La implementación de un sistema de gestión basado en la norma ISO 50001, traerá consigo

varios beneficios [7], entre los que se destacan:

**Tabla 3. Beneficios de la implementación de ISO 50001**

<b>ENERGÉTICOS Y AMBIENTALES</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Optimización de la utilización energética.</li> <li>- Reducción de emisiones de gases CO<sub>2</sub> a la atmósfera.</li> <li>- Disminución del impacto ambiental.</li> <li>- Buen uso de recursos naturales.</li> <li>- Fomento de energía renovable y alternativa.</li> </ul>
<b>LIDERAZGO E IMAGEN</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Imagen de compromiso con el desarrollo energético sostenible.</li> <li>- Organización comprometida con el cambio climático.</li> <li>- Cumplimiento de requisitos legales.</li> </ul>
<b>SOCIALES Y ECONÓMICOS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ahorro en gasto energético.</li> <li>- Disminución de dependencia energética exterior.</li> <li>- Disminución de riesgos derivados de las oscilaciones de los precios de recursos energéticos.</li> </ul>

En todos los sistemas de gestión, un requisito indispensable para poner en marcha la implementación del mismo, es el compromiso tanto de la alta gerencia, como de cada uno de quienes integran la entidad, y en especial del responsable directo de la gestión energética organizacional.

Una vez que se cuenta con este compromiso, se debe instaurar y promover una cultura organizacional y una política de gestión energética, lo cual es el elemento inicial para la siguiente etapa, que corresponde a la planificación estratégica, en la cual se obtienen y analizan datos referentes a consumo de energía, para conocer sus principales usos y las variables que intervienen en este proceso.

Una vez establecida la planificación, se procede a diseñar y definir los controles y actividades que servirán para vigilar, evaluar y analizar la organización.

Finalmente, intervienen ciertas actividades de evaluación y retroalimentación, las cuales permiten dar soporte al SGE.

**Tabla 4. Estructura de la norma ISO 50001**

<b>1. Objeto y campo de aplicación</b>	Razones de la creación de la norma, sus objetivos y campos de aplicación.
<b>2. Referencias normativas</b>	Antecedentes de la norma ISO 50001.
<b>3. Términos y definiciones</b>	Vocabulario relacionado a Gestión Energética y su implementación en un sistema
<b>4. Requisitos del Sistema de Gestión de Energía</b>	<p>Procesos, métodos, prácticas y documentos necesarios para la implementación:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Responsabilidad de la dirección</li> <li>- Política energética</li> <li>- Planificación energética</li> <li>- Implementación y operación</li> <li>- Verificación</li> <li>- Revisión por la dirección</li> </ul>

A la vez los requerimientos del sistema se dividen en medulares, que son aquellos procedimientos que son esenciales para observar y mejorar el desempeño energético, y estructurales, los cuales proveen estructura en torno a los requerimientos medulares y que convierten a la gestión de la energía en un proceso sistemático y controlado. [1]



**Figura 2. Actividades medulares**

**Tabla 5. Actividades estructurales**

<b>Requisitos generales</b>	4.1 Requisitos generales. 4.2 Responsabilidad de la dirección. 4.2.1 Alta dirección. 4.2.2 Representante de la dirección. 4.3 Política Energética.
<b>Planificar</b>	4.4 Planificación Energética. 4.4.1 Generalidades. 4.4.2 Requisitos legales y otros requisitos. 4.4.3 Revisión energética. * 4.4.4 Línea base energética. * 4.4.5 Indicadores de desempeño energético. * 4.4.6 Objetivos energéticos, metas energéticas y planes de acción de gestión de la energía. *
<b>Hacer</b>	4.5 Implementación y operación. 4.5.1 Generalidades. 4.5.2 Competencia, formación y toma de conciencia. 4.5.3 Comunicación. 4.5.4 Documentación. 4.5.5 Control operacional. 4.5.6 Diseño. * 4.5.7 Adquisición de servicios de energía, productos, equipos y energía. *
<b>Verificar</b>	4.6 Verificación. 4.6.1 Seguimiento, medición y análisis. * 4.6.2 Evaluación de cumplimiento con los requisitos legales y otros requisitos. 4.6.3 Auditoría Interna del SGE. 4.6.4 No - conformidades, corrección, acción correctiva y preventiva. 4.6.5 Control de registros.
<b>Actuar</b>	4.7 Revisión por la dirección. 4.7.1 Generalidades. 4.7.2 Información de entrada para la revisión por la dirección. 4.7.3 Resultado de la revisión por la dirección.

\* Actividades medulares

## Proceso de implementación de la norma ISO 50001

**a. Planificación:** Se debe revisar aquellos aspectos que tengan un impacto directo energético, tales como: equipos, actividades, procesos y sistemas; personal y las actividades que realizan; los requisitos legales; identificación de oportunidades de mejora.

Dentro de este apartado hay que mencionar que existe una etapa previa e indispensable que es el análisis de brechas por medio del levantamiento de información documental y una reunión con los coordinadores de la gestión de energía. Como resultado de esta etapa se obtienen varios ítems que serán documentados señalando las brechas que deben ser corregidas para poder implementar el SGE, con responsables y plazos.

**b. Operación:** Se debe promover comunicación abierta entre los distintos niveles organizaciones; definir actividades de mantenimiento; cumplir con los requisitos establecidos en la norma de seguimiento y supervisión.

Como ya se ha mencionado es fundamental el compromiso de la alta gerencia, lo cual será el punto de partida, para definir en función del alcance, los medios necesarios, difundiendo la importancia del SGE, sus beneficios y las responsabilidades que tendrán todos los integrantes de la entidad.

Para esto es necesaria la declaración de la política energética, en la que debe establecerse las intenciones de mejora de la gestión energética, para respaldar las actividades a desarrollar y alinear a la entidad al cumplimiento de sus objetivos y metas, lo cuales deben estar establecidos en los requerimientos medulares fundamentales como son:

- Planificación energética.
- Control Operacional.
- Seguimiento, medición y análisis.
- Diseño de proyectos y procesos de adquisición de servicios de energía, productos, equipos.

No se debe olvidar los requerimientos estructurales que dan sostenibilidad al SGE

en el tiempo, respaldando los compromisos energéticos que se hayan implementado en la política y en los objetivos, como son:

- Competencia, formación y toma de conciencia.
- Comunicación.
- Documentación y registro.
- Auditoría interna, no conformidades, acciones preventivas y correctivas.
- Revisión de la alta gerencia

**c. Examen y medidas correctivas:** Una vez puesto en marcha, se debe verificar el cumplimiento de los objetivos previstos anteriormente y realizar auditorías internas.

**d. Revisión de la dirección:** Se lo realiza para tener mayor control sobre la implementación, verificando la eficacia y eficiencia del sistema, acciones correctivas y oportunidades de mejora.

**e. Recomendaciones generales:** Se las realiza para asegurar la permanencia y sostenibilidad del Sistema de Gestión Energética. [1]- [4]- [8]



Figura 3. Pasos para la implementación de la ISO 50001

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con el fin de determinar la aplicabilidad de la Norma ISO 50001 en el Ecuador, se tomó como ejemplo el caso de GM OBB, quien se convirtió en la primera empresa del país en recibir la certificación ISO 50001:2011, en el marco del Proyecto “Eficiencia Energética para la Industria en el Ecuador” (EEI) promovido por el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER) y

la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI). [2]

La entrega de esta certificación tiene dos impactos importantes en la percepción a nivel país, por un lado demuestra que la norma establece requisitos alcanzables, siendo un ejemplo a seguir por el resto del sector productivo, y por otro lado reafirma el compromiso de GM OBB de ser protagonista del cambio de matriz productiva del Ecuador, mejorar su competitividad y de continuar con una gestión ambientalmente responsable a través de la aplicación de sistemas eficientes de gestión energética.

Según experiencias internacionales como es el caso de Central Térmica Quintero de Endesa, Papeles BioBio y el Mall Plaza Sur en Chile, el potencial de reducción del consumo energético debido a la implementación de la norma ISO 50001, se establece en un 40%, dependiendo del sector y la actividad. Con esto se establece la mejora en la rentabilidad ya que implica una optimización en los costos de producción. [1]

### Aspectos económicos

**Tabla 6. Costos e inversión estimados en horas / hombre**

	<b>Horas / hombre</b>
Alta gerencia	<b>80</b>
Representante de alta gerencia	<b>346</b>
Operación	<b>101</b>
Ingeniería/proyectos	<b>109</b>
Mantenimiento	<b>101</b>
Recursos humanos	<b>59</b>
Comunicación y marketing	<b>79</b>
Legal	<b>59</b>
Compras	<b>35</b>
Consultor externo	<b>540</b>
<b>TOTAL</b>	<b>1509</b>

En base a la metodología descrita anteriormente y de las actividades estipuladas, se puede estimar los costos de inversión en horas/hombre para un proyecto de implementación de la ISO 50001, considerando varias actividades como: diseño del SGE (análisis de brechas, compromisos de la alta gerencia, operación, soporte), implementación del SGE (operación, soporte), y análisis del SGE, tomando como referencia la actuación de personal [1] de varias áreas que intervienen en el

SGE, como se visualiza en la tabla 6.

### 4. CONCLUSIONES

Con la implementación de la ISO 50001, las empresas consiguen reducir sus costos y ser más eficientes energéticamente, alcanzando mayores niveles de productividad, competitividad, sostenibilidad y reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero por la disminución en la combustión y uso de productos energéticos.

Al implementar la norma ISO 50001:2011, se debe tomar en cuenta que el requisito más importante es disponer de la información energética detallada, para realizar un análisis en función del reporte de consumo de la empresa a lo largo de un intervalo de tiempo determinado, para establecer las áreas con mayor y menor consumo y definir indicadores de eficiencia energética en la planificación de la organización, que permita medir y evaluar el uso de energía y eficacia de las medidas propuestas.

Si la implementación de la Norma ISO 50001:2011 fuese adoptada por la mayor parte de las grandes y medianas empresas a nivel mundial, se lograría grandes avances en la lucha generacional que se ha tomado en contra del cambio climático y el uso irracional de recursos.

Esta norma puede formar parte del Sistema Integrado de Gestión de las organizaciones, pues es compatible con otras normas como la ISO 9001 referente a calidad o la 14001 referente a Medio Ambiente.

### 5. Referencias

- [1] Agencia Chilena de Eficiencia Energética-AChEE. (2012). Guía de Implementación de Sistema de Gestión de la Energía basada en la ISO 50001. Recuperado de <https://www.itba.edu.ar/intranet/ols/wp-content/uploads/sites/4/2016/10/Gu%C3%ADa-ISO-50001.pdf>
- [2] Agencia Nacional de Regulación y Control de Electricidad. (2016). Estadística Anual y Multianual del Sector Eléctrico Ecuatoriano. Recuperado de <http://www.regulacionelectricidad.gob.ec/wp->

content/uploads/downloads/2017/08/Estad%C3%A9stico-anual-y-multianual-sector-el%C3%A9ctrico-2016.pdf

- [3] Arce. J. (2015). Metodología para implementar un Sistema de Gestión de Energía en una Instalación institucional, basado en la norma NTC-ISO 50001(2011-11-30) caso: Instituto Técnico Industrial Francisco José de Caldas (tesis de pregrado). Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá-Colombia.
- [4] Bureau Veritas. (s.f.). Certificación ISO 50001. Obtenido de <http://www.bureauveritas.es/services/certificacion+iso+50001>
- [5] Cisneros, J. (2014). Guía para la aplicación de Sistemas de Gestión Energética orientado a la energía eléctrica, basado en la Norma ISO 50001 (tesis de posgrado). Universidad Politécnica Nacional. Quito-Ecuador.
- [6] INEC. (2015). Información Ambiental Económica en Empresas (IAEE). Recuperado de [http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas\\_Ambientales/EMPRESAS/Encuestas\\_2015/Presentacion\\_Modulo\\_Ambiental\\_Empresas\\_2015.pdf](http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/EMPRESAS/Encuestas_2015/Presentacion_Modulo_Ambiental_Empresas_2015.pdf)
- [7] ISOOTools. (15 de 06 de 2016). Blog Calidad y Excelencia. Obtenido de <https://www.isootools.org/2016/06/15/certificacion-iso-50001/>
- [8] ISOTools Argentina. (s.f.). La Norma ISO 50001:2011 y la Gestión de la Energía. Una baja de costos y una mejora de la eficiencia energética en las Organizaciones.
- [9] NTE INEN-ISO 50001. (2012). Sistemas de Gestión de la Energía. Requisitos con orientación para su uso. Recuperado de [http://www.normalizacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/EXTRACTO\\_2014/VGR/nte\\_inen\\_](http://www.normalizacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/EXTRACTO_2014/VGR/nte_inen_)

iso\_50001extracto.pdf

- [10] United Nations. Framework Convention on Climate Change. (1998). El Protocolo de Kyoto de la convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Obtenido de [http://unfccc.int/porta1\\_espanol/informacion\\_basica/protocolo\\_de\\_kyoto/items/6215.php](http://unfccc.int/porta1_espanol/informacion_basica/protocolo_de_kyoto/items/6215.php):

## Biografía



<sup>1</sup>Luis Marcelo Arellano Rodríguez.- Maestrante de Gestión de la Calidad, Ingeniero Automotriz, Docente de la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE – Unidad de la Gestión de Tecnologías.



<sup>2</sup>María Gabriela Tapia Carrillo.- Maestrante de Gestión de la Calidad, Ingeniera Comercial, Docente del MINEDUC Distrito Latacunga.



<sup>3</sup>Jonathan Samuel Vélez Salazar.- Ingeniero Automotriz, Docente de la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE – Unidad de la Gestión de Tecnologías.



<sup>4</sup>Cristian Paúl Chuchico Arcos.- Ingeniero Electrónico, Docente de la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE – Unidad de la Gestión de Tecnologías.

## **ESTIMACIÓN DE EMISIONES CONTAMINANTES DE AUTOBUSES URBANOS, CASO DE ESTUDIO IBARRA-ECUADOR**

### **ESTIMATING VEHICLE EMISSIONS FROM PUBLIC TRANSPORT BUSES, CASE STUDY: IBARRA-ECUADOR**

Rosero Añazco Ramiro Andrés<sup>1</sup>, Rosero Obando Fredy Alexander<sup>2</sup>, Mera Rosero Zamir Andrés<sup>3</sup>, Tapia Gudiño Fausto Eduardo<sup>4</sup>

<sup>1,2,3</sup> Universidad Técnica del Norte, Av 17 de Julio 5-21, Ibarra

e – mail: rarosero@utn.edu.ec<sup>1</sup>, farosero@utn.edu.ec<sup>2</sup>, zamera@utn.edu.ec<sup>3</sup>, fetapia@utn.edu.ec<sup>4</sup>

*Revista Energía Mecánica Innovación y Futuro VI Edición 2017, No.1 (19)*

#### **Resumen**

En el marco de la regulación en materia de reducción de emisiones contaminantes emitidas por fuentes móviles, es necesario crear una línea base para la toma de decisiones de gobiernos locales para mejorar la calidad del aire en las ciudades y reducir las emisiones vehiculares. En este ámbito, el estudio estima las emisiones contaminantes producidas por autobuses urbanos de la ciudad de Ibarra utilizando el Modelo Internacional de Emisiones Contaminantes (IVE).

El modelo matemático para el cálculo de los factores de emisión se basa en una metodología que toma como base información referente a las características técnicas de la flota vehicular, patrones de conducción, así también los arranques en frío, calidad del combustible utilizado y situación geográfica de la ciudad.

Se muestran resultados referentes a emisiones de una ruta específica para la hora de mayor congestión vehicular de los principales gases contaminantes y de efecto invernadero como son monóxido de carbono (CO), compuestos orgánicos volátiles (VOC), óxidos de nitrógeno (NOx), material particulado con un diámetro menos a 10µm (PM<sub>10</sub>) y monóxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

#### **Palabras clave**

Emisiones vehiculares, gases de efecto invernadero, medio ambiente.

#### **Abstract**

The regulations about the reduction of pollutant emissions emitted by mobile sources, needs a baseline for the decision-making of local governments to improve air quality in cities and reduce vehicular emissions. In this area, the study estimates the pollutant emissions produced by vehicles of mass urban passenger transport on Ibarra city, using the International Model Emission Model (IVE).

The mathematical model for the calculation of the emission factors is based on an established methodology that takes as basis the technical characteristics of the vehicle fleet, driving patterns, as well as the cold starts, quality of the fuel used and the geographical location of the city.

Emissions results are presented for the main pollutants and greenhouse gases such as carbon monoxide (CO), volatile organic compounds (VOC), nitrogen oxide (NOx), particulate matter with diameters of 10 µm or less (PM<sub>10</sub>) and carbon dioxide (CO<sub>2</sub>).

#### **Keywords:**

Environment, greenhouse gases, vehicle emissions.

## 1. Introducción

La gestión eficaz del cambio climático y de la calidad del aire en las ciudades requieren el conocimiento de las fuentes de contaminación del aire, además de la capacidad de entender y proyectar las emisiones procedentes de dichas fuentes y la capacidad de manejar los procesos de regulación asociados a controlar las emisiones de esas fuentes. Este es un gran reto para países en vías de desarrollo con información limitada o inexistente y programas de planificación distintos en materia de control de emisiones vehiculares y gestión del transporte público (Davis, Lents, Osses, Nikkila, & Barth, 2005).

Mediante la utilización de modelos matemáticos que simulan el comportamiento de fuentes de contaminación como los motores de combustión interna es posible estimar en nivel de emisiones de manera confiable y efectiva.

Considerando la insuficiente disponibilidad de información en el país y en la región para desarrollar modelos computacionales de emisiones, el modelado matemático computacional es una herramienta para la estimación rápida de emisiones contaminantes y gases de efecto invernadero provenientes de fuentes móviles, adaptables a cualquier ciudad y con una demanda limitada de información de entrada. (SEMARNAT-INE-WGA, 2009).

Con el objeto de ayudar a países en vías de desarrollo a avanzar el proceso de gestión de la calidad del aire que permita la consideración y mitigación de los impactos producidos por las emisiones vehiculares, el ISSRC (International Sustainable Systems Research Center) ha desarrollado una herramienta y metodología para la evaluación de las emisiones de fuentes móviles; el modelo Internacional de Emisiones Vehiculares IVE estima las emisiones contaminantes y gases de efecto invernadero en función de la composición tecnológica de la flota, patrones de conducción, distribución de arranques en frío, así como características geográficas de la localidad fuente de estudio. La recolección de datos y el modelo de proceso de IVE se han aplicado en más de 19 países. (Davis, Lents, Street, & Habra, 2005).

El Ministerio del Ambiente del Ecuador MAE en el año 2014 presentó el Inventario Preliminar de la Emisiones Contaminantes del Aire, donde los factores de emisión del tráfico vehicular se estructuraron en base a los factores de emisión utilizados en el Inventario de Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México del año 2008 (Ministerio del Ambiente, 2014); dando como resultado que el tráfico vehicular es el principal contribuyente de las emisiones de contaminantes de la zona urbana.

En este ámbito, el informe recomienda como trabajos futuros la utilización de modelos matemáticos computacionales para la determinación de factores de emisión con información propia del país.

## Fundamentación teórica

Los componentes claves que determinan el nivel de emisiones de los vehículos son: tecnología, combustible, operación, programas de inspección y mantenimiento, además de las condiciones geográficas de la localidad; siendo así, que el proceso de estimar emisiones en el modelo IVE se realiza en base de factores de emisión y factores de corrección que se aplican para estimar las emisiones de fuentes móviles.

Son tres componentes críticos que se usan en el modelo IVE para crear inventarios de emisiones fiables:

- i. Factores de emisión de vehículos (Base de factores de emisión y factores de corrección);
- ii. Actividad Vehicular (Datos de entrada de la Localidad); y
- iii. Distribución de la flota vehicular (Datos de entrada de la Flota).



Fig. 1 Arquitectura del modelo IVE (International Sustainable Systems Research Center, 2008)

La base de factores de emisión del modelo IVE está compuesta emisiones en ruta y emisiones para arranque en frío. En las ecuaciones (1) y (2) se ponderan los factores de emisión corregidos para cada ruta y el patrón de conducción para el tipo de tecnología de control de emisiones de la flota vehicular objeto del estudio. (International Sustainable Systems Research Center, 2008)

$$Q_{en\ ruta} = \sum_i \{f_{[tj]} * \sum_d [Q_{[tj]} * \bar{U}_{FTP} * f_{[dtj]} * K_{[dtj]}\} / \bar{U}_C \quad (1)$$

$$Q_{partida} = \sum_i \{f_{[tj]} * Q_{[tj]} * \sum_d \{f_{[dtj]} * K_{[dtj]}\} \quad (2)$$

**Tabla 1 Variables utilizadas en las ecuaciones de factores de emisión.**

Variable	Descripción
B <sub>[tj]</sub>	Base de factores de emisión para cada tecnología (partida (g/partida) o en ruta (g/km))
Q <sub>[tj]</sub>	Factores de emisión ajustados para cada tecnología (partida (g/partida) o en ruta (g/km))
f <sub>[tj]</sub>	Fracción de viaje por tecnología específica
f <sub>[dtj]</sub>	Fracción de tiempo por cada tipo de conducción o fracción de tiempo soak por tecnología específica
K <sub>[dtj]</sub>	Factor de corrección por modo de conducción
U <sub>FTP</sub>	Velocidad Promedio del ciclo de conducción LA4 (una constante (km/h))
U <sub>C</sub>	Velocidad Promedio del ciclo de conducción específico, valor ingresado por el usuario en el archivo Localidad (km/h)

La metodología de estimación de emisiones del modelo IVE se fundamenta con una tasa de emisión base y una serie de factores de corrección que son aplicados para estimar la cantidad de emisiones contaminantes y gases de efecto invernadero para la flota vehicular analizada. (International Sustainable Systems Research Center, 2008)

**Tabla 2 Factores de corrección.**

Variables Locales	Variables de calidad de combustible	Variables de potencia y conducción
Temperatura	Consumo	Pendiente
Humedad	Azufre	Uso AC
Altitud	Plomo	Encendidos
Programas I/M	Benceno	VSP

En el modelo IVE, los patrones de conducción se caracterizan usando como parámetros la potencia específica vehicular (VSP) y la condición de estrés del motor. Estos parámetros se calculan con datos referentes al inventario de la tecnología vehicular de la flota y el ciclo de conducción de la ruta objeto de estudio y su pendiente. (International Sustainable Systems Research Center, 2008)

$$VPS = v/1.1a + 9.81(\text{atan}(\sin(\text{pendiente}))) + 0.132 + 0.00302v^3 \quad (3)$$

$$\text{pendiente} = (h_{t=0} - h_{t=-1}) / v \quad (t=-1 \text{ a } 0 \text{ segundos})$$

$$v = \text{velocidad (m/s)}$$

$$a = \text{aceleración (m/s}^2\text{)}$$

$$h = \text{Altitud (m)}$$

$$\text{Estrés del motor} = \text{Índice}_{RPM} + (0.08 \text{ ton/kW})$$

$$\text{Potencia}_{Prepromedio} \quad (4)$$

$$\text{Potencia}_{Prepromedio} = \text{Promedio}(VSP_{t=-5sec \text{ to } -25 sec})$$

$$\text{(kW/ton)} \quad (5)$$

$$\text{Índice}_{RPM} = \text{Velocidad}_{t=0} / \text{Divisor Velocidad}$$

$$\text{(adimensional)}$$

## 2. Metodología y materiales

La metodología que emplea el modelo IVE es la Bottom – Up, que consiste en reunir diferente información de un sistema que conformarán un todo. los elementos individuales son especificados detalladamente, juntando sus componentes hasta conformar un sistema final, en este caso el inventario de emisiones vehiculares.



**Fig. 2 Metodología para la estimación de emisiones vehiculares.**

### Selección de la ruta y elaboración del ciclo de conducción

Para la selección de la ruta más representativa, se han analizado 22 rutas de las dos cooperativas que comprenden el servicio de autobuses de transporte urbano de la ciudad de Ibarra, tomando en cuenta consideraciones como la distancia recorrida, el nivel de servicio y los sectores de la ciudad que comunica, la ruta seleccionada fue la “Católica – Alpachaca”, esta comprende una distancia total de 16 kilómetros que comunica los dos sectores de la ciudad mediante avenidas y calles secundarias.

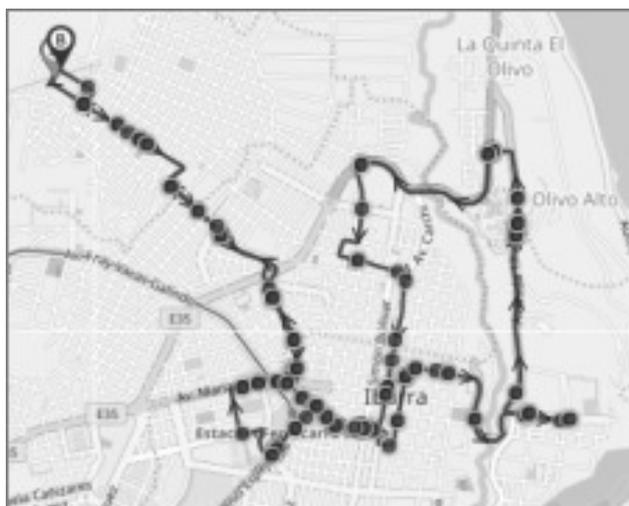


Fig. 3 Ruta "Católica - Alpacaca", recorrido total 16 km.

La toma de datos de actividad de los vehículos mediante sistema GPS para la determinación de los ciclos de conducción, se la realizó en el período de tiempo comprendido entre las 6:00 y las 20:00, hora correspondiente al período de actividad de la ruta, con una duración promedio por viaje de una hora y treinta minutos, con una velocidad promedio de circulación de 18,5 km/h.

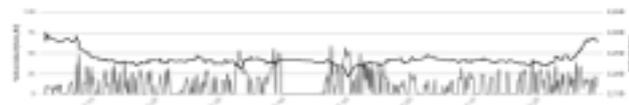


Fig. 4 Ciclo de conducción ruta "Católica - Alpacaca", velocidad promedio 18,5 km/h, tiempo total 1h30 min.

### Inventario de flota vehicular y condiciones geográficas

En lo referente al inventario de la flota vehicular se ha analizado la totalidad de la muestra que comprenden 283 unidades, donde la caracterización según el peso bruto vehicular, sistema de inyección combustible y tecnología de control de emisiones, arrojó valores comunes para toda la flota de acuerdo con la clasificación establecida por el modelo IVE.

La caracterización de los patrones de encendido y apagado del motor se la realiza mediante encuestas a los conductores para determinar la distribución de los arranques en frío y en caliente de los vehículos. En el modelo IVE un arranque en frío se considera cuando el motor a reposado 18 horas o más, una partida en frío habitualmente

provoca un mayor nivel emisiones de emisiones mientras el motor llega a su temperatura normal de operación; se considera una partida en caliente cuando el motor es apagado por 5 minutos o menos antes de ponerse en marcha, finalmente se realiza el conteo del número de veces que se enciende en el día. Al ser un servicio de transporte con frecuencias definidas, los patrones de encendido son constates, los cuales van de 8 a 12 horas para el arranque en frío.

Los valores relacionados con las variables ambientales locales considerados para el área de estudio son: temperatura promedio 18°C y una humedad relativa de 68% a una altura de 2220 m.s.n.m.

### Cálculo de VSP y BINs

Los patrones de conducción de la ruta establecida se obtuvieron del cálculo de la potencia específica vehicular VSP donde se usa un modelo matemático que incluye datos de velocidad, aceleración y pendiente en la ruta segundo a segundo con el objetivo de caracterizar el stress del motor, con los límites establecidos por la metodología se definen los BINs de potencia del motor.

Tabla IV Resultados del cálculo de BINs de potencia del motor.

BIN	Porcentaje	BIN	Porcentaje	BIN	Porcentaje
0	0,00	20	0,00	40	0,00
1	0,02	21	0,00	41	0,00
2	0,00	22	0,00	42	0,00
3	0,02	23	0,00	43	0,00
4	0,04	24	0,00	44	0,00
5	0,07	25	0,00	45	0,00
6	0,15	26	0,00	46	0,00
7	0,26	27	0,00	47	0,00
8	0,85	28	0,00	48	0,00
9	2,60	29	0,00	49	0,00
10	5,75	30	0,00	50	0,00
11	67,24	31	0,00	51	0,00
12	12,81	32	0,00	52	0,00
13	6,15	33	0,00	53	0,00
14	2,74	34	0,00	54	0,00
15	0,63	35	0,11	55	0,00
16	0,22	36	0,07	56	0,00
17	0,11	37	0,06	57	0,00
18	0,04	38	0,00	58	0,00
19	0,06	39	0,00	59	0,00

Se evidencia una tendencia marcada en el comportamiento de los BINs de potencia del motor, la mayor parte se encuentra concentrado en la franja de stress bajo que corresponde a los BINs 9 al 14. La mayor concentración de potencia se encuentra en los BINs 11 y 12, lo que representa condiciones de potencia 0 o cercanas a

este valor, donde el autobús circula a velocidades muy bajas constantemente, desacelera o, se encuentra detenido.

#### 4. Resultados y Discusión

La información recopilada referente a la flota vehicular, localidad y cálculo de potencia específica vehicular se procesa en el software IVE 2.0.2; la tabla V muestra los resultados del cálculo de las emisiones para contaminantes criterio, contaminantes tóxicos y gases de efecto invernadero en gramos por kilómetro recorrido para la hora de mayor tráfico vehicular en la ruta predefinida en el estudio.

**Tabla V Emisiones transporte urbano de la ciudad de Ibarra.**

Contaminantes Criterio (g/km)					
	CO	VOC	NOx	SOx	PM <sub>10</sub>
Partida	6,84	0,44	3,73	0,02	4,38
En ruta	44,33	8,18	29,05	0,12	2,14
Total	51,17	8,62	32,78	0,14	6,52
Contaminantes Tóxicos (g/km)					
	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O	CH <sub>3</sub> O	NH <sub>3</sub>	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>
Partida	0,00	0,02	0,05	0,00	0,00
En ruta	0,01	0,03	0,09	0,03	0,09
Total	0,01	0,05	0,14	0,03	0,09
Contaminantes Calentamiento Global (g/km)					
	CO <sub>2</sub>		NO <sub>2</sub>		
Arranque	188,95		0,01		
En ruta	1211,83		0,01		
Total	1400,78		0,02		

Los datos obtenidos de la estimación de emisiones vehiculares de los contaminantes criterios, tóxicos y de calentamiento global en los autobuses urbanos de la ciudad de Ibarra muestran que, el monóxido de carbono CO<sub>2</sub> tiene la mayor concentración con 1400 g/km que representan más del 90% de las emisiones totales.

A diferencia de los demás contaminantes criterio analizados, el material particulado PM<sub>10</sub>, tiene la mayor concentración durante el arranque, esto es 4,38 g/km, lo que representa el 67% del total.

En lo que se refiere a la velocidad media de circulación es baja, se observan cambios bruscos de velocidad y períodos largo de ralenti lo que influye en la potencia específica vehicular, lo que se refleja en las emisiones totales.

#### 5. Conclusiones

Los picos de emisiones máximas se encuentran dos franjas horarias, entre las 07h00 a 08h00 y 17h00 a 18h00. La primera franja se debe a que el periodo de reposo durante la noche es alto, los

arranques en frío maximizan las emisiones y la actividad vehicular es mayor. El segundo rango comprende la hora de finalización de actividades laborales lo que produce congestión y por ende la reducción de la velocidad promedio de circulación.

La tecnología de control de emisiones de la flota vehicular analizada es obsoleta, junto un alto y variable contenido de azufre en el combustible, determina las emisiones contaminantes totales; siendo fundamental mejorar la calidad de combustible y establecer estándares de emisión más rigurosos.

Es necesario establecer un proceso tecnificado y controlado de Inspección y Mantenimiento para controlar el estado óptimo de funcionamiento de los vehículos.

La metodología propuesta puede ser utilizada para las demás modalidades de transporte con el objetivo de obtener un inventario total de emisiones de fuentes móviles de la ciudad.

#### 6. Referencias

- [1] Davis, N., Lents, J., Osses, M., Nikkila, N., & Barth, M. (2005). Development and Application of an International Vehicle Emissions Model. In Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, (1939), 155-165.
- [2] Davis, N., Lents, J., Street, S. P., & Habra, L. (2005). Advancing Climate and Air Quality Database Management Systems and Emissions Inventories in Developing Countries. Technical Paper in the Proceedings of the Transportation Research Board Annual Conference January, 9-12.
- [3] Goyal, P., Mishra, D., & Kumar, A. (2013). Vehicular emission inventory of criteria pollutants in Delhi. SpringerPlus, 2(1), 216.
- [4] Guadalupe, J. L. (2016). Modelación de emisiones contaminantes de fuentes móviles terrestres en Quito, Ecuador.

164.

- [5] Huo, H., Zhang, Q., He, K., Yao, Z., Wang, X., Zheng, B., ... Ding, Y. (2011). Modeling vehicle emissions in different types of Chinese cities: Importance of vehicle fleet and local features. *Environmental Pollution*, 159(10), 2954-2960.
- [6] International Sustainable Systems Research Center. (2008). *Manual del Usuario del Modelo IVE Mayo*, 2008, 55.
- [7] Lovera, D., Osses, M., Nikila, N., Nuñez, D., Valentín, L., Mayor, G., ... Vera, S. (2004). Modelo IVE: Metodología, mediciones y simulación de las emisiones de fuentes móviles en la ciudad de Lima - Perú. *Revista del Instituto de Investigación FIGMMG*, 7(14), 92-99.
- [8] Ministerio del Ambiente. (2014). *Inventario Preliminar de las Emisiones de Contaminantes del Aire, de los cantones Ambato, Riobamba, Santo Domingo de los Colorados, Latacunga, Ibarra, Manta, Portoviejo, Esmeraldas y Milagro*, 3, 124.
- [9] Restrepo, Á., Izquierdo, S., & López, R. (2007). Estimación de Factores que inciden sobre la contaminación ambiental generada por fuentes móviles en Pereira. *Scientia et Technica*, (37), 267-272.
- [10] SEMARNAT-INE-WGA. (2009). *Guía metodológica para la estimación de emisiones vehiculares en ciudades mexicanas*.
- [11] Shafie-Pour, M., & Tavakoli, A. (2013). On-road vehicle emissions forecast using IVE simulation model. *International Journal of Environmental Research*, 7(2), 367-376.

## 7. Biografía



<sup>1</sup>Ramiro Rosero. Ingeniero Automotriz por la Universidad e la Fuerzas Armadas ESPE; realizó sus estudios de máster en Ingeniería de Automoción en la Universidad Politécnica de Cataluña. Entre su experiencia profesional se destaca la participación en proyectos de Homologación Vehicular y Revisión Técnica Vehicular para el Centro de Transferencia Tecnológica para la Capacitación e Investigación en Control de Emisiones Vehiculares (CCICEV-EPN). Ocupó el cargo de Técnico de Transporte en la Agencia Nacional de Tránsito realizando actividades referentes a la calificación de empresas fabricantes de carrocerías, elaboración de proyectos de normativas técnicas para la regulación y homologación de vehículos. Actualmente se desempeña como Docente e Investigador de la Carrera de Ingeniería Automotriz en la Universidad Técnica del Norte.



<sup>2</sup>Fredy Rosero. Nació en Ibarra El 29 de diciembre de 1984. En sus estudios de pregrado obtuvo el título de Ingeniero Automotriz en la Escuela Politécnica del Ejército. Diplomado en Autotrónica y una Maestría en Ingeniería del Transporte en la Pontificia Universidad Católica del Ecuador. En la actualidad es Docente Titular de la Universidad Técnica del Norte y sus trabajos de investigación están relacionados al desarrollo de estudios, metodologías, normativas y dispositivos tecnológicos que permitan mejorar los sistemas de transporte y la movilidad de las personas.



<sup>3</sup>Zamir Mera. Nació en Ibarra en 1985. En sus estudios de pregrado obtuvo el título de Ingeniero Automotriz en la Escuela Politécnica del Ejército. Luego en los estudios de postgrado obtuvo un Diplomado en Autotrónica y una Maestría en Energías Renovables en la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE. Es doctorando

en Ingeniería Mecánica de la Universidad Politécnica de Madrid. Se desempeña como Docente Titular de la Universidad Técnica del Norte y sus intereses de investigación están en temas relacionados a: impacto medioambiental de vehículos y transporte por carretera, eficiencia energética en los sistemas de transporte, efectos y aplicación de la movilidad urbana sustentable, análisis de ciclo de vida en los sistemas de transporte.



<sup>4</sup>Fausto Tapia. Nació en Ibarra En 1980. En sus estudios de pregrado obtuvo el título de Ingeniero Mecánico en la Escuela Politécnica Nacional. Luego en los estudios de postgrado obtuvo un Diplomado en Educación Superior en la

PUCE-I y una Maestría en Ingeniería Industrial y Productividad en la Escuela Politécnica Nacional. En la actualidad es Docente de la Universidad Técnica del Norte y sus trabajos de investigación están relacionados al desarrollo de estudios, metodologías, normativas y dispositivos tecnológicos que permitan mejorar los sistemas productivos controlando los procesos y manejando de manera eficiente los excesos de contaminación.

## BANCO DE PRUEBAS A FATIGA PARA CIGÜEÑALES

### A FATIGUE TEST BENCH FOR CRANKSHAFTS

Fernando Gómez Berrezueta<sup>1</sup>, Felipe Sanchez Batallas<sup>2</sup>,

<sup>1</sup> UIDE - Guayaquil Ecuador, <sup>2</sup> ITESM -Toluca-México

email: <sup>1</sup> magomezbe@uide.edu.ec, <sup>2</sup> felipe.andres.sanchez.batallas@gmail.com.

*Revista Energía Mecánica Innovación y Futuro VI Edición 2017, No.1 (19)*

#### **Resumen**

El presente trabajo muestra el proceso de desarrollo, construcción y evaluación de un prototipo para un banco de pruebas para probar cigüeñales a fatiga utilizando el método de resonancia. Se muestra a través de este documento el estado del arte de sistemas con esta aplicación, posteriormente se analiza un modelo simplificado basado en dicha revisión, se realizan pruebas sobre esta propuesta para evaluar el comportamiento dinámico que se espera obtener, así como para verificar la funcionalidad del sistema ante condiciones esperadas de trabajo.

A continuación, se propone un sistema con base en lo antes mencionado, para su posterior construcción. Una vez generada la primera versión del sistema, se evalúa con un cigüeñal propuesto, asociada al desarrollo del proyecto, con lo que se realiza el análisis modal y evaluación de esfuerzos para determinar la funcionalidad de dicha propuesta.

#### **Palabras Clave:**

Banco de pruebas, cigüeñales, fatiga, resonancia.

#### **Abstract**

This paper shows the process of development, construction and evaluation of a prototype for a test bench to test crankshafts to fatigue using the resonance method. This document shows the state of the art of systems with this application, then analyzes a simplified model based on this review, tests are carried out on this proposal to evaluate the dynamic behavior that is expected to be obtained, as well as to verify system functionality in the face of expected working conditions. then proposes a system based on the aforementioned, for further construction. Once the first version of the system is generated, it is evaluated with a proposed crankshaft, associated with the development of the project, thus performing the modal analysis and evaluation of strains to determine the functionality of that proposal.

#### **Keywords:**

Test Bench, Crankshafts, Fatigue, Resonance.

## 1. Introducción

Los metales en general presentan dos zonas principales en las cuales su comportamiento está definido, la zona elástica y la zona plástica. En la primera, la deformación unitaria del material es lineal y proporcional a la carga aplicada sobre éste, este parámetro se puede relacionar a su vez con el esfuerzo inducido sobre el espécimen de prueba a través del módulo de elasticidad (E). Toda deformación realizada dentro de esta región se recupera al retirar la carga volviendo el material a las condiciones dimensionales iniciales. La zona elástica está delimitada por el esfuerzo de cedencia que representa el esfuerzo máximo que le material es capaz de soportar antes de deformarse permanentemente.

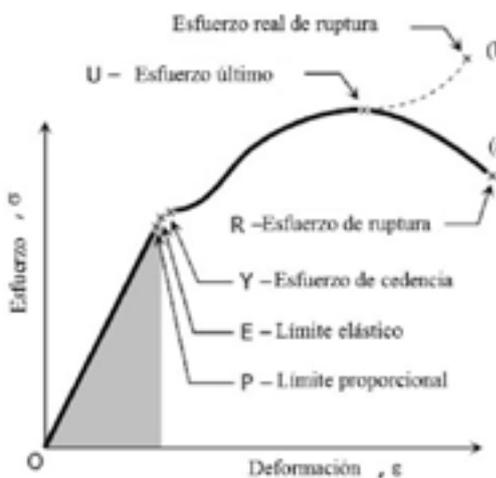


Figura 1. Curva esfuerzo-deformación para un acero típico. (a) Ingenieril. (b) Real.

En la Figura 1 se muestran las dos curvas características del material: a) la curva ingenieril muestra el comportamiento de esfuerzos sobre la sección de prueba tomando un área constante, y, b) la curva real mostrando el esfuerzo sobre el material considerando la reducción en área durante la prueba.

### Límite de fatiga

En muchas aplicaciones los componentes metálicos sometidos a esfuerzos cíclicos o repetitivos se rompen por la fatiga que sufren debido a un esfuerzo mucho menor de lo que la pieza puede soportar durante la aplicación de un esfuerzo estático sencillo. Normalmente las fallas se producen en un punto de concentración de esfuerzos o en alguna zona que presente una

imperfección en el material [5]-[13].

En la Figura 2 podemos ver el comportamiento en fatiga de los materiales, notamos que las aleaciones ferrosas presentan una respuesta estable al llegar a más de  $10E+6$  ciclos, sin embargo, la aleación no ferrosa continúa decrementando el esfuerzo necesario para producir una falla en el material a medida que los ciclos se incrementan. El límite de fatiga en un metal ferroso se determina normalmente entre  $10E+6$  y  $10E+10$  ciclos [5].

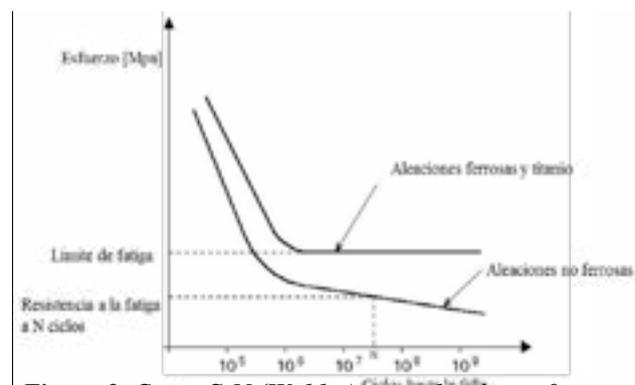


Figura 2. Curva S-N (Wöhler) para aleaciones ferrosas y no ferrosas. Momento flector.

### Concentración de esfuerzos

Al analizar elementos estructurales es común encontrarse con geometrías sin irregularidades, sin embargo, al diseñar flechas o vigas para servicio es común que surja la necesidad de acoplar baleros, poleas, engranes, existiendo la necesidad de modificar la geometría con el fin de permitir el posicionamiento adecuado de los componentes. Las zonas con estas características son conocidas como concentradores de esfuerzos. Las discontinuidades en la flecha producen una variación en los esfuerzos en las zonas aledañas, por ello los valores pronosticados en estas zonas no capturan el comportamiento correcto [10].

### Cigüeñal

Es un componente que forma parte fundamental del motor de combustión interna ya que es el encargado de convertir el movimiento alternante lineal, producido en los cilindros del motor debido a la quema de combustibles, en un movimiento rotacional que posteriormente es transmitido hasta las llantas del vehículo.

## Métodos para pruebas de fatiga sobre cigüeñales

Se reportan tanto en literatura como en folletos de empresas especializadas diversos equipos para probar la resistencia de cigüeñales, de lo hallado la diferencia medular es la forma en la que la que el momento es inducido. La Tabla 1 resume las principales características de los sistemas encontrados.

Tabla 1. Métodos hallados para realización de pruebas de fatiga

Método	Ventajas	Desventajas	Actuadores	Frecuencia de operación
Esfuerzo mecánico	Fácil implementación	Tiempo prolongado	Hidráulico	4-6 Hz
Vibración	Tiempo de prueba corto	Requiere disco específicos y sistema control	Electromagnético	40-60 Hz

El método de esfuerzo mecánico consiste en un arreglo que retenga el cigüeñal o una sección de éste, con un actuador acoplado a un extremo libre de la pieza a evaluar se aplica una carga cíclica, debido al arreglo mencionado anteriormente este movimiento induce sobre el componente un esfuerzo ya sea a flexión o a torsión, ver Figura 7.



Figura 3. Sistemas encontrados utilizando método de esfuerzo mecánico.

El segundo método consiste en un arreglo de placas metálicas entre las cuales se coloca un espécimen (Figura 4). Se excita este sistema con un equipo de vibraciones en la frecuencia natural del sistema que permita obtener como respuesta el modo de vibración deseado. La frecuencia de la prueba será la frecuencia de resonancia, por ello se encuentra limitada a la geometría del sistema y la distribución de masa.



## 2. Materiales y Métodos

### Equipo de vibraciones.

A través de una bobina en su interior y ayudado con la potencia provista por un amplificador, permite diferentes modos de vibrar, sinusoidal o aleatorio. Requiere de un acelerómetro para controlar el movimiento programado.

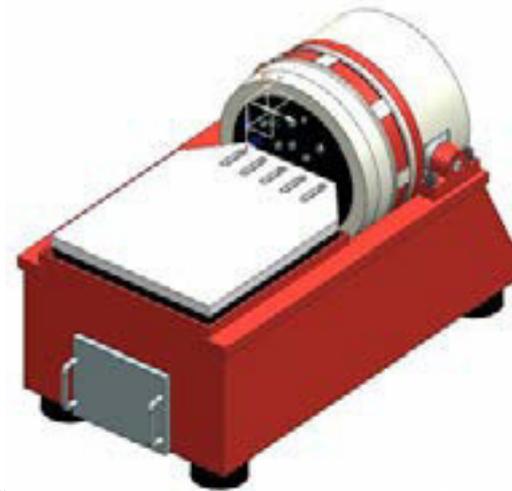


Figura 5. Shaker V830 en configuración horizontal.

Tabla 1. Características Equipo de vibración

	ITESM
Modelo /Amplificador	Shaker V830/SPA16K
Fuerza máxima	9.2 kN
Rango de frecuencia	5-3000 Hz
Carga máxima	160 kg
Aceleración máxima	75 gn
Desplazamiento pico-pico	50.8 mm
Potencia máxima	28.1 kVA

Nos permite capturar imágenes con movimientos a frecuencias o velocidades no perceptibles al ojo humano, requiere tener cuidados especiales en la iluminación de la región de interés (ver Figura 5).

**Modelo Simplificado**

Para estudiar el fenómeno de resonancia se procedió a replicar los elementos básicos encontrados en la literatura. De lo identificado, se necesita que el sistema se encuentre suspendido evitando que el sistema de soporte influya en las frecuencias naturales afectando el comportamiento del sistema.



Figura 5. Cámara de alta velocidad Phantom V9.

Físicamente se colocaron cuerdas extensibles pasando a través de unas argollas para evitar al máximo a la fricción, permitiendo al sistema moverse libremente sin ser apoyado directamente sobre el suelo. El modelo en cuestión consta de un par de placas rígidas, unidas a través de un tubo. Las uniones fueron realizadas con soldadura.

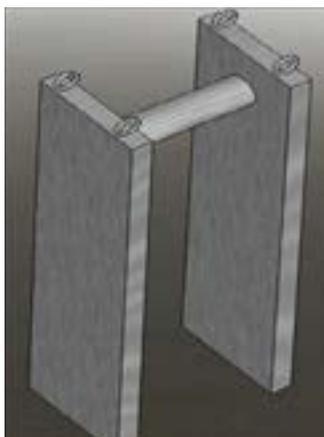


Figura 6. Modelo simplificado.

**Geometría**

Longitud 23.8 in  
Ancho 6.0 in  
Espesor 1.0 in

Barra:

Diámetro exterior (1.8 in)  
Diámetro interior (1.3 in)  
Posicionado al centro de la placa, a una distancia de 3 in del borde superior

**Material**

Acero 1018  
E=205 GPa

**3. Resultados y discusión**

Se caracterizó este modelo obteniendo sus frecuencias de resonancia tanto en forma experimental como apoyados en simulación numérica.

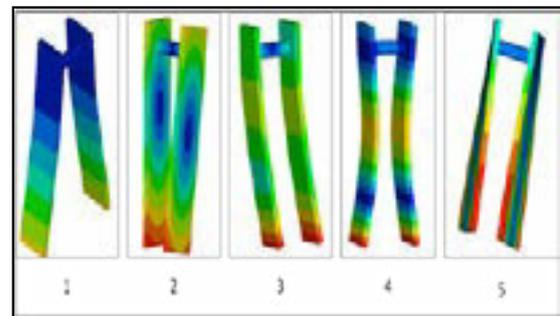


Figura 7. Análisis modal realizado en simulación numérica.

Tabla 2. Comparativa entre método experimental y método numérico.

Mode	Frecuencia [Hz]		Error (%)
	NASTRAN	Experimental	
1	55.4	54.4	1.8%
2	92.9	94.5	-1.7%
3	197.9	192.8	2.6%
4	363.9	356.5	2.1%
5	391.2	380.7	2.8%

Para identificar las frecuencias experimentalmente se utilizó un martillo dinamométrico, acelerómetros y una etapa de adquisición y procesamiento de señales en Labview y Matlab, los acelerómetros fueron posicionados aleatoriamente sobre las placas. Los puntos de excitación se definieron también de forma aleatoria. Con las mediciones anteriores se obtuvo la transmisibilidad del sistema lo que permitió identificar las frecuencias naturales del arreglo de placas.

De lo obtenido anteriormente notamos que existe una buena aproximación de la simulación a los datos obtenidos experimentalmente.

### Medición de esfuerzos con galgas extensiométricas

Para conocer el estado de esfuerzos sobre el sistema se colocan sobre el mismo galgas extensiométricas en diferentes configuraciones (i.e. unidireccionales, rosetas de deformación) con el fin de conocer en tiempo real el efecto de las cargas sobre los distintos componentes.



Figura 8. Cigüeñal instrumentado con roseta de deformación.

### Medición de esfuerzos en sistema

Para caracterizar el sistema se realizó la instrumentación de la sección de cigüeñal. Se colocó una roseta de deformación en la parte superior del muñón, con esto se planea conocer el esfuerzo en dicha región y concluir si la magnitud del esfuerzo inducido en el cigüeñal es capaz de provocar una falla en dicho componente.

### Análisis Modal

Sobre el ensamble de placas y cigüeñal se realizaron las pruebas para determinar las frecuencias naturales de la misma forma que se realizó previamente para el Modelo Simplificado, la respuesta en frecuencia puede verse en la Figura 9. Las placas se encuentran suspendidas por cuerdas, sujetas al marco de acero.

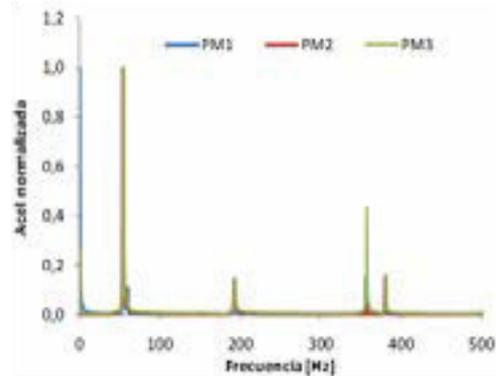


Figura 9. Espectro de respuesta para sistema placas - cigüeñal GM GEN IV.

La figura anterior muestra el primer pico de resonancia alrededor de 50 Hz y arriba de 190 Hz la segunda frecuencia de resonancia.

Una vez conocida la frecuencia de resonancia del sistema se excitan las placas con el shaker, variando el nivel de aceleración, con esto se permite aumentar o reducir el nivel de esfuerzo inducido.

La prueba se corrió a una aceleración de 10 gravedades, la excitación se realizó por contacto.

La respuesta en esfuerzos que se muestra a continuación fue obtenida, el nivel de esfuerzos es pequeño ( $<10$  MPa) y por tanto no es suficiente para alcanzar el límite de cedencia del material.

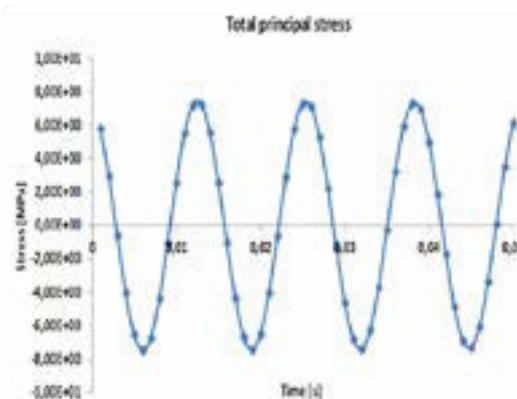


Figura 10. Respuesta en esfuerzo de la zona del cigüeñal instrumentada.

Encontramos una respuesta periódica del sistema y en fase con la señal de entrada. Adicionalmente se verificó el desplazamiento de los extremos de las placas con cámara de alta velocidad notando que se encuentran en contrafase. Las pruebas anteriores se realizaron a diferentes alturas sobre las placas y la respuesta obtenida en la Figura 10 muestra los resultados en el extremo inferior de

la placa con la aceleración máxima probada.

A la luz de estos resultados se procede a mejorar el diseño con el fin de aumentar el nivel de esfuerzo al que es posible someter el cigüeñal.

### Geometría Estándar / Barra de calibración

Para caracterizar el momento que es capaz de transmitir el banco de pruebas se estableció evaluarlo con una geometría conocida y ampliamente estudiada, como es el cilindro. Para definir el tamaño de este componente se revisaron las normas que regían pruebas similares [19] así como el alcance que se desea para la prueba que se está desarrollando. Así se definió un rango de operación de 800 – 1500 [N.m].

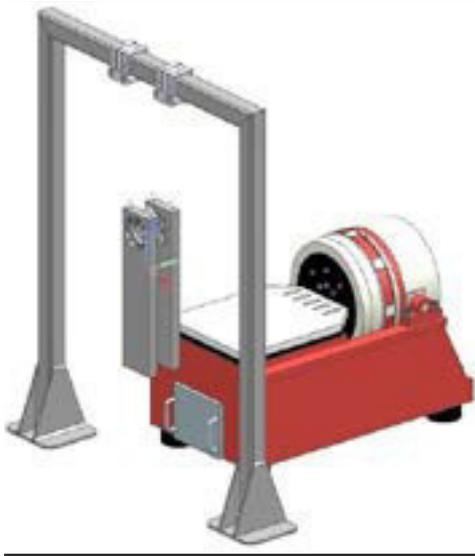


Figura 11. Montaje para marco y placas.

### Conclusiones

- Se presenta un modelo de resonancia que en uno de sus modos de vibración es capaz de inducir momentos flectores sobre un componente. Esto permitiría realizar pruebas sobre una amplia variedad de productos.
- Se ha encontrado que los sistemas mostrados son capaces de inducir esfuerzos significativos sobre cigüeñales a tal nivel de provocar fallas por fatiga. La frecuencia de trabajo para estos sistemas varía entre 18 y 60 Hz como se había previsto en un inicio.
- Se obtuvo la caracterización de las placas de resonancia, esto permite controlar el nivel de momento que se requiere aplicar al sistema

mediante el monitoreo de un valor desplegado por el sistema de adquisición de datos.

- Se han encontrado algunas de los mejores escenarios los cuales permitirán realizar pruebas con un consumo de energía menor, así como mejorar el desempeño de la máquina.
- Se han identificado los parámetros necesarios para obtener una prueba estable, así como asegurar el menor nivel de pérdidas energéticas. Esto permitirá agilizar el procedimiento al realizar pruebas sobre lotes de piezas significativos.

### Biografía.

- [1] PILKEY, W. D. (2005). Formulas For Stress, Strain, And Structural Matrices (2nd). Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- [2] JUVINALL, R. C. (1967). Engineering Considerations Of Stress, Strain, And Strength. E.E.U.U.: Mcgraw-Hill, Inc.
- [3] TIMOSHENKO, S. (1947). Resistencia De Materiales (2da Ed.). Madrid, España: Espasa-Calpe, S.A.
- [4] HIBBELER, R. C. (2006). Mecánica De Materiales (6ta Ed.). México: Pearson/Prentice Hall.
- [5] SMITH, W. F. & HASHEMI, J. (2004). Fundamentos De La Ciencia E Ingeniería De Materiales (4ta Ed.). India: Mcgraw-Hill, Inc.
- [6] BATHE, K.-J. (1996). Finite Element Procedures. E.E.U.U.: Pearson/Prentice Hall.
- [7] RAO, S. S. (2004). Mechanical Vibrations. Upper Saddle River, N.J.: Pearson/Prentice Hall.
- [8] LOGAN, D. L. (2007). A First Course In The Finite Element Method (4ta Ed.). E.E.U.U.: Thomson
- [9] PYTEL, A. & KIUSALAAS, J. (1999). Ingeniería Mecánica. Dinámica (2da

Ed.). México: Thomson

- [10] BUDYNAS–NISBETT (2006). Shigley's Mechanical Engineering Design, Eighth Edition.
- [11] NEWLAND, D. E. (1989). Mechanical Vibration Analysis And Computation. Singapur: Longman
- [12] THOMSON, W. T. & DAHLEH, M. D. (1998). Theory Of Vibration With Applications (5ta Ed.). E.E.U.U.: Pearson/Prentice Hall.
- [13] BOLOTIN, V. (1999). Mechanics Of Fatigue. E.E.U.U.: Crc Press Llc
- [14] MOTT, R. L. (2002). Applied Strength Of Materials (4ta Ed.). Upper Saddle River, N.J.: Pearson/Prentice Hall.
- [15] ASTM E1823 - 11 (2011). Standard Terminology Relating To Fatigue And Fracture Testing. Astm Committee E08 On Fatigue And Fracture. Consultado El 10 De Abril De 2012, En Www.Astm.Org. Doi: 10.1520/E1823-11.
- [16] (1996). Torsional Vibration Of Crankshaft Systems--Measurement And Evaluation Method. Sae – Society Of Automotive Engineers.
- [17] MENDES, A.S., MEIRELLES, P. S. (2007). Experimental Validation Of A Methodology For Torsional Vibration Analysis In Internal Combustion Engines. Iftomm World Congress.
- [18] CHARLES, P., SINHA, J. K., GU, F., LIDSTONE, L. AND BALL, A. (2009). Detecting The Crankshaft Torsional Vibration Of Diesel Engines For Combustion Related Diagnosis. Journal Of Sound And Vibration.
- [19] GME-TEST PROCEDURE L-6C-1.



## MANUEL FERNANDO GÓMEZ BERREZUETA

Cursando doctorado en Ciencias de la Ingeniería por el Instituto Tecnológico y de estudios superiores de Monterrey Campus estado de México.

Maestro en ingeniería automotriz, por el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey-campus Toluca Diplomado superior en didáctica y curriculum, por la Unita Ingeniero Mecánico Automotriz, por la universidad politécnica salesiana. Licenciado en docencia técnica, por la Universidad Politécnica Salesiana.

PROFESOR TIEMPO COMPLETO EN LA UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR SEDE GUAYAQUIL



## FELIPE ANDRÉS SANCHEZ BATALLAS

Ingeniero en Mecatrónica, por el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey-campus Toluca Maestro en ingeniería

Automotriz, por el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey-campus Toluca Investigador del cima- centro de investigación en mecatronica automotriz.

Departamento de diseño y analisis de chasis y carroceria en fiat chrysler automobiles – edo. De mexico.

# **DISEÑO DE UN PLAN PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE ESTACIONES DE RECARGA SEMI-RÁPIDA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL**

## **DESIGN OF A PLAN FOR THE IMPLEMENTATION OF SEMI-QUICK RECHARGE STATIONS FOR ELECTRIC VEHICLES IN THE CITY OF GUAYAQUIL**

Marco Noroña Autor<sup>1</sup>,

<sup>1</sup>Universidad Internacional del Ecuador, Av. Raúl Gómez Lince (Av. Las Aguas) y 15a.  
e – mail: 'manoroname@uide.edu.ec

*Revista Energía Mecánica Innovación y Futuro VI Edición 2017, No.1 (19)*

### **RESUMEN**

Durante décadas el ser humano ha destinado sus esfuerzos en lograr una movilidad eficiente, cada vez los fabricantes de vehículos dedican grandes esfuerzos en aprovechar las propiedades del combustible e intentan lograr sistemas más eficientes con el objetivo de disminuir las pérdidas de energía, y las emisiones al medio ambiente. Pese a esto, la energía aprovechada del combustible por el motor de combustión suele ser de hasta un 20% y las emisiones de CO<sub>2</sub> siguen siendo muy elevadas. Si a todo esto le sumamos el agotamiento del petróleo ha provocado que los motores de combustión estén quedando obsoletos, y se busquen nuevas alternativas, tales como la producción e implantación de vehículos eléctricos. El problema se centra en la necesidad de tener puntos de recarga semi-rápida para vehículos eléctricos en distintas zonas de la ciudad de Guayaquil, lo cual permita el uso y la aceptación del mercado hacia este tipo de vehículos, ya que traerá como resultado el poder trasladarse sin la preocupación de que en algún momento se agote la batería y no se pueda recargarla. La implementación de estos nuevos puntos de recarga semi-rápida en la ciudad de Guayaquil probablemente permitirá un aumento en la adquisición de estas unidades (vehículos eléctricos) para los ciudadanos locales, lo cual será un gran aporte para la disminución de emisiones al medio ambiente.

### **Palabras Clave**

Cargadores eléctricos; Estaciones.; Potencia; Recarga; Vehículo eléctrico

### **ABSTRACT**

For decades, human beings have devoted their efforts to achieving efficient mobility. Vehicle manufacturers are constantly making great efforts to take advantage of fuel properties and are trying to achieve more efficient systems with the aim of reducing energy losses and emissions to environment. In spite of this, the energy used by the combustion engine is usually up to 20% and CO<sub>2</sub> emissions are still very high. If we add to this the depletion of oil has caused combustion engines are becoming obsolete, and new alternatives are sought, such as the production and implementation of electric vehicles. The problem is centered on the need to have semi-fast charging points for electric vehicles in different areas of the city of Guayaquil, which allows the use and acceptance of the market towards this type of vehicles, as it will bring about the power move without worry that at some point the battery runs out and can not be recharged. The implementation of these new semi-fast recharge points in the city of Guayaquil will probably allow an increase in the acquisition of these units (electric vehicles) for local citizens, which will be a great contribution to the reduction of emissions to the environment.

### **Keywords:**

Electric chargers; Stations.; Power; Recharge; Electric Vehicle

## 1. Introducción

En Latinoamérica, aun no se ha podido lograr la incorporación de la ECO tecnología en un nivel masivo, es por esto por lo que se ha logrado implementar sistemas que buscan lograr motores de combustión más eficientes. En Ecuador, se utiliza mayormente vehículos que tienen como medio de combustión productos derivados del petróleo, los cuales producen gases de efecto invernadero en sus ciudades, siendo la mayor contaminación atmosférica por hidrocarburos de baja calidad, de acuerdo con los datos provenientes de la Dirección Nacional de Hidrocarburos en 2015. [1]

En el año 2016, la marca coreana KIA fue la pionera en lanzar al mercado ecuatoriano el modelo 100% eléctrico “KIA SOUL”, y posteriormente marcas como Nissan, Renault, entre otros se han sumado a esta iniciativa.

Estos vehículos al ser consumidores de energía eléctrica podrían convertirse en aliados para una operación eficiente en el sistema eléctrico del país, de modo que se reduzcan las grandes diferencias que se producen entre los periodos de mayor y menor consumo, de este modo se facilita la integración de energías renovables.

Para lograr una operación eficiente en el sistema eléctrico, sería conveniente que se obtenga la demanda en horas de menor consumo eléctrico, es ahí donde la recarga lenta nocturna del vehículo eléctrico jugará un papel importante en el aplanamiento de la curva de la demanda y su afectación al usarse la recarga rápida.

Los vehículos eléctricos no emiten ningún tipo de contaminantes en ninguno de sus funcionamientos, sin embargo, si nos referimos a que la generación de la energía eléctrica con que se recargarán sus baterías proviene del carbón o del petróleo estos serán responsables de la emisión de una cantidad considerable de contaminantes, es por eso por lo que se buscan distintas alternativas para generar energía eléctrica tales como: hidroeléctricas, o energía eólica, etc. El objetivo del este artículo es diseñar un plan para la implementación de puntos de recarga semi-rápida para vehículos eléctricos en la ciudad de Guayaquil.

Para la elaboración y aplicación de este plan de implementación de puntos de recarga semi-rápida en la ciudad de Guayaquil se realizarán investigaciones de campo tanto en los distintos sectores de la ciudad con más afluencia vehicular, así como analizaremos experiencias de otros países donde ya han incorporado este sistema, de modo que podamos lograr diseñar un servicio seguro a los usuarios que se trasladen a lo largo de la ciudad de Guayaquil en sus E.V. (vehículos eléctricos).

## 2. Materiales y Métodos

### Vehículo Eléctrico

Son considerados vehículos eléctricos aquellos que son impulsados de manera parcial o total por uno o varios motores eléctricos. Existen algunos tipos de vehículos eléctricos tales como se muestra en la figura 1.

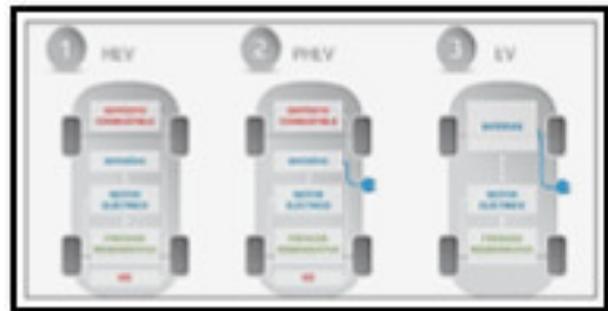


Figura 1. Comparación del funcionamiento de los vehículos eléctricos Fuente: [2]

### Tipos de Vehículos Eléctricos

#### HEV (Vehículo eléctrico híbrido)

Son vehículos que han logrado combinar varias fuentes de energía para la propulsión de sus ruedas. Este tipo de vehículo funciona con un motor de combustión interna y un motor eléctrico el cual se combinan para realizar el movimiento de las ruedas. La batería es recargada por el movimiento de un generador que está conectado al motor de combustión y también por freno regenerativo.

Algunos ejemplos de HEV que encontramos en el mercado son: Toyota Prius, Chevrolet Escalada Híbrida, Ford Fusión Híbrida, Toyota Camry Híbrida, Chevrolet Silverado Hybrid, Honda Civic Hybrid, etc.



W el cual abastece al vehículo, tiene una gran capacidad de funcionamiento y una regularidad en la operación del motor. No tiene escape, y tiene un costo aproximado de 1.22 dólares para recorrer 100 kilómetros.

**Situación actual del Vehículo Eléctrico en el Ecuador**

En la actualidad existen cuatro marcas que lideran la venta de vehículos eléctricos en el país. Y se han ubicado en cinco provincias. Desde que se introdujo el Kia Soul EV, en el 2016 se han registrado nuevos modelos los cuales satisfacen clientes que están en busca de una alternativa de ahorro económico y amigable al medio ambiente. Según la AEADE Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador en el año 2016 se adquirieron 109 unidades. El 75.21% se ubica en las provincias de Guayas y Pichincha.

Las marcas que llevan la delantera en la comercialización de EV son: Kia, Renault y Dayang, las cuales fueron las pioneras. BYD recientemente formo parte con un modelo. Es así como el Kia Soul EV ha sacado una ventaja obteniendo el mayor número de unidades vendidas, siendo 53 las vendidas en el 2016 de acuerdo con la AEADE.

Este vehículo tiene un costo desde los 35.000 dólares y alcanza una velocidad máxima de 145 km por hora.

El Twizy ZE tiene una capacidad para dos pasajeros, Renault también formo parte de esta competencia. En ciudades como Quito, Latacunga, Guayaquil y Cuenca ya se encuentran unidades. En el 2016 se lograron vender 30 unidades y se prevé para el 2017 duplicar esa cantidad. Su precio va desde los 15,000 dólares y posee opciones de financiamiento. Según estudios si se recorren 40 kilómetros en la ciudad, su batería podría durar tres días. China también se ha unido a la competencia en el país y ha colocado EV de la marca Dayang y posee tres versiones: el Chok S2 (cuatro pasajeros), Chok C1 (dos pasajeros) y el Chok H5, que es una camioneta.

En Guayaquil estos modelos tienen un costo desde \$ 8.400. Se afirma que alcanzan una velocidad máxima de 60km/h y tienen un

consumo promedio de \$15.99 al mes, si se realiza una recarga al día. Su autonomía es de aproximadamente 120 kms y se puede recargar con voltajes de 110V y 220V.

**Cargadores**

Los cargadores son dispositivos que permiten lograr una interacción entre la red eléctrica y la batería del vehículo, la cual es la encargada de almacenar la energía eléctrica que será utilizada por los diferentes sistemas del vehículo que necesitan de ésta para su funcionamiento. En los vehículos de combustión la batería únicamente servía para dar arranque al vehículo, mientras que en los vehículos eléctricos la batería brinda energía para realizar la tracción por medio del motor eléctrico.

Existen tres tipos de cargadores: de recarga rápida, de recarga semi-rápida y de recarga lenta. Las normativas vigentes aun que rigen los cargadores de baterías de vehículos eléctricos son IEC- 62196 y IEC 60309 que se refiere a enchufes y IEC-61851-1 que rige acerca de los modos de recarga.



Figura 3. Componentes del vehículo eléctrico Fuente: [3]

**Tabla 1. Vehículos eléctricos en Ecuador y sus conectores**

	YASAKI	MENNEKES	CSC	SCAME	CHADEMO
Modelo	KIA SOUL	BYD E6			
	BYD E6	RENAULT KANGOO	-	-	KIA SOUL
					NISSAN LEAF

Elaborado por el Autor

## Estaciones de recarga

Al igual que todo sistema de transporte los EV necesitan de una infraestructura la cual les permita tener acceso a la fuente de energía que requieren para lograr poner en funcionamiento, es decir, la electricidad. Ya que el componente principal de los EV son las baterías (iones de litio), las cuales deben ser recargadas frecuentemente.

Luego de estudios se prevé que los lugares ideales para la recarga de vehículos eléctricos serán garajes públicos o privados y en un menor número en la vía pública.

Dado a esto, se crea la necesidad de que exista una oferta amplia para los usuarios como: parqueaderos públicos, comunitarios o privados, estaciones de servicio, etc. Adaptando una infraestructura y equipos que vaya acorde a las necesidades del usuario. Se deberá contar con equipos especializados para la instalación y la contratación de energía optima de modo que permita el abastecimiento total, sin perjudicar a la red eléctrica.

Con este sistema se busca que las baterías de los vehículos puedan ser recargadas en los momentos en que la energía sea más barata y cuando esté disponible, de modo que se pueda recargar en modo lento, semi rápida y rápido, y a su vez sea cómodo, y confiable.

Las estaciones de recarga pueden ser ubicadas en espacios públicos o privados.

- Espacios privados
  - Parqueaderos privados (condominios)
  - Parqueadero Centros comerciales
  - Parqueaderos empresariales (Empresas)
- Espacios públicos
  - Vía pública
  - Electrolinerías

## Estaciones de recarga en vía pública

Este tipo de estación servirá de apoyo al que se encuentre en espacios privados, y a su vez tendrá la opción de recarga semi-rápida y rápida, lo cual es un gran beneficio para que un mayor número de usuarios se beneficien de este servicio, ya que la recarga total de la batería será en un menor tiempo.

Para seleccionar las ubicaciones de los de las estaciones de recarga se debe tener en cuenta las siguientes condiciones:

- Las estaciones deben estar bien ubicadas a lo largo de la ciudad.
- Se encuentren cerca de una subestación o transformador para que se facilite su instalación y conexión.
- Deberá estar a la vista de todos
- Zonas de gran afluencia vehicular.



**Figura 4. Señalización en la calzada de punto de recarga de vehículos eléctricos Fuente: [4]**

Las estaciones de recarga de vehículos eléctricos deberán ser colocadas de manera vertical y horizontal a través de un pintado en la calzada.

**Tabla 2. Especificaciones de los tipos de recarga para vehículos eléctricos.**

	RECARGA LENTA / DOMESTICA		RECARGA SEMIRÁPIDA / DE OPORTUNIDAD		RECARGA RÁPIDA	
	Corriente monofásica 220V	Corriente trifásica 400V	Corriente monofásica 220V	Corriente trifásica 400V	Corriente continua 600V	Corriente alterna 500V
<b>Potencia e intensidad eléctrica</b>	16 <sup>a</sup>	16A	32 - 64A.	32 - 64A.	400A	250A.
	3,52 kW	6,4 kW	entre 7 y 14 kW	entre 12 y 26 kW	240kW	125kW
<b>Tiempo estimado de recarga (30 kWh)</b>	8,5 H	4,7 H	4H / 2H	2H / 1 H	7-14 MINUTOS	
<b>Ubicación ideal</b>	Viviendas, lugares de trabajo, terminales aéreas o terrestre.		En la ciudad, centros comerciales y supermercados		En estaciones de servicio o electrolineras	
<b>¿En qué ocasión se utiliza?</b>	El vehículo se deja recargando y se regresa después de algunas horas (toda la noche, jornada laboral)		El vehículo se deja recargando mientras se realizan compras o se disfruta de algún entretenimiento (cine, teatro, etc.)		El vehículo se recarga sin alejarse de él, se necesita de un supervisor.	

Elaborado por: El Autor

### Estructura y ubicación de las estaciones de recarga en la ciudad de Guayaquil

Las estaciones de recarga ubicados en la vía pública son representadas como la recarga de urgencia, es decir que será en ocasiones que no tengamos oportunidad de llegar a nuestro domicilio.

- Estas estaciones de recarga estarán distribuidas estratégicamente
- Serán ubicadas en sitios cercanos a centros de control con la finalidad que haya facilidad de conexión a la red.
- Serán visibles mediante señalética y un pintado en el pavimento.
- Estarán principalmente en zonas de gran concurrencia vehicular.

### Infraestructura

Dado que en febrero de 2016 llegó a Guayaquil el primer vehículo eléctrico enchufable de venta al público, el Kia Soul y posteriormente se sumaron 7 modelos más de distintas marcas, ese año se vendieron 41 vehículos eléctricos en la ciudad de Guayaquil y 109 en el país, y se estima que para el 2017 en curso se duplique esa cifra según la AEADE.

Esto significa que a fines de 2017 en la ciudad de Guayaquil estarán circulando cerca de 125 vehículos eléctricos, por lo que la necesidad

actual de la existencia de una infraestructura que permita que estas nuevas tecnologías puedan afianzarse en el mercado guayaquileño es cada día más urgente.

Conociendo estas cifras se plantea en este proyecto construir en 5 años 3 estaciones de recarga en la ciudad de Guayaquil distribuidas en 3 sectores principales los cuales son: norte, centro y sur de la urbe, con los cuales lograremos un abastecimiento progresivo eficiente conforme al crecimiento del mercado.

**Tabla 3. Distribución de las estaciones de recarga semi-rápida en la ciudad de Guayaquil**

NORTE (3er AÑO)	CENTRO (1er AÑO)	SUR (5to AÑO)
Garzocentro	9 de octubre	Centro Cívico

Conociendo estas cifras se plantea en este proyecto construir en 5 años 3 estaciones de recarga en la ciudad de Guayaquil distribuidas en 3 sectores principales los cuales son: norte, centro y sur de la urbe, con los cuales lograremos un abastecimiento progresivo eficiente conforme al crecimiento del mercado.

Cada estación contará con dos puntos de recarga y éstos a su vez tendrán la capacidad de abastecer dos vehículos a la vez y cada uno de estos tendrá la capacidad de completar la recarga de un coche eléctrico con una batería de 27 kW en aproximadamente una hora treinta minutos.

La estación de recarga también podrá realizar la recarga de cualquiera de los vehículos que actualmente se comercializan en el Ecuador ya que se contará con los dos tipos de conectores existentes para este tipo de recarga: Mennekes y Yazaki.

De este modo garantizamos que en cualquier parte que se encuentre de la ciudad va a tener un punto de recarga cercano lo que permitirá que los usuarios circulen sin preocupaciones en su vehículo eléctrico sin contaminar la ciudad.

### Punto de recarga

En la actualidad en el mercado existe una variedad ofertas en cuanto a puntos de recarga se

refiere, de los cuales se realizó una revisión para elegir el que más se ajuste a las necesidades de la ciudad de Guayaquil.

Finalmente, el modelo escogido fue el BLAUBOX GROUND 22kW.

Características:

- Potencia: 22 kW
- Puertos de recarga: 2
- Conector: Mennekes / Yazaki
- Garantía: 2 años
- Ideal para implementar un sistema de pagos.
- El equipo está pensado y diseñado para instalarse de forma rápida y sencilla por cualquier electricista autorizado.
- Diseñado antivandálico. Estructura de acero, con puertas cerradas mediante electroimán.
- Diseñado para estar expuesto en el exterior Iluminación de estado de la recarga mediante LED



Figura 5. Punto de recarga Blaubox Ground 22kW Fuente: [5]

Este modelo nos proporciona dos entradas de 22kW cada una, esto significa que podemos recargar dos vehículos a la vez con un solo dispositivo. Lo cual nos permite tener un ahorro de espacio y de recursos.

**Esquema de conexión a implantar:**

- Esquema especialmente destinado a gestores de recarga

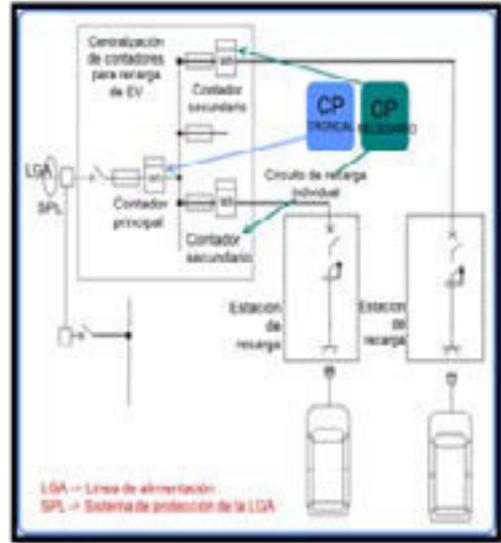


Figura 6. Esquema de conexión de los puntos de recarga Fuente: [6]

**Plano de la estación de recarga**

La estación de recarga consta de 4 parqueos de 5mts cada uno con 2 punto de recarga de los cuales estarán ubicados en la vereda una distancia de dos parqueos.



Figura 7. Plano de la estación de recarga

Elaborado por: El Autor

**Sistema de pago**

El punto de recarga Blaubox Ground 22 kW es ideal para ser conectado a un sistema de pago, en este caso será mediante tarjetas magnéticas. Los usuarios que deseen utilizar las estaciones de recarga deberán adquirir una tarjeta magnética la cual tendrá un costo de \$5, el cual permitirá cubrir costos de elaboración de tarjetas, adquisición de lectores de tarjetas, capacitación del personal a cargo de la recarga de las tarjetas, etc. Esta tarjeta podrá ser adquirida y recargada en puntos seleccionados de entidades de la ciudad de

Guayaquil con las cuales se podría lograr una asociación como, por ejemplo: Pharmacs, Mi comisariato, etc. Éstos nos brindarán el servicio de recarga a nuestros usuarios cobrando un recargo de aproximadamente el 6% del total de la transacción realizada sea compra o recarga de tarjeta, este valor no será asumido por el usuario. En el punto de recarga habrá un lector de código de barras el cual receptorá la tarjeta del usuario y de este modo descontará el valor consumido en la recarga del vehículo de acuerdo con el porcentaje de la batería a recargar.

### 3. Resultados y Discusión

El presente estudio se realizó en la ciudad de Guayaquil, provincia del Guayas. La ciudad de Guayaquil está considerada entre las ciudades del Ecuador con mayor número de vehículos eléctricos comprados en 2016 con un total de 41 y se considera que a fines de 2017 estarían circulando alrededor de 125 según la AEADE, y se proyecta cada año un crecimiento de aproximadamente 60%. Se solicitó la gentil cooperación en este análisis que se realizó por medio de una encuesta, para la determinación del grado de aceptación de la creación de estaciones de recarga semi-rápida para vehículos eléctricos en la ciudad de Guayaquil. La encuesta fue aplicada a 100 propietarios de automóviles livianos de la ciudad de Guayaquil. Según el género hubo un total de 87 hombres que representan un 87% y 13 mujeres para un 13%. Según el rango de edad oscilan de 18 a 25 años, un total de 30 personas encuestadas para un 30%, de 26 a 30 años un total de 40 personas para un 40%, 25 propietarios de 31 a 50 años para un 25% y de más de 51 años un total de 5 personas para un 5%. En este artículo se presenta únicamente el resultado de dos preguntas principales las cuales se presentan a continuación:

Pregunta 1: ¿Estaría dispuesto a adquirir un vehículo eléctrico?

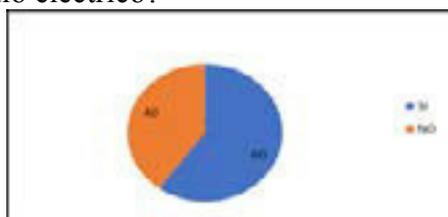


Gráfico 1. ¿Estaría dispuesto a adquirir un vehículo eléctrico? Elaborado por: El Autor

El 60% de las personas encuestadas aprueban las bondades de los vehículos eléctricos y estarían dispuestos a adquirir uno en su próxima compra, el 40% restante piensa que se va a quedar con su tradicional vehículo con motor de combustión.

Pregunta 2: ¿Cree que son necesarias la instalación de estaciones de recarga para vehículos eléctricos en la ciudad de Guayaquil?

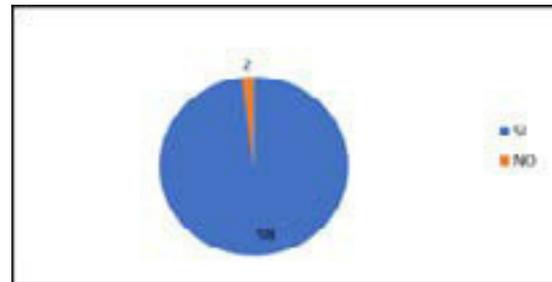


Gráfico 2. ¿Son necesarias las instalaciones de recarga en Guayaquil?

Elaborado por: El Autor

El 98% de personas encuestadas consideran que si son necesarias la instalación de estaciones de recarga para vehículos eléctricos en la ciudad de Guayaquil mientras que solo el 2% considera que no son necesarios gracias a que se pueden recargar en sus domicilios durante la madrugada lo cual sería más económico, pero el tiempo de recarga es mayor y podría requerir de una instalación adicional la cual tiene un valor elevado y la solicitud a la empresa eléctrica de un medidor exclusivo para esta instalación.

### Análisis de la Oferta

Teniendo en cuenta datos históricos de estaciones de recarga con similares características a la que se desea implementar y con el número de vehículos eléctricos en la ciudad de Guayaquil que a fines de 2017 será de 123, se considera atender como promedio semanal un total de 140 recargas de considerando que solo el 56% de los vehículos (70 vehículos) utiliza la recarga semi-rápida en la vía pública y que cada 4 días se recargan estos vehículos con un recorrido promedio de 40 km diarios, es decir dos veces por semana. Un año tiene 12 meses y las estaciones de recarga funcionaran todos los días es decir serán 365 trabajados por año. Por tanto, el promedio estimado de recargas en el año sería de 6,720. Teniendo en cuenta que se prevé que cada año aumente en un 50% el número de vehículos

eléctricos adquiridos en la ciudad de Guayaquil, y solo utilicen la recarga semi-rápida el 56% de los vehículos significa que para el 2019 se atenderán como promedio 321 recargas semanales con un total de 15408 recargas al año, en el año 2020 se tendrán 688 recargas semanales que da un total de 33024 al año, en el año 2021 se tendrán 1423 recargas semanales que da un total de 68328 al año y por último en el año 2022 aumentan a 2892 recargas semanales con un total de 138862 recargas en el año.

*Tabla 4. Aumento de la oferta con relación al tiempo*

AÑO	2018	2019	2020	2021	2022
RECARGA	6720	15408	33024	68328	138862

Elaborado por: El Autor

#### 4. Conclusiones

Al conocer los principios de funcionamiento que se necesitan saber para la implementación de los puntos de recarga semi-rápida para vehículos eléctricos lo cual permitió tomar una decisión acerca de la mejor oferta del mercado.

Se realizó el estudio para la implementación de puntos de recarga semi-rápida para vehículos eléctricos en la ciudad de Guayaquil con respecto a la aceptación de los usuarios.

El estudio de encuestas fue efectivo para los sectores de la ciudad de Guayaquil en los que sería más factible ubicar los puntos de recarga para vehículos eléctricos de acuerdo con factores económicos, geográficos y sociales.

El estudio de factibilidad técnica y económica para la implementación de las estaciones de recarga rápida en la ciudad de Guayaquil lo cual nos permitió comprobar la rentabilidad del proyecto y su sustentabilidad técnica. Es preciso utilizar los equipos indicados en el presente proyecto para la implementación de los puntos de recarga ya que estos han sido evaluados y analizados en base a la ciudad de Guayaquil y sus necesidades.

Se recomienda la progresiva instalación de las estaciones de recarga con respecto a las proyecciones anuales de manera que puedan abastecer eficientemente la demanda y a su vez

garanticen la factibilidad del proyecto

#### Referencias

- [1] E. Jilliane, *Cómo Calcular el Consumo de Gasolina*, septiembre 2016.
- [2] F. J. a. S. d. H. J. Jaime Carlos, *Sistema de transmisión y frenado*, Madrid: Macmillan Iberia, 2009.
- [3] C. Morris, «CHAdEMO spreading fast, as Association preaches peaceful coexistence,» *CHARGED electric vehicles magazine*, 2014.
- [4] J. R. Morante, *El almacenamiento de la electricidad*, Fundación Gas Natural Fenosa, 2014.
- [5] «LuEnergy,» 2012. [En línea].
- [6] «Ente vasco de la energía,» 05 2017. [En línea]. Available: <http://www.eve.eus/Proyectos-energeticos-old/Proyectos-en-desarrollo/Vehiculo-electrico/Componentes-principales-de-un-vehiculo-electrico.aspx?lang=en-GB>.
- [7] ATM, «ATM,» [En línea]. Available: <http://www.atm.gob.ec/Show/WhoWeAre>.
- [8] «Electromovilidad,» 2014. [En línea].
- [9] Ford, «Ev World,» 2016. [En línea].
- [10] «Sgsrevisioenstecnicas,» [En línea]. Available: [http://sgsrevisioenstecnicas.ec/#que\\_hacemos](http://sgsrevisioenstecnicas.ec/#que_hacemos).
- [11] AEADE, «Mas de 100 autos electricos circulan en el Ecuador,» *REVISTA MOTORES*, pp. 14-15, 30 JUNIO 2017.

**Biografía.**

Marco V Noroña M, nació en Quito – Ecuador, Tecnólogo Automotriz e Ingeniero Automotriz, Máster en Sistemas Automotrices. Cursando un Phd en Educación. Docente tiempo completo en la Universidad Internacional del Ecuador UIDE en la ciudad de Guayaquil desde marzo 2014. Coordinador de las áreas de Investigación y Bolsa Laboral de la Facultad de Ingeniería Automotriz. Experiencia en el área automotriz desde el 2002.

---

**REGISTRO DE LA PUBLICACIÓN**


---

Fecha recepción	01 octubre 2017
Fecha aceptación	08 diciembre 2017

---

## ESQUEMAS ELÉCTRICOS DE LA ECU AUTOMOTRIZ OBTENIDOS A TRAVÉS DEL MÉTODO DE DIAGNÓSTICO POR IMÁGENES

### STUDY OF THE ELECTRICAL SCHEMES OF THE AUTOMOTIVE ELECTRONIC CONTROL UNIT OBTAINED THROUGH THE DIAGNOSTIC METHOD BY IMAGES

Edwin Giovanni Puente Moromenacho <sup>1ra\*</sup>; Daniela Alexandra Jerez Mayorga <sup>2b</sup>  
<sup>1,2</sup> Universidad Internacional del Ecuador Guayaquil, Av. Raúl Gómez Lince y Calle 15°  
epuente@uide.edu.ec<sup>a</sup>; djerez@uide.edu.ec<sup>b</sup>

Revista Energía Mecánica Innovación y Futuro VI Edición 2017, No.1 (19)

#### RESUMEN

En este documento se describe el proceso realizado para el estudio de los circuitos eléctricos en cada pin de la Unidad de Control Electrónico (ECU) automotriz obtenidos a través del método de diagnóstico por imágenes con el uso de la herramienta de diagnóstico electrónico, con el cual se extraen los principales circuitos como sistema de recirculación de gases de escape, control de encendido, presión y temperatura y sistema de control de la bomba de inyección e inyectores, etc. y se los compara con los datos entregados por el fabricante, verificando entonces su correcto funcionamiento.

Parte de la propuesta es que, con la obtención de dichos diagramas es posible diagnosticar una falla en cualquier otra unidad de control del mismo modelo de vehículo ya que los datos obtenidos son almacenados y se los puede utilizar en cualquier momento como parte del diagnóstico por imágenes a través de la creación de una base de datos propia y que puede ser creada para cualquier vehículo de cualquier marca. El diagnóstico por imágenes es hoy en día una nueva tecnología usada al momento de realizar una inspección correcta de una serie de circuitos sin la necesidad de desarmar muchos componentes, a más de ser muy útil al momento de realizar un diagnóstico no solo en unidades de control sino en una serie de componentes como sensores y actuadores.

#### Palabras Clave:

Circuitos, datos, diagnóstico, imágenes, tecnología.

#### ABSTRACT

This document describes the process performed for the study of the electrical circuits in each pin of the Automotive Electronic Control Unit (ECU) obtained through the method of imaging with the use of the electronic diagnostic tool, with which the main circuits are extracted as exhaust gas recirculation system, ignition control, pressure and temperature and injection pump control system and injectors, etc. and is compared with the data supplied by the manufacturer, checking then its correct operation.

Part of the proposal is also that, by obtaining such diagrams it is possible to diagnose a fault in any other control unit of the same vehicle model since the data obtained are stored and can be used at any time as part of the diagnosis by images through the creation of a database of its own and can be created for any vehicle of any brand.

Imaging diagnosis is now a new technology used at the time of a correct inspection of a series of circuits without the need to disassemble many components, besides being very useful when performing a diagnosis not only in control units but in a series of components like sensors and actuators.

#### Keywords:

Circuits, data, diagnosis, images, technology.

## 1. Introducción

La tecnología en los vehículos avanza a paso acelerado y esto obliga a que los talleres de servicio automotriz se preparen y tecnifiquen con las últimas herramientas disponibles para lograr resolver los problemas que se presentan día a día, ya que el diagnóstico correcto marca la diferencia en la calidad de trabajo que un técnico pueda ofrecer, lo que les obliga a ir de la mano de este avance tecnológico y buscar alternativas que sin duda alguna permitan dar un servicio de calidad asegurado y que el trabajo pueda ser garantizado y recomendado.

Es así como nace el nuevo FADOS9F1 como la manera más fácil y sencilla de realizar un diagnóstico de averías en la parte de circuitos electrónicos automotrices, al ser un sistema completo y de fácil uso en la parte práctica, nos sirve para definir parámetros de uso en la identificación y comprobación de circuitos electrónicos al momento de reparar una ECM, a través de una serie de pruebas que se realizan sin necesidad de dar energía a las placas electrónicas.

El uso del equipo FADOS9F1 permite la obtención de los diagramas eléctricos de un circuito, comparar características de un circuito con otro generando un resultado el cual es analizado por el técnico y con esto pueda determinar una falla y lograr la resolución de problemas con mayor facilidad.

### 1.1 Vehículo Chevrolet Sail

El modelo del vehículo 2012 viene equipado con un motor de 1400 cc, DOHC de 16 válvulas que permite alcanzar una potencia máxima de 102 HP a 6000 revoluciones por minuto. [1]



Figura 1. Vehículo analizado

Fuente: El autor.

Los sistemas de inyección electrónicos mejora algunas prestaciones en el vehículo tales como: dosificar la cantidad adecuada de combustible en el momento correcto y reducir los gases contaminantes productos de la combustión, nacen también nuevos componentes en el automóvil como la unidad de control electrónica que es la encargada de recibir todas las señales emitidas por los sensores y gobernar las señales hacia los actuadores.

El ECM o módulo de control del motor identifica y reconoce alguna falla en el sistema realizando un diagnóstico permanente de cada circuito y las condiciones en las que está trabajando además en el encargado de recibir señales de entrada, procesarlas, almacenarlas y enviar señales de salida.

Usualmente no tienen un recambio de partes cuando se dañan, realidad que con el uso de equipo FADOS9F1 podemos conseguir a través de la identificación de fallas y reparación del ECM.

### Sensores



Figura 2. Componentes internos de la ECM

Fuente: [2]

Sin sensores los componentes encargados de monitorear y detectar las condiciones de funcionamiento del vehículo y ubicados en diversas partes de los mecanismos del vehículo, las señales enviadas por los sensores modifican los escenarios de trabajo del motor como temperatura, presión absoluta del múltiple, movimientos mecánicos es una señal de voltaje eléctrico que es enviado a la ECM, luego esta señal es procesada, analizada y comparada con datos de referencia grabados en sus memorias, para luego ordenar a los actuadores a realizar y modificar los parámetros de operación según requiera el funcionamiento del motor y los

cambios que tenga durante su operación.

En el vehículo de muestra existen algunos sensores tales como:

- Sensor de posición del cigüeñal (CPK).
- Sensor de posición del árbol de levas (CMP).
- Sensor de temperatura del refrigerante (ECT).
- Sensor de posición de la mariposa (TPS).
- Sensor de oxígeno del Catalizador.
- Sensor de temperatura del aire de admisión (IAT). Sensor de detonación o de picado (KS).
- Sensor MAP.

### Actuadores

Los actuadores son componentes que reciben la información desde la ECU y están encargados de realizar las variaciones que el motor requiera según su funcionamiento, modificando el punto y volumen de inyección, corrigiendo el punto de encendido, la entrada de aire, ralentí, etc.

Todos estos actuadores están gobernados desde las diferentes unidades de control que están ubicadas en el automóvil siendo algunos de ellos los siguientes:

- Inyectores
- Válvula de recirculación de gases de escape EGR
- Bobina de encendido
- Cuerpo del acelerador electrónico (TAC)
- Válvula de control de ralentí IAC (Idle Air Control)
- Entre otros

## 2. Métodos y Materiales

FADOS9F1 es una de las maneras más fácil y sencilla de realizar un diagnóstico de averías en la parte de circuitos electrónicos automotrices, al ser un sistema completo y de fácil uso en la parte práctica, nos sirve para definir parámetros de uso en la identificación y comprobación de circuitos electrónicos al momento de reparar una ECU, todo esto a través de una serie de pruebas que se

realizan sin dar energía a las placas electrónicas, analizar la lectura del punto tocado y graficar el diagrama del circuito electrónico equivalente además cuenta con la capacidad de memorizar placas electrónicas analizadas y esta información puede ser utilizada para evaluar otras placas de las mismas características.

El equipo posee 9 funciones, que permiten realizar más de un método para el diagnóstico por imagen, las cuales se detallan a continuación:

- Detección de fallas doble canal gráfico voltaje-corriente: Comparación de la tarjeta electrónica en pleno funcionamiento y defectuosa sin dar energía.
- Fuente de alimentación DC programable: Dando energía a la placa electrónica, genera gráfico DC voltaje - corriente de las placas electrónicas.
- Sensor de Temperatura de (IR) Infrarrojos: Se utiliza para la detección de los componentes sobrecalentados.
- Dibujo de Circuito Equivalente: Diagrama de circuito resistencia, capacitor o diodo conectado al punto que se toca.
- Detección de fallas con la función de comparar de la memoria: Los datos de la placa en pleno funcionamiento se guardan en la memoria y se hace comparación con la placa defectuosa.
- Osciloscopio digital doble canal: Utilizable como osciloscopio cuando se necesita.
- Señal de salida de onda cuadrada: Canal 1 como osciloscopio y canal 2 como generador de señales.
- Salida de Tensión Analógica: Canal 1 como osciloscopio y canal 2 como salida de tensión analógica sensible.

Como se muestra en la figura 3 El equipo de diagnóstico FADOS9F1 vista frontal, consta de los siguientes componentes:

- Salida de alimentación variable en voltaje y corriente.
- Sensor infrarrojo de temperatura.
- Punta de conexión color azul que sirve para medición y comparación.

- Masa común.
- Punta de conexión color roja la cual sirva para medición y almacenamiento de imágenes.

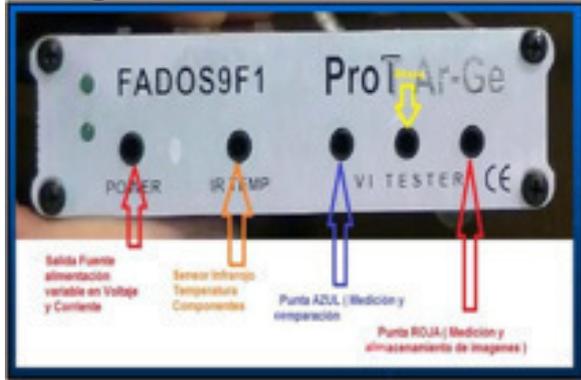


Figura 3. Vista delantera FADOS9F1

Fuente: [3]

En la figura 4 se muestra la vista posterior del equipo de diagnóstico en el cual se visualiza la salida al puerto USB en el cual se conectará la interface con un ordenador el mismo que deberá tener instalado el software de FADOS9F1 para poder hacer el diagnóstico, además se observa el punto de alimentación o power.



Figura 4. Vista posterior FADOS9F1

Fuente: [3]

El funcionamiento es a través de la aplicación de una onda sinusoidal de corriente controlada por un resistor, para realizar el análisis, FADOS9F1 utiliza una serie de imágenes denominadas firmas digitales correspondientes para cada uno de los componentes electrónicos tal como se indica en la figura 5.

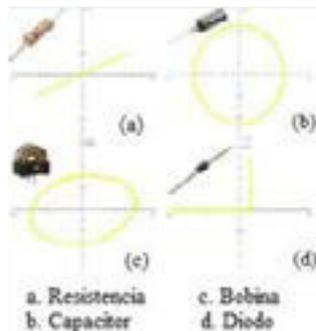


Figura 5. Imágenes de componentes eléctricos básicos

Fuente: [4]

Existen también líneas para identificar un circuito abierto, tal como se indica en la figura 6, en donde la corriente es cero independientemente del voltaje aplicado, esto es provocado por que el

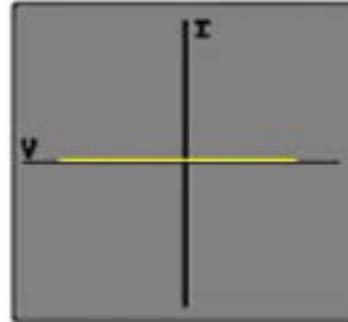


Figura 6. Imagen de circuito abierto [4]

En la figura 7 se muestra la imagen del circuito en corto al no existir voltaje en las puntas de prueba, el voltaje cae en la resistencia que actúa como divisor de voltaje, esta línea es el resultado de la oscilación del punto del osciloscopio representando la corriente alterna que cicla entre su valor máximo positivo y negativo.

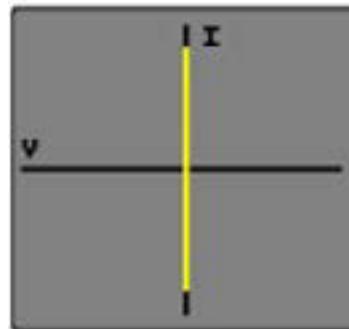


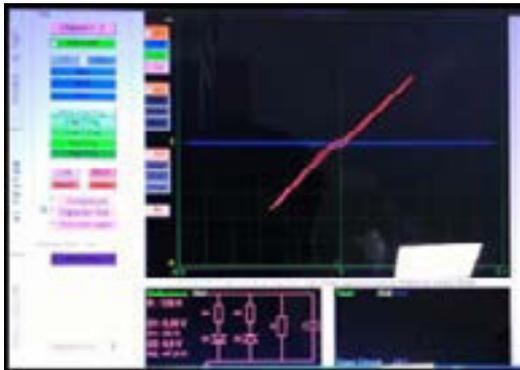
Figura 7. Imagen de circuito en corto. [4]

### Pruebas realizadas en los Pines de la ECU del vehículo Chevrolet Sail

La ECU del vehículo de muestra tiene 100 pines de los cuales se derivan circuitos de señales, algunos de los cuales se indican a continuación:

control de ignición de los cilindros (pines 1, 2, 3, 26), señal del sensor de la posición del árbol de levas (pin 5), señales de sensores de oxígeno (pin 10, 40, 88), señal del sensor de posición del cigüeñal (pin 30), red CAN high y CAN low (pines 54 y 55 respectivamente), señal VSS ( 58, 68), señal del MAF (pin 76), señal de inyección de combustible (pines 78, 79, 80 y 81), luz mil (pin 92) así como pines que no se usan como: 6, 9, 22, 23, 31, 38, 41, 59, 61, 62,63, 64, 70, 73, 82, 89 93, 96, 99, 100. [1]

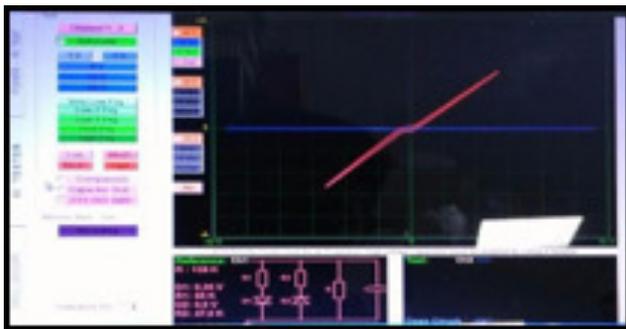
En la figura 8 se indica la señal de control de ignición cilindro 4, curva compuesta de un capacitor en paralelo a las tres resistencias en serie para acondicionar la señal.



**Figura 8. Circuito del Pin 1 de la ECU.**

*Fuente: El autor.*

En la figura 9 se muestra el circuito de control de ignición cilindro número 3, tomada en el pin2 de la ECU, compuesto por dos diodos, tres resistencias y un capacitor en paralelo a dichas resistencias.



**Figura 9. Circuito del Pin 2 de la ECU.**

*Fuente: El autor.*

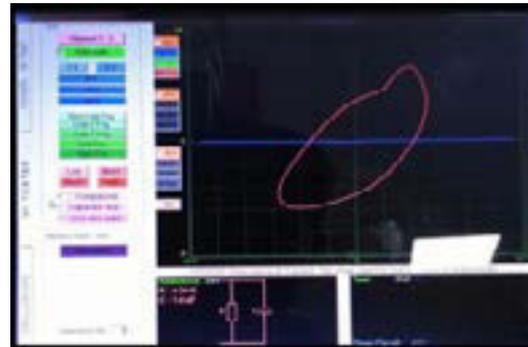
En el Pin 5 se muestra el circuito del sensor de posición de la barra de levas. la resistencia colocada en paralelo al condensador, con esta información se corrobora que se trata del circuito fuente de la ECU, la curva obtenida es la del capacitor su inclinación se debe a la resistencia, tal como se indica en la figura 10.



**Figura 10. Circuito del Pin 5 de la ECU.**

*Fuente: El autor.*

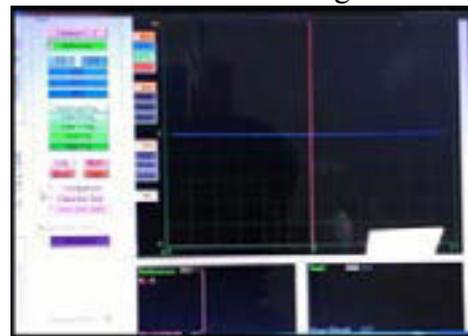
En la figura 11 se muestra el circuito del pin 18, el mismo que está conformado por una resistencia y condensador en paralelo. Este circuito corresponde a los 5 voltios de referencia.



**Figura 11. Circuito del Pin 18 de la ECU.**

*Fuente: El autor.*

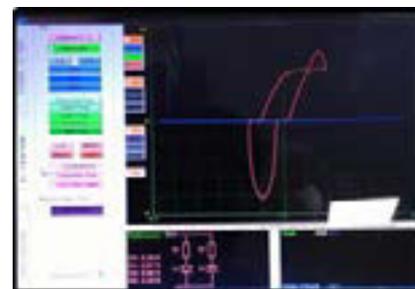
No se usa, el pin 22 no tiene conexión o función dentro de la ECM, se representa con una línea vertical, que representa un circuito en corto, tal como se hace referencia en la figura 12.



**Figura 12. Circuito del Pin 22 de la ECU.**

*Fuente: El autor.*

El 24 pin le corresponde el circuito de control del actuador de la mariposa. En la figura 13 se observa en circuito de dos diodos en serie con las resistencias, en donde el diodo zenner se usa para suprimir los picos de voltaje.



**Figura 13. Circuito del Pin 24 de la ECU.**

*Fuente: El autor.*

En la figura 14 se puede observar la imagen que representa al circuito del sensor de posición del cigüeñal, muy parecida a la figura 10 del sensor de posición del árbol de levas, en este circuito tenemos un capacitor en paralelo con la

resistencia.



Figura 14. Circuito del Pin 30 de la ECU.

Fuente: El autor.

El pin 49 corresponde al control del actuador de la mariposa en alta, en el circuito mostrado en la figura 15 se obtiene la imagen correspondiente al circuito de dos diodos en serie con sus respectivas resistencias y en paralelo entre sí.



Figura 15. Circuito del Pin 49 de la ECU.

Fuente: El autor.

#### 4. Resultados y discusión

Luego de haber ido tomando todas las gráficas de los circuitos en cada uno de los 100 pines de los que consta el conector de la ECU del Chevrolet Sail se pudo en primera instancia guardar en la base de datos para tenerlos como referencia y compararlos con algún otro conector de un vehículo de iguales características con lo cual se puede realizar pruebas comparativas que nos permitan ver dos mediciones, estas pueden ser comparadas entre si obteniendo un diagnóstico más preciso y ágil

Corroborando así que una de las ventajas más amplias de este equipo de comprobación es, precisamente la capacidad de generar una base de datos vasta de todas las ECU a las cuales se tenga acceso teniendo así una forma más rápida de diagnóstico electrónico.

#### 5. Conclusiones

Se logró tener acceso a un nuevo método de diagnóstico electrónico automotriz, ampliando conocimientos con una nueva tecnología.

Es posible obtener los circuitos eléctricos de cualquier ECU, para este caso se obtuvieron los esquemas de los 100 pines del ECM del vehículo Sail 1400 cc. del año 2012.

Con el uso del equipo el diagnóstico por imágenes se entiende más a fondo cual es el funcionamiento de cada módulo y sensor que opera en el vehículo lo cual facilita la identificación de fallas y la resolución efectiva de daños

Al finalizar la investigación se comparó las curvas y circuitos obtenidos con los datos otorgados por el fabricante en cada uno de los pines correspondientes al vehículo en estudio, coincidiendo con cada una de las características entregadas.

#### Referencias

- [1] G. Motors, «Manual Sail SGM,» America Latina, 2014.
- [2] Magnetimarelli.com, «Magnetimarelli,» 2011. [En línea].
- [3] TAAET, «CISE ELECTRONICS,» 2016. [En línea].
- [4] S. Soriano, «ABI Electronics UK,» 2013. [En línea]. Available: [www.abielectronics.co.uk](http://www.abielectronics.co.uk).

#### Biografía



Edwin G Puente M, nació en Quito, Ecuador, Ingeniero Automotriz, dispone de amplia experiencia profesional en el sector público y privado, especializado en sistemas electrónicos y de control de emisiones del automóvil con preparación de cuarto nivel en Autotrónica y en Gerencia y Liderazgo Educativo. A más de la preparación formal, ha realizado una amplia gama de cursos técnicos- científicos a nivel

nacional e internacional. Docente universitario de la Universidad Internacional del Ecuador y Director de la Facultad de Ingeniería en Mecánica Automotriz de la UIDE extensión Guayaquil.



Daniela A Jerez M, Maestría en Gerencia de Seguridad y Riesgo por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Diplomado en Autotrónica del Automóvil por La Escuela Politécnica del Ejército Sede Latacunga. Ingeniera Automotriz por La Escuela Politécnica del Ejército Sede Latacunga. Actualmente Docente Tiempo completo de la Facultad de Ingeniería Automotriz de la Universidad Internacional del Ecuador y Responsable de Vinculación con la Sociedad.

# IMPLEMENTACIÓN DE UNA PERSIANA PARA EVITAR EL RECALENTAMIENTO DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA EN AUTOBÚS AK

## IMPLEMENTATION OF A DAMPER TO AVOID THE REHEATING OF THE INTERNAL COMBUSTION ENGINE OF A BUS TYPE AK

Cárdenas Yáñez Rodrigo Andrés<sup>1</sup>, Molina Osejos Jaime Vinicio<sup>2</sup>, Peralta Zurita Diana Belén<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Universidad Internacional SEK – Ecuador - Facultad de Arquitectura e Ingeniería – Maestría en Diseño Mecánico Mención Fabricación de Autopartes de Vehículos

e – mail : <sup>1</sup>rcardenas.mdm@uisek.edu.ec, <sup>2</sup>jaimemolina@uisek.edu.ec, <sup>3</sup>dianaperalta@uisek.edu.ec

*Revista Energía Mecánica Innovación y Futuro VI Edición 2017, No.1 (19)*

### RESUMEN

El objetivo principal de la investigación es diseñar, simular y construir una persiana de un autobús tipo AK, que cumpla con los parámetros principales de diseño para evitar el recalentamiento del motor. Para esto, se analizó la cubierta original del autobús con el fin de tomar las dimensiones de su perfil para el estudio de ingeniería, así como también el material idóneo para la fabricación de la autoparte. Como primera instancia se identificó las dimensiones de los perfiles de la cubierta del autobús para realizar un levantamiento de dos prototipos de persianas. Luego se modeló los dos prototipos de persiana más la original en programas de ingeniería (CAD), en donde se analizó el flujo de aire mediante simulación computacional (CFD). Finalmente se evaluó el comportamiento del flujo de aire de las tres configuraciones de persiana del autobús. Adicionalmente en un análisis posterior se identificó el prototipo con el material idóneo para elaborar una tabla comparativa de resultados y finalmente construir el prototipo final.

### Palabras Clave:

Persona, CAD, simulación, CFD

The main objective of the research is to design, simulate and build a shutter of an AK type bus, which complies with the main design parameters to avoid engine overheating. For this, the original cover of the bus was analyzed in order to take the dimensions of its profile for the engineering study, as well as the ideal material for the manufacture of the autopart. As a first instance, the dimensions of the profiles of the bus cover were identified to carry out a survey of two shutter prototypes. Then the two blind prototypes were modeled, plus the original one in engineering programs (CAD), where the air flow was analyzed by computational simulation (CFD). Finally, the behavior of the air flow of the three configurations of the bus blind was evaluated. Additionally, in a subsequent analysis, the prototype was identified with the ideal material to prepare a comparative table of results and finally to build the final prototype.

### Keywords:

Domper, CAD, simulation, CFD

### ABSTRACT

## 1. INTRODUCCIÓN

La aerodinámica de los vehículos tiene su origen en las competencias automovilísticas en los años 80 en el continente europeo, en ese entonces los ingenieros experimentaban diferentes diseños y formas que permitían aumentar la velocidad en los automóviles, con el objeto de tener éxito en las diferentes pistas de competencia se ha ido innovando diseños aerodinámicos para con ello permitir un rendimiento eficiente en el MCI (motor de combustión interna), precisamente en su sistema de enfriamiento, ya que su función principal es moderar la temperatura interna del MCI con el fin de llevar a cabo un trabajo adecuado.[1]

La aerodinámica, se centra en la fuerza que sufre un cuerpo al moverse por consecuencia del aire, uno de los factores determinantes es la velocidad respectiva de un cuerpo con relación al medio en el que se desenvuelve, para conocer la aerodinámica en los vehículos es necesario enfocarse en el estudio de diferentes coeficientes que en ocasiones resultan difíciles de determinar de forma artesanal, éstos pueden ser: presiones, fuerza de arrastre, coeficientes aerodinámicos, entre otros.[2] Sin embargo, gracias a la evolución de la tecnología, existen en la actualidad medios e instrumentos como el análisis computacional que facilitan el estudio de estos factores brindando facilidades a los ingenieros y principales industrias concentradas en esta rama.

Actualmente en países desarrollados, la aerodinámica se estudia a través del uso de software especializado en diseño mecánico CFD (Dinámica de Fluidos Computacional), la cual se basa en la resolución de ecuaciones matemáticas; así como también mediante túneles de viento, que permiten a los operadores (técnicos) modificar los modelos de diseño precisamente con costos reducidos, a esto se considera que el estudio por CFD tiene mejor acogida por los ingenieros en diseño mecánico, debido al tiempo y a la facilidad de modificar parámetros para el análisis. [3]

En el Ecuador existen estudios aerodinámicos en vehículos de competición, como es la Formula Student y autobuses interprovinciales realizados

mediante software, tales como el CFD, lo cual es de gran utilidad ya que permiten contar con una línea base que sirva de referencia para realizar este tipo de estudios.

Cuando se habla del análisis aerodinámico en los autobuses, uno de los componentes que se pueden estudiar es precisamente su persiana frontal, esto debido a que a consecuencia del viento, cuando el autobús se dirige a altas velocidades se genera una fuente de ventilación frontal eficiente que permite mitigar los posibles riesgos causados debido al recalentamiento del MCI e inclusive eliminando la acción de elevar de forma manual o mecánica la persiana frontal del autobús para mayor ingreso de aire. [4]

El funcionamiento constante de las unidades trae como consecuencia que el motor de combustión interna (MCI) trabaje todo el tiempo, por otro lado, es importante tomar en cuenta que uno de los sistemas primordiales para el funcionamiento de un automotor, es el sistema de enfriamiento, cuya función principal es moderar la temperatura interna del MCI.

La implementación de esta investigación contribuye al disminuir los problemas por recalentamiento del MCI, permitiendo contar con una solución adecuada para mantener óptimas condiciones la ventilación del MCI y de esta manera evitar el levantamiento de la persiana en la unidad.

Para solución a ésta problemática se validó el diseño constructivo de la persiana para autobús tipo AK, mediante simulación por CFD y ensayos a través de pruebas prácticas en funcionamiento para el suministro necesario del flujo de aire en el sistema de enfriamiento del MCI.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### Metodología

La metodología se estableció mediante una revisión sistemática del estudio del arte, ya que se analiza las tendencias actuales referentes a la aerodinámica en vehículos y se identificó su importancia para la exploración, incluyendo a su vez métodos de investigación utilizados en la aerodinámica con respecto al flujo de aire

hacia la persiana y el dimensionamiento para su instalación. Seguidamente, se plantearon temas para cumplir con los objetivos principales del proyecto, los cuales consisten en: realizar el análisis de las geometrías de persianas actuales en los autobuses, diseñar las geometrías de la persiana mediante CAD, simular el comportamiento aerodinámico de las persianas actuales más la propuesta de diseño mediante CFD y construir la persiana para evaluar el diseño propuesto a través de pruebas de ruta como se indica a continuación:

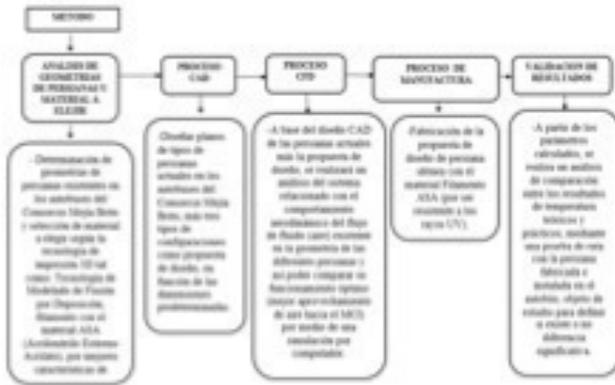


Figura 1. Metodología de la investigación.

Fuente: El autor

**Revisión del estado del arte.**

A través del análisis de información secundaria como revistas, libros, tesis, bases de datos en línea y publicaciones. Los temas revisados fueron: sistema aerodinámico en vehículos pesados, materiales empleados en la fabricación de carrocerías de autobuses y factores que afectan en el recalentamiento del MCI.

**Métodos experimentales.**

Son aquellas técnicas que se consideraron para responder a las preguntas de la investigación, incluyendo el análisis de las geometrías de persianas actuales en los autobuses, generación de las magnitudes geométricas de la persiana frontal y simulaciones del comportamiento aerodinámico. Estos métodos fueron evaluados por su idoneidad para responder a los objetivos de la investigación realizada.

**Análisis de la geometría de la persiana.**

Para determinar la geometría de la persiana, se procede a verificar la posición por efecto en el

automotor y se analiza la altura de desplazamiento que posee dicha persiana al elevar de forma manual, con el fin de diseñar su modelo.

Se realizó la medición de toda la geometría externa de forma manual, determinando el ángulo de las esquinas laterales de la persiana y calculando los ángulos internos, una vez determinados los resultados de la medición se evaluará en 2D y 3D para verificar los canales de flujo de aire según la necesidad y de esta manera determinar la ubicación idónea de cada uno. Los estudios se han llevado a cabo para varias aplicaciones y a su vez este método se aplica como una técnica para investigar que posicionamiento adecuado para la instalación de cualquier mecanismo con una configuración idónea. Además estos estudios fueron basados en investigaciones de laboratorio e incorporaron el ajuste de subcomponentes de autopartes especificados para que los técnicos seleccionan la posición óptima de los componentes para de esta manera ajustarse mejor a los requisitos de la tarea de ensamblaje y eficiencia de tiempos de trabajo.

Para la medición se tomó datos en los ocho puntos externos donde va instalada la rejilla del autobús (ángulo superior izquierdo, ángulo central izquierdo, ángulo inferior izquierdo, largo superior, ángulo superior derecho, ángulo central derecho, ángulo inferior derecho y largo inferior). La medición se realizó tres veces para aumentar la fiabilidad, cabe recalcar que dicha medición se realizó una vez que la rejilla contaba con sus acabados finales (aplicación de pintura), lo cual podría generar variación en los resultados.

**Mediciones de longitud y ángulo de la persiana.**

Para realizar la medición de la persiana, se tomó en cuenta longitudes geométricas directas en el lado izquierdo y derecho del habitáculo del autobús, mediante el uso de un flexómetro, como se muestra en las figuras 2 y 3.

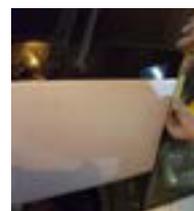


Figura 2. Dimensionamiento lateral LH y RH Fuente: El Autor



Figura 3. Longitud superior e inferior

En la tabla 1 están las medidas

Tabla 1 Medidas obtenidas en la persiana del autobús

Descripción	Medida (mm)
Largo superior	1 689
Altura	228
Largo inferior	1 443

La metodología llevada a cabo para el diseño y simulación de la persiana será la siguiente:

- Medición de los diferentes modelos de persianas instauradas actualmente en los autobuses.
- Una vez determinadas las medidas y definidas las variables de flujo de aire, se plantea la construcción del diseño propuesto.
- Análisis de los parámetros principales de la ubicación de la persiana, como son: el perfil externo, la ubicación de los elementos de sujeción, ente otros., esto se llevará a cabo con el fin de definir la posición de los ángulos de las aspas de la persiana, de tal manera que el flujo de aire ingrese de forma eficiente hacia el interior del MCI.
- Simulación del comportamiento aerodinámico de los dos tipos de persianas existentes en la flota de autobuses en comparación con el prototipo de diseño propuesto. La simulación se lleva a cabo mediante el uso de CFD, con el fin de obtener variantes de diseño que permitan comparar la eficiencia de cada uno de estos.
- Una vez determinada la eficiencia de la persiana propuesta, se fabrica mediante el uso de materiales como termoplástico, considerado un material de alta resistencia mecánica y con estabilidad ultra violeta (UV) que a su vez proporciona una mejor estética.

## Construcción

Para la construcción de la persiana se utilizó tecnología de impresión en termoplástico ASA (Acrilonitrilo Estireno Acrilato), ya que es una tecnología que proporciona facilidades en su uso, además mantiene resistencia contra rayos ultravioletas.

## Validación de la persiana

La validación de la persiana se llevó a cabo mediante la aplicación de pruebas de ruta, las mismas que mantendrán un control del aire que ingresa al MCI con el fin de determinar la temperatura del automotor.

Es importante tener en cuenta que la configuración adecuada de la forma de la persiana evita la acción de elevar y descender la persiana de forma manual por parte del conductor o responsable del autobús, para ello es indispensable investigar la adaptabilidad de la persiana en el autobús utilizando la teoría de aerodinámica y el diseño en software CAD-CAE facilitando la validez del diseño de persiana propuesta.

Por otro lado, el punto de referencia clave es la parte central donde va instalada la persiana para la evaluación en cuanto a los niveles de enfriamiento del MCI; esto debe establecerse antes de inspeccionar los puntos de anclaje de la persiana, ya que consiste en fijar el ángulo correcto de las aspas internas de la rejilla, para llevar a cabo un estándar de eficiencia.

## Materiales y equipos

El material a utilizarse es: filamento ASA (Acrilonitrilo Estireno Acrilato) (figura 4) perteneciente a la Tecnología de Modelado de Fusión por Deposición (FDM), en la tabla 2 se muestra la ficha técnica respectiva.



Figura 4. Acrilonitrilo estireno y acrilato

**Tabla 2. Ficha técnica ASA**

Material ASA	
Diámetro	1,75 mm / 2,85 mm
Peso	750 g
Tolerancia diametral	+/- 0.05 mm
Temperatura de impresión	255 - 260 °C
Temperatura cama caliente	110 °C

Fuente: [2]

La resistencia a los rayos UV que posee ASA es adecuado en las partes de uso final para el uso de una infraestructura y su amplia selección de colores y acabado mate lo hace ideal para prototipos atractivos en artículos deportivos de consumo, herramientas, componentes y accesorios automotrices.

Adicionalmente las características técnicas de ASA (acrilonitrilo estireno y acrilato) se dividen en propiedades mecánicas (tabla 3) y en propiedades térmicas (tabla 4).

**Tabla 3. Propiedades mecánicas de ASA**

MÉTODO DE PRUEBA	INGLES		MÉTRICO		
	ESTAN 509 SE	ORIENTAC 509 EX	ORIENTAC 509 SE	ORIENTAC 509 EX	
Resistencia a la tracción, Estándar (Tipo I, 0,125" x 0,2" / mm)	ASTM D638	4 200 psi	3 850 psi	29 MPa	27 MPa
Resistencia a la tracción, Real (Tipo I, 0,125" x 0,2" / mm)	ASTM D638	4 700 psi	4 300 psi	35 MPa	30 MPa
Módulo de tracción (Tipo I, 0,125" x 0,2" / mm)	ASTM D638	280 000 psi	280 000 psi	2 000 MPa	1 950 MPa
Elongación a la rotura (Tipo I, 0,125" x 0,2" / mm)	ASTM D638	9%	9%	9%	9%
Elongación al Rendimiento (Tipo I, 0,125" x 0,2" / mm)	ASTM D638	9%	9%	9%	9%
Resistencia a la flexión (Dóndulo I, 0,05" x 0,05" / mm)	ASTM D790	8 700 psi	8 400 psi	60 MPa	60 MPa
Módulo de Flexión (Dóndulo I, 0,05" x 0,05" / mm)	ASTM D790	270 000 psi	260 000 psi	1 870 MPa	1 800 MPa
Tensión de Flexión a la Rotura (Dóndulo I, 0,05" x 0,05" / mm)	ASTM D790	No rotura	4%	No rotura	4%

Fuente: [2]

**Tabla 4. Propiedades mecánicas de ASA**

DESCRIPCIÓN	MÉTODO DE PRUEBA	MÉTRICO
Deflexión de calor (HDT) @ 98 psi	ASTM D648	98°C
Deflexión de calor (HDT) @ 264 psi	ASTM D648	91°C
Vicat Soportante Temperature (nivel B / 50)	ASTM D1525	103°C
Temperatura de transición de vidrio (Tg)	DMA (SITS)	108°C
Coefficiente de Expansión Térmica (caída)	ASTM E831	8,79 E-05 mm/mm/°C
Coefficiente de Expansión Térmica (Bajo x)	ASTM E831	8,28 E-05 mm/mm/°C

Fuente: [2]

Continuando, con el equipo de impresión 3D, esta la impresora industrial profesional con tecnología de modelado de fusión por deposición (FDM), es una tecnología de impresión en termoplásticos, los materiales son de alta resistencia mecánica, como ABS M30, ASA, ABSi. la impresora es la Fortus 900 mc (figura 5).



**Figura 5. Impresora 3D Fortus 900 mc**

Fuente: [3]

### Diseño y tipos de persianas

Se presenta dos tipos de persianas existentes en los autobuses, más tres alternativas de persianas para el autobús tipo AK, los mismos fueron diseñados en base a modelos locales, sometidos a un profundo proceso de simulación, en donde la persiana que generó la menor turbulencia fue seleccionada como la mejor para el análisis de eficiencia aerodinámica.

### Simulación

El diseño computacional por Elementos Finitos (Finite Elements Analysis FEA) representa la mejor herramienta de diseño que se utiliza para diseñar y construir automotores y un sin número de objetos mecánicos.

Es así como, ANSYS ha sido reconocida como una de las empresas más innovadoras del mundo por prestigiosas publicaciones como “Bloomberg Businessweek” y revistas “FORTUNE”.

Para la generación de estos diseños se aplicó el método analítico de investigación, y se procedió a plantear las alternativas mostradas en la sección de resultados.

Estos modelos fueron desarrollados en Siemens NX utilizando varias herramientas del mismo y guardando los archivos en formato “STEP” para no tener inconvenientes futuros al querer abrirlos en otro tipo de software.

**Parámetros de simulación**

Los siguientes parámetros bajo los cuales el programa va a calcular la efectividad de dicha persiana, estos parámetros son:

- El Coeficiente de Sustentación (CL).
- La Fuerza de Arrastre (FD).
- El Número de Reynolds (Re).
- La Potencia para vencer la resistencia del aire (Pa).
- La Resistencia del aire (R).

**Simulación de persianas**

En esta sección se hará referencia a la metodología:

Se diseñó tres propuestas en Siemens Nx, utilizando la gran variedad de herramientas que pone a disposición este software.

Se importó a ANSYS en formato “STEP” en donde se procedió a realizar el análisis CFD.

Se generó un mallado fino tomando en cuenta el método del “Jacobian Ratio” en donde establece que el punto de convergencia de la malla y el flujo de aire debe tender a 1, esto con el fin de obtener resultados lo más cercanos a la realidad.

Se estableció las condiciones iniciales, como: ángulo de ataque, velocidad del autobús a 60 y 90 km/h, respectivamente para cada persiana; tomando en consideración como velocidades

promedio en este tipo de autobuses por ser inter-cantoniales y por acatar las velocidades establecidas por la ANT (Agencia Nacional de Tránsito).

Se procedió a resolver las simulaciones.

Se encontró la presión y velocidad del flujo de aire para cada uno a 60 y 90 km/h

Se encontró el área de contacto del cuerpo con el aire.

Mediante el cálculo del número de Reynolds se encontró que la persiana 3 con apertura de aspas a 90° fue la que generó una menor turbulencia, por lo tanto es la más eficiente.

Para el análisis de todos estos cálculos se tomo en cuenta las propiedades del aire descritas en la tabla 5, así como también los diferentes valores descritos a continuación tomados de la literatura [4] y del pronóstico del día por el INAMHI:

- Temperatura del aire en la Sierra (T) = 200 [C] o 293.150 [K]
- Presión atmosférica a 2800 m.s.n.m = 1 [atm] o 101 000 [Pa]
- Velocidad máxima del vehículo = 90 [km/h]o 25[m/s ]
- Velocidad promedio del vehículo (permitida)= 60 [km/h]o 16.66[m/s]
- Densidad = 1.2 [kg/m^3 ] @ 101 000 Pa y 293.150 K

*Tabla 5. Propiedades del aire*

Temperatura T (°C)	Densidad ρ (kg/m³)	Peso Específico γ (kg/m³)	Viscosidad dinámica μ (Pa·s)	Viscosidad cinemática ν (m²/s)
0	1.292	12.67	1.72 x 10 <sup>-2</sup>	1.33 x 10 <sup>-2</sup>
10	1.247	12.29	1.77 x 10 <sup>-2</sup>	1.42 x 10 <sup>-2</sup>
20	1.204	11.81	1.81 x 10 <sup>-2</sup>	1.51 x 10 <sup>-2</sup>
30	1.164	11.42	1.86 x 10 <sup>-2</sup>	1.60 x 10 <sup>-2</sup>
40	1.127	11.05	1.91 x 10 <sup>-2</sup>	1.69 x 10 <sup>-2</sup>

Fuente: [5]

Con estos parámetros, y haciendo uso del método numérico por elementos finitos, se obtuvo el análisis aerodinámico con la propuesta de la

nueva persiana en el autobús y su incidencia directa en la eficiencia y posterior análisis para disminuir la temperatura del MCI. De igual manera se determinó el comportamiento del flujo de aire siendo factible la utilización de la velocidad del autobús como referencia para realizar los respectivos cálculos en donde se determinará las variables mencionadas.

Otro parámetro a ser considerado es el material del cual esta constituida la persiana, para ello se hace referencia al manual Stratasys del polímero ASA, en donde se establece que tiene un diámetro del filamento de 1.75 [mm].

El multímetro digital (figura 6), el mismo que posee la función para medición de temperatura con mayor precisión, ya que su diseño lo hace más ergonómico y permite un fácil manejo. Así como también ofrece una lectura inmediata en su pantalla de cristal líquido, en la unidad de medición de grados Celsius (centígrados).



**Figura 6. Multímetro digital**  
Fuente: EW FIRST POWER

Con el fin de realizar pruebas que garanticen la funcionalidad de la persiana en el autobús se propone establecer una hoja de ruta donde se trace un recorrido de aproximadamente 27.4 km, partiendo del Cantón Mejía, desde la ciudad de Machachi hasta la Parroquia de Cutuglahua (figura 7). Se ha considerado este recorrido debido a las ventajas que proporcionan las condiciones topográficas de la zona, ya que se cuenta con una calzada recta, con pendientes y curvas que obligan al MCI a realizar un trabajo con mayor esfuerzo en comparación de si se lo hace en zonas rectas, se plantea también que la prueba se la realice con la carga de pasajeros para obtener resultados más reales.



**Figura 7. Trayectoria de recorrido Machachi – Cutuglahua**  
Fuente: [6]

### 3. RESULTADO Y DISCUSIÓN

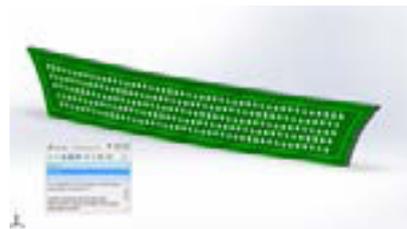
#### Validación computacional de las persianas

Se procede a simular en ANSYS WORKBENCH 16.0 cada una de las persianas a una velocidad de 60 [km/h] ó 16.66[m/s] y 90 [km/h] ó 25[m/s] respectivamente, para llegar a verificar el comportamiento de velocidad, presión y temperatura del fluido (aire).

#### Modelo de persianas.

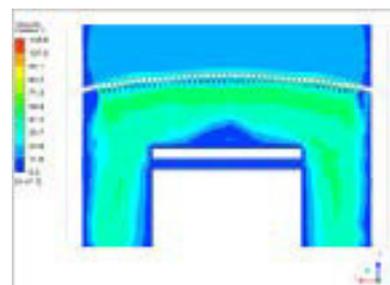
##### Persiana 1.

En este sentido, se señala la parte frontal de la persiana 1 (Figura 8), obteniendo una área total de 0.28 m<sup>2</sup> (escala 1:1).



**Figura 8. Área proyectada - Persiana 1**

En la figura 9 se muestra la variación de velocidades que se generan en el sistema a 60 km/h.



**Figura 9. Velocidad de flujo de aire – Persiana 1 a 60km/h**

En rojo se visualiza la temperatura máxima en [°C], en azul se visualiza la temperatura mínima en [°C]. Rectángulo central simula a morfología del radiador, mientras que el MCI está representado con el cuadrado inferior central. En la figura 10 se muestra la variación de temperaturas que se generan en el sistema a 60 km/h.

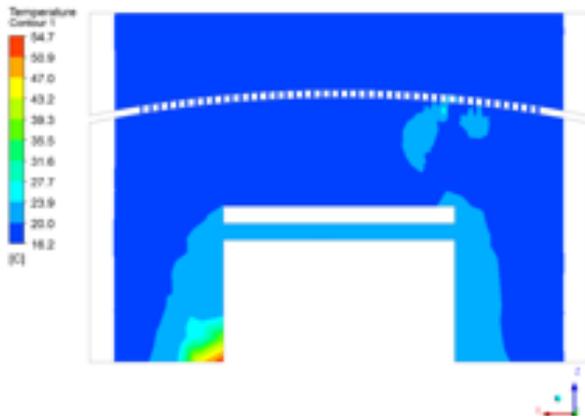


Figura 10. Temperatura - Persiana 1 a 60km/h

En la figura 11 se muestra la variación de temperaturas que se generan en el sistema a 90 km/h.



Figura 11. Temperatura - Persiana 1 a 90km/h

### Persiana 2.

Seguidamente se obtiene el área total de la persiana 2 (figura 12), siendo 0.35 m<sup>2</sup>.



Figura 12. Área proyectada - Persiana 2

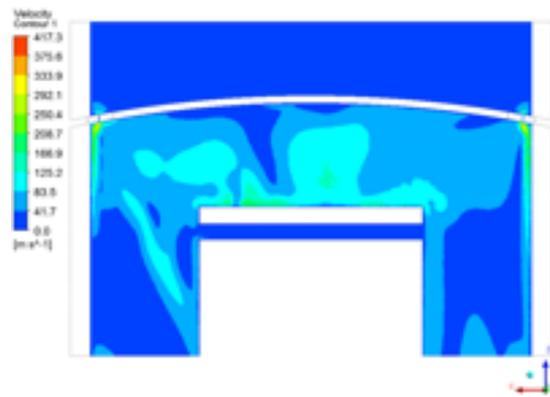


Figura 13. Velocidad de flujo de aire – Persiana 2 a 60km/h

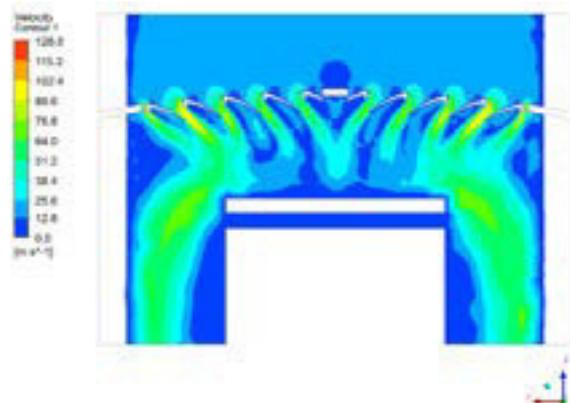


Figura 14. Velocidad de flujo de aire – Persiana 2 a 90km/h

### Persiana 3 con apertura de aspas a 30°.

Para el cálculo del área total de la persiana 3, se establece en tres etapas, empezando con una apertura de las aspas a 30° (figura 45), obteniendo 0.35 m<sup>2</sup>

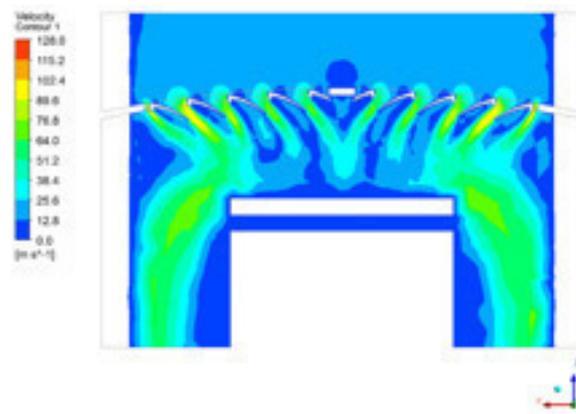


Figura 15. Área proyectada - Persiana 3 con apertura de aspas a 30

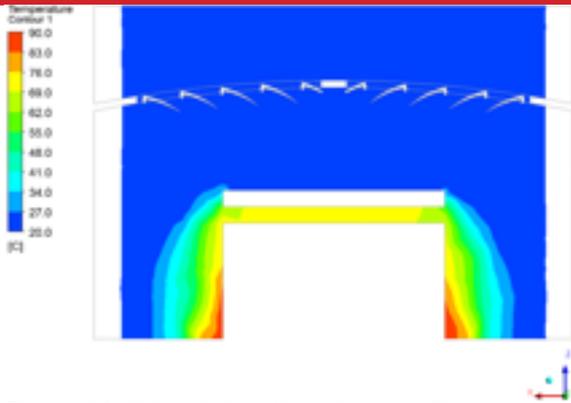


Figura 16. Velocidad de flujo de aire – Persiana 3 con apertura de las aspas a 30° a 60km/h

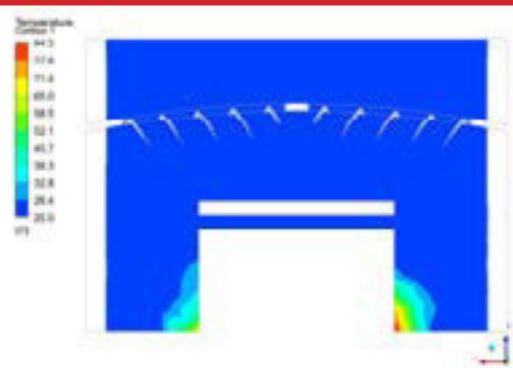


Figura 20. Velocidad de flujo de aire – Persiana 3 con apertura de las aspas a 60° a 60km/h

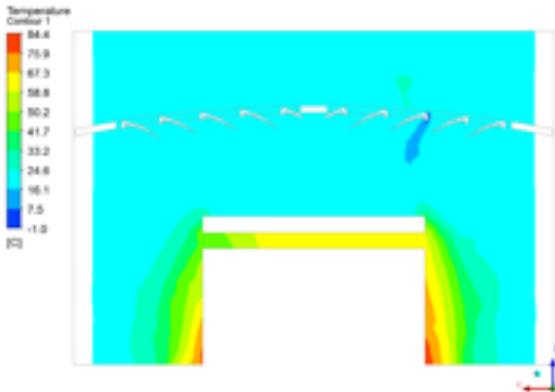


Figura 17. Temperatura - Persiana 3 con apertura de las aspas a 30° a 60km/h

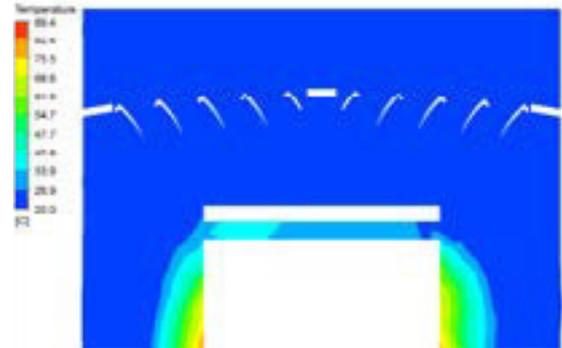


Figura 21. Temperatura - Persiana 3 con apertura de las aspas a 60° a 60km/h



Figura 18. Temperatura - Persiana 3 con apertura de las aspas a 30° a 90km/h

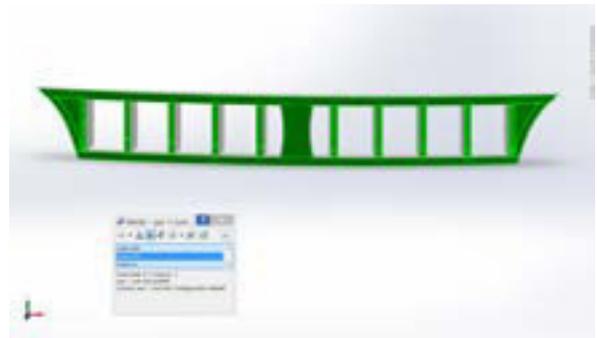


Figura 22. Temperatura - Persiana 3 con apertura de las aspas a 60° a 90km/h

**Persiana 3 con apertura de aspas a 60°.**

Seguidamente se calcula el área de la persiana 3 con una apertura de las aspas a 60° (figura 55), obteniendo 0.35 m<sup>2</sup>

**Diseño de persiana 3 con apertura de las aspas a 90°.**

Y finalmente se calcula el área de la persiana 3 con una apertura de las aspas a 90° (figura 23), obteniendo 0.17 m<sup>2</sup>

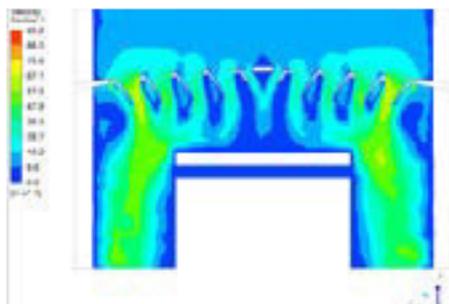


Figura 19. Área proyectada - Persiana 3 con apertura de aspas a 60°

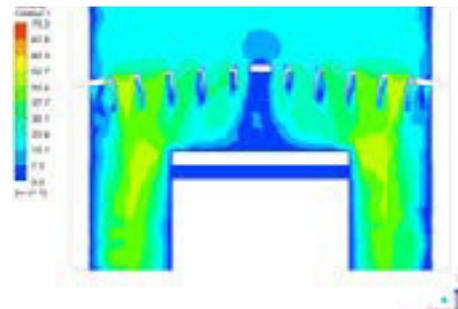


Figura 23. Área proyectada - Persiana 3 con apertura de aspas a 90°

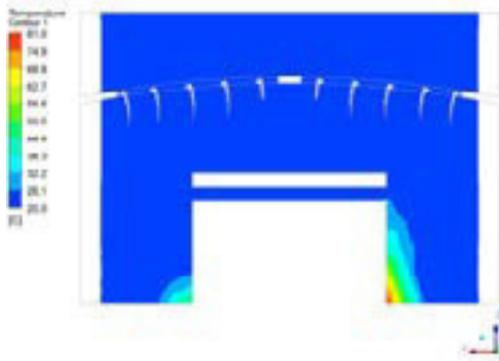


Figura 24. Velocidad de flujo de aire – Persiana 3 con apertura de las aspas a 90° a 60km/h

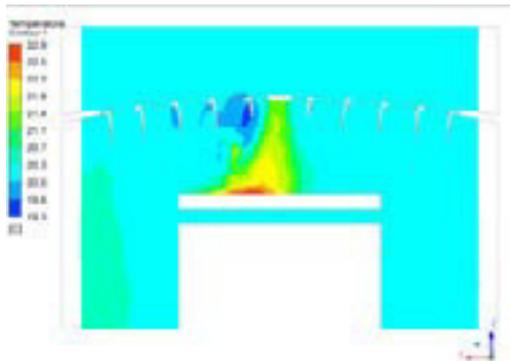


Figura 25. Temperatura - Persiana 3 con apertura de las aspas a 90° a 60km/h

#### 4. CONCLUSIONES

- Se modeló las configuraciones de persianas de los autobuses tipo AK pertenecientes al Consorcio Mejía Brito, con sus medidas reales en un programa CAD, logrando evidenciar su ineficiencia en el aprovechamiento de aire para ventilación del MCI.
- Se analizó el comportamiento aerodinámico entre la persiana instalada en el autobús y la persiana con aspas a 90° en diferentes condiciones de velocidad, presión y temperatura a 90 km/h mediante CFD, en el cual se puede concluir que la persiana con aspas a 90° posee mejor eficiencia aerodinámica, manteniendo una temperatura de 21.1 °C.
- Se diseñó tres alternativas de persiana para autobús tipo AK
- Una vez obtenido los resultados del comportamiento aerodinámico de las persianas para el enfriamiento del MCI del autobús, se propuso la persiana más eficiente.
- Fluent del software CAE es una herramienta

potente y compleja, que ayuda a analizar aplicaciones de ingeniería, esta vez autopartes.

- El porcentaje de eficiencia referente a la temperatura obtenida con la persiana con aspas a 90° mejoró considerablemente en un 45.48%, comparada con la persiana instalada en el autobús, mediante la aplicación del software Siemens NX como herramienta de diseño, y Ansys como herramienta de análisis CFD.
- En base al estudio del material ASA, se puede fabricar una infinidad de productos o accesorios que estén expuestos a UV, pero sin duda éste se comercializa como un “terpolímero amorfo termoplástico”, con una excepcional resistencia a la intemperie, impulsando de esta manera la matriz productiva del país.
- Al finalizar este proyecto se logra concluir que el diseño aerodinámico de la persiana propuesta mejora considerablemente el aprovechamiento de aire hacia el MCI y a la vez reduce la temperatura del mismo.
- El material ASA presentó adecuadas características en el proceso de impresión 3D, con acabado de calidad.

#### 5. REFERENCIAS

- [1] TECNOLOGÍA 3D, «<https://www.3dlimitless.com>,» 27 Sep 2016. [En línea]. Available: <https://www.3dlimitless.com/es/noticia/nuevos-materiales-para-impresion-3d-asa>.
- [2] Stratasys, «ASA A UV-STABLE, PRODUCTION - GRADE THERMOPLASTIC FOR FDM 3D PRINTERS,» The 3D Printing Solutions Company, 2016.
- [3] TRIMECH, «<https://trimech.com>,» [En línea]. Available: <https://trimech.com/products/3d-printers/fdm-technology/fortus-900mc>. [Último acceso: 13 Nov 2017].

- [4] Y. A. Cengel, Termodinámica, México: McGraw - Hill, 2003.
- [5] R. L. Mott, «Mecánica de Fluidos aplicada,» de Mecánica de Fluidos aplicada, Mexico, 2006, p. 257.
- [6] Google-maps, «<https://www.google.com.ec/maps/>,» 12 Nov 2017. [En línea]. Available: <https://www.google.com.ec/maps/place/Quito/@-0.1865938,-78.570625,11z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0x91d59a4002427c9f:0x44b991e158ef5572!8m2!3d-0.1806532!4d-78.4678382>.



<sup>3</sup>Diana Belén Peralta Zurita, Ingeniera en Diseño Industrial en la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ambato con mención en Diseño de objetos, graduada de Master en Sistemas de Manufactura en el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores Monterrey campus Querétaro, especializada en Diseño- Innovación y Automatización, posee certificación Green Belt en mejora continua. Cuenta con amplia experiencia en proyectos I + D + I en México y Ecuador. Es docente de pregrado y posgrado en la Universidad Internacional SEK del Ecuador en la facultad de Arquitectura e Ingenierías y líder en la línea de Investigación “Innovación en el Diseño de Procesos y Productos en el Ecuador”

## 6. BIOGRAFÍA



<sup>1</sup>Cárdenas Yánez Rodrigo Andrés.- nació en Machachi –Ecuador. Es Ingeniero Mecánico Automotriz, Maestría en Diseño Mecánico. Es analista - técnico en la Coordinación de Transportes del Ministerio de Salud Pública – Planta Central. Imparte servicios de asesoramiento y capacitación en Diseño, Mecánica, Manufactura y Sistemas Automotrices.

<sup>2</sup>Jaime Vinicio Molina Osejos. - Magister en Diseño Producción y Automatización Industrial, Master en Gestión y Pedagogía Universitaria, Ingeniero Mecánico. Coordinador de la Maestría de Diseño Mecánico y docente en la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Arquitectura e Ingeniería en la Universidad SEK – Ecuador.



## ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA TÉRMICA MEDIANTE LA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS TRIBOLÓGICO DEL ACEITE EN EL GRUPO ELECTRÓGENO CATERPILLAR 3208.

## ANALYSIS OF THE THERMIC EFFICIENCY THROUGH THE APPLICATION OF TRIBOLOGICAL ANALYSIS OF THE OIL IN THE ELECTROGEN GROUP CATERPILLAR 3208.

Emilia Daniela Aimacaña Sánchez<sup>1</sup>, Juan Carlos Castelo Valdivieso<sup>2</sup>, Rolando Xavier Salazar Paredes<sup>3</sup>, Cristian Roberto Moncayo Espín<sup>4</sup>.

<sup>1,3,4</sup> Universidad de Las Fuerzas Armadas, Departamento de Ciencias Exactas

<sup>2</sup> Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

e-mail: <sup>1</sup>eeaimacana1@espe.edu.ec, <sup>2</sup>j\_castelo@epoch.edu.ec, <sup>3</sup>rxsalazar@espe.edu.ec, <sup>4</sup>crmoncayo@espe.edu.ec

Revista Energía Mecánica Innovación y Futuro VI Edición 2017, No.1 (19)

### RESUMEN

Se muestra la caracterización de dos tipos de lubricantes mediante un análisis tribológico, evaluando su desempeño en cuanto a eficiencia térmica del motor de combustión interna, cantidad de desgaste, contaminación al medio ambiente y salud del aceite en el grupo electrógeno Caterpillar 3208 de la empresa RS ROTH Equipos Petroleros en el Campo Sacha. El análisis estadístico de las muestras de aceite usado fueron “obtenidas durante en períodos de 250 horas de operación, evidenciaron que los metales contenidos en el aceite (Cobre, Aluminio, Hierro, Estaño) en el ensayo utilizando el aceite 2 tiene 33% menos desgaste con una media 0.4208 que al utilizar el aceite 1 con media 1.2733, ( $p < 0.05$ ), mientras que el indicador de contaminación al medio ambiente (Silicio, Agua) no existen diferencias significativas ( $p > 0.05$ ), lo mismo al analizar el indicador salud del aceite (viscosidad, aditivos, TBN). En cuanto a la eficiencia térmica (nt %) del motor de combustión interna, al utilizar el aceite 1 versus el aceite 2 durante el análisis presenta diferencias no significativas ( $p > 0.05$ ).

### Palabras Clave:

Tribología, electrógeno, lubricantes, análisis de aceites, mantenimiento proactivo.

### ABSTRACT

Shows the characterization of two types of lubricants through a tribological analysis; this is evaluating the performance of thermal efficiency of the internal combustion engine, wear, environmental contamination and oil health in the Caterpillar 3208 generator set of RS ROTH Equipos Petroleros en Campo Sacha. The samples of used oil were obtained during, each 250 hours; the statistical analysis evidenced that metals contained into the oil 2 (Copper, Aluminum, Iron, Tin) is 33% less than oil 1, with a mean of 0.4208 and 1.2733 respectively. While the indicator of pollution to the environment (Silicon, Water) there aren't significant differences ( $p > 0.05$ ), the same with the oil health indicator (viscosity, additives, TBN). The thermal efficiency doesn't change during the analysis period ( $p > 0.05$ ).

### Keywords:

Tribology, genset, lubricants, analysis of oils, proactive maintenance.

## 1. Introducción

Es posible identificar las condiciones del motor de combustión interna, gracias al análisis físico - químico del lubricante después del mantenimiento con la finalidad de evaluar su capacidad anti desgaste, detergente, anticorrosiva, densidad relativa, punto de fluidez, poder antiespumante, punto de inflamación, viscosidad entre otras que permitirán obtener una visión del funcionamiento, consumo de portadores energéticos, eficiencia térmica y mantenimiento. [1]

El análisis de aceites y el estudio de tribología se han difundido alrededor del sector industrial, generando el desarrollo de métodos enfocados en el mantenimiento predictivo, constituyéndose en una herramienta de ahorro, confiabilidad y sustentabilidad de mantenimiento [12]

La interpretación sistemática del aceite usado lleva a tomar en cuenta parámetros más allá del desgaste en un motor de combustión interna, que si bien representa el motivo principal de la lubricación no permite actuar sobre las causas sino sobre el efecto que corresponde al límite de partículas metálicas en el aceite, disminuyendo la vida útil del motor de combustión interna [2]. De la misma forma al tratar los efectos de la fricción no deseada provocada por la selección inadecuada del lubricante; es igualmente importante el tratamiento de los efectos de una falla causada por lubricación [5].

La caracterización de lubricantes mediante el análisis físico químico de muestras permite evaluar el funcionamiento del grupo electrógeno Caterpillar 3208; utilizando el análisis tribológico de aceite mostrando: viscosidad, agua por crepitación, cromo, níquel, cobre, estaño, aluminio, plomo, hierro, silicio y número básico total (TBN). Los que se pueden agrupar de acuerdo a su incidencia en el desgaste, la contaminación al medio ambiente y la salud del aceite [8]- [10].

En el sector petrolero es cada vez más difundido el mantenimiento basado en condición, por sus potenciales beneficios, en la confiabilidad del equipo y la reducción del número de operaciones de mantenimiento; promoviendo cada vez con más sustento las operaciones integradas de

mantenimiento, el monitoreo de las condiciones de funcionamiento y el mantenimiento basado en condición [7].

El mantenimiento basado en análisis tribológico de lubricantes es una de las acciones del mantenimiento basado en condición [12]. La interpretación sistemática del análisis de aceite, avalúa lubricantes usados y su comportamiento en cuanto a salud, contaminación y desgaste producido en un equipo sometido a mantenimiento basado en condición [2]. Al establecer límites condonatorios para el tratamiento de las muestras y sus parámetros más representativos permite determinar su efecto en la eficiencia térmica, junto con mediciones de consumo de combustible, temperatura de escape y relleno de aceite. [2]-[14].

## 2. Materiales y Métodos

### Motor

Para este trabajo se utilizó un Motor Caterpillar 3208 y se recolectaron datos a través del tiempo utilizando dos tipos de aceites.

### Motor Caterpillar 3208.

El motor de combustión interna del grupo electrógeno Caterpillar 3208, cuatro tiempos, de inyección directa, ciclo diésel, 8 cilindros en V, diámetro de 114,3 mm, carrera de 127 mm, 16 válvulas de admisión, 16 válvulas de escape, refrigerado por agua.

La capacidad del aceite de motor de combustión interna es de 4,0 galones (15,14 l). La capacidad del sistema refrigerante es de 14,8 (56,02 l). La potencia es de 197 HP, la relación de compresión de 16,5:1.

### Lubricante

Los aceites lubricantes que se utilizaron en la investigación son: clasificación 15W40 con las especificaciones siguientes:

**Tabla 1. Características Aceite 1.**

Características típicas	Proc. ASTM	SAE 15W40
Viscosidad @ 100°C, cST	D445	15
Viscosidad @ 40°C, cST	D445	119
Índice de viscosidad	D2270	130
TBN(mg KOH/g)	D2896	12
Punto de inflamación, °C	D92	222
Punto de escurrimiento, °C	D97	-24
Gravedad API	D287	28

**Tabla 2. Características Aceite 2.**

Características típicas	Proc. ASTM	SAE 15W40
Viscosidad @ 100°C, cST	D445	15
Viscosidad @ 40°C, cST	D445	115,4
Índice de viscosidad	D2270	135
TBN(mg KOH/g)	D2896	9,23
Punto de inflamación, °C	D92	230
Punto de escurrimiento, °C	D97	-36
Gravedad API	D287	28

### Análisis físico químico del aceite.

Los parámetros de salud del aceite miden los cambios de viscosidad, contenido de aditivos, número básico total (TBN).

La presencia de silicio y agua en las muestras demuestran la contaminación del aceite.

Las partículas de hierro, cobre, estaño, aluminio y cromo procedentes del funcionamiento del motor de combustión interna son las que indican su desgaste.

**Tabla 3. Codificación de mantenimiento.**

CÓDIGO	CONDICIÓN	ACCIÓN
Verde	Normal	No
Naranja	Anormal	Sí
Rojo	Critica	Inmediata

La evaluación sistemática del análisis físico químico del aceite se realizó cada 250 horas de operación del grupo electrógeno Caterpillar 3208, estandarizando procesos de lubricación, re lubricación, análisis de aceites, toma de temperaturas de operación para su posterior análisis de desgaste, contaminación, salud de aceite y eficiencia térmica.

### 3. Resultados y Discusión

#### Resultados

La tendencia de desgaste en el grupo electrógeno Caterpillar 3208 con la utilización del aceite 1 se muestra en la figura 1.

Teniendo como tendencia total de desgaste a los siguientes parámetros: cromo, níquel, cobre, aluminio y hierro. Que oscilan entre 0,38 y 2,6 ppm/h; lo que indica q los niveles son altos para 250 horas de trabajo del equipo.

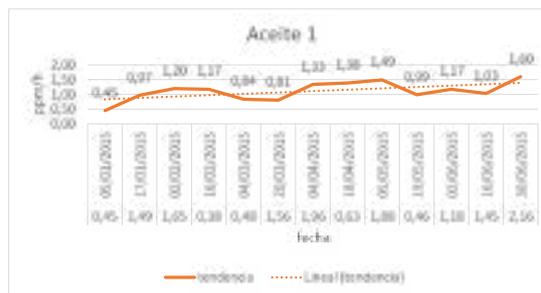


Figura 1. Análisis de tendencia del Aceite 1.

La tendencia con el aceite 2 se observa en la siguiente figura.



Figura 1. Análisis de tendencia del aceite 2.

Entre la distribución de metales en aceite (ppm/h) con las dos muestras de aceites analizados, existe una diferencia altamente significativa a un nivel de probabilidad de error menor que 0.05; es decir, aun cuando las muestras son pequeñas, la distribución de metales en aceite (ppm/h) en el aceite 2 señalan menor desgaste.

En distribución de eficiencia térmica (nt-%) con las dos muestras de aceites analizados, no existe una diferencia significativa, por lo que se acepta la hipótesis nula y en el tiempo analizado los dos aceites muestran similar eficiencia térmica (nt-%).

### 4. Conclusiones

- La caracterización de dos lubricantes mediante un análisis tribológico, permitió evaluar el desempeño en cuanto a lubricación tomando en cuenta factores como el desgaste, la salud, la contaminación y la eficiencia térmica del grupo electrógeno Caterpillar 3208 de la empresa RS ROTH Equipos Petroleros en el Campo Sacha.

- El aceite 2 produce un 33% menos desgaste, es decir, las partículas de Fe, Cu, Al, Sn se encuentran en menor proporción respecto al aceite 1.
- El indicador de contaminación al medio ambiente, Silicio, Agua; no existen diferencias significativas ( $p > 0.05$ ), entre el aceite 1 y el aceite 2.
- El parámetro de salud de aceite, viscosidad, aditivos y TBN, no existen diferencias significativas ( $p > 0.05$ ), entre el aceite 1 y el aceite 2.
- El estadístico utilizado muestra que no existen diferencias significativas entre las eficiencias al trabajar con el aceite 1 o el aceite 2, ( $p > 0.05$ ).
- Lo mismo al analizar el indicador salud del aceite (viscosidad, aditivos, TBN). En cuanto a la eficiencia térmica (nt %) del motor de combustión interna, al utilizar el aceite 1 versus el aceite 2 durante el análisis presenta diferencias no significativas

## 5. Referencias.

- [1] Albarrancín, Pedro. (2009). Mantenimiento en Latinoamérica. La tribología – herramienta eficaz para incrementar la productividad de los equipos.pdf.
- [2] Ashley, Mayer. (2005) Noria Corporation, Paper “Understanding Time- dependent Limits” Practicing Oil Analisis Magazine. Noviembre
- [3] Ashland, Jhon. (2016) Manual técnico Valvoline.
- [4] Benitez, Luis. (2006). Análisis de fallas por lubricación, Curso de Inspector de tribología y lubricación, Lima, Septiembre.
- [5] Bergés, Omar. (2014). Diseño de una máquina tribológica para ensayos de desgaste adhesivo,
- [6] Dresel, W. (2007). Lubricants and lubrication. John Wiley & Sons.
- [7] Kobbacy, Murthy. (2008). Complex System Maintenance Handbook. Springer-Verlag London Limited. D.N.P (editors).
- [8] Linares, O. (2005). Fundamentos de la tribología. Obtenido de: <http://widman.biz/boletines/19.html>
- [9] Moubray, J. 2004. Mantenimiento centrado en confiabilidad, Primera Edición.
- [10] Moreno, L. M., Térmicos, m. Y. M., & químico, d. I. (2005). Contribución al desarrollo y mejora de técnicas para la detección y análisis de partículas metálicas y contaminantes en aceites lubricantes usados (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València).
- [11] Sánchez, J. (2013). Introducción a la estadística no paramétrica y al análisis multivariado. Quality Print. Quito
- [12] Starr, A; Wynne, R. (2012) “An Introduction to Condition based maintenance and its management”, 3º seminario Internacional de sistemas avanzados de manufactura, Colombia.
- [13] Saldivia, F. (2013). Aplicación de mantenimiento predictivo. Caso Estudio: análisis de aceite usado en un motor de combustion interna. In XI Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology (LACCEI’2013). Mexico. pdf.
- [14] Villada, F. (2012). “El mantenimiento predictivo y su efecto en la optimización de costos de mantenimiento.

## 6. Biografía.



<sup>1</sup> Emilia Daniela Aimacaña Sánchez, Ingeniera Automotriz, Magíster en Gestión de Energías. Docente tiempo completo del Departamento de Ciencias Exactas de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, Extensión Latacunga.



<sup>2</sup> Juan Carlos Castelo Valdivieso, Ingeniero Automotriz, Magíster en Sistemas Automotrices. Docente tiempo completo en la Carrera de Ingeniería Automotriz de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.



<sup>3</sup> Rolando Xavier Salazar Paredes, Ingeniero Automotriz, Magister Seguridad y prevención de riesgos del trabajo. Docente tiempo completo del Departamento de Ciencias Exactas de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, Extensión Latacunga.



<sup>4</sup> Cristian Roberto Moncayo Espín, Ingeniero Automotriz, Magister en Biología de la Conservación. Docente tiempo completo del Departamento de Ciencias Exactas de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, Extensión Latacunga.

## DESEMPEÑO DE UN MOTOR PETERS PJ 2 W USANDO EMULSIONES DE DIÉSEL Y AGUA

### PERFORMANCE OF A PETERS PJ 2 W ENGINE USING DIESEL AND WATER EMULSIONS

<sup>1</sup>Diego Roberto Pucuji Pillajo, <sup>2</sup>Washington Germán Erazo Laverde, <sup>3</sup>Pablo Bonilla Balladarez, <sup>4</sup>Naranjo Hernández Alberto

<sup>14</sup>Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE – Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica, Quijano y Ordoñez y Marques de Maenza s/n.

<sup>2</sup>Instituto Tecnológico Superior Vida Nueva – Carrera de Mecánica Automotriz, Av. Maldonado y 4ta Transversal

<sup>3</sup>Universidad Central del Ecuador – Facultad de Ciencias Químicas, Francisco Viteri s/n y Gato Sobral

e – mail: <sup>1</sup>diegopucuji@outlook.com, <sup>2</sup>wgerazo@espe.edu.ec, <sup>3</sup>pablo2us@yahoo.com, <sup>4</sup>janaranjo@espe.edu.ec

*Revista Energía Mecánica Innovación y Futuro VI Edición 2017, No.1 (19)*

#### RESUMEN

En esta investigación se realiza el análisis de los parámetros característicos y emisiones de un motor Petters PJ 2 W de dos cilindros, al usar como combustible emulsiones con 5, 10, 15 y 20% de agua, 10.5 al 12% de surfactante y combustible diésel. Los resultados obtenidos en las pruebas realizadas en el motor a velocidad constante y aceleración variable utilizando emulsiones de combustible muestran incremento en el torque, rendimiento térmico y la potencia efectiva, de la misma forma en el consumo específico de combustible. Respecto a las emisiones de gases contaminantes, los óxidos de nitrógeno (NOx) disminuyeron para todos los rangos de potencia de prueba al usar emulsiones de combustible, a diferencia, las emisiones de monóxido de carbono (CO) aumentan en altos regímenes de potencia en comparación con los resultados obtenidos para el combustible diésel. La emulsión diésel con el 20% de agua es la que presenta mejores resultados en los parámetros mecánicos y genera menor emisión de óxidos de nitrógeno (NOx).

#### Palabras Clave:

Emulsión de combustible  
Motores diésel  
Automóviles - combustible  
Combustible diésel

#### ABSTRACT

In this research is realized the exhaust gas emissions and characteristic parameters analysis of a bi-cylindric Petters PJ 2W engine, using for fuel, emulsions with 5, 10, 15 and 20% of water, 10.5 to 12% of surfactant and diesel fuel. The result obtain in the variable acceleration and constant velocity engine test presented: torque, thermal efficient, and power effective increment, similar results in the consumption fuel. Respect to exhaust gas emission, the nitrogen oxides (NOx) decrement for all power ranges with use of diesel fuel and water emulsion, differently in the carbon monoxide emission (CO) as increment in high power regiment respect to results obtain with use of neat diesel fuel. The diesel emulsion with 20% presented the rather results in the mechanic parameter and generate nitrogen oxides (NOx) emissions less.

#### Keywords:

Fuel emulsion  
Diesel engine  
Fuel-automobile  
Diesel fuel

## 1. INTRODUCCIÓN

Los problemas medioambientales y los precios cada vez más elevados de los combustibles fósiles en el mercado internacional, condicionan la búsqueda de alternativas para paliar esta situación [1].

Los resultados reportados en los parámetros como torque y potencia presentan que las emulsiones de combustible incrementan el torque esto debido a que cuando la carga es quemada en el interior del cilindro, el agua se vuelve vapor con las altas presiones, y esto puede ser la razón principal del aumento del torque [1].

Las limitaciones impuestas por las normativas de emisiones no solo han obligado a desarrollar mejores sistemas de combustión y post combustión, si no que a la vez llevó consigo a la industria petrolera en la carrera tecnológica para lograr emisiones aún menores [2].

Varias investigaciones reportan buenos resultados en los parámetros del motor y en la emisiones de gases contaminantes. Canfield menciona que al añadir agua a el combustible baja la temperatura de la flama y amortiza la formación de NOx térmicos en los motores de combustión interna [3]. Lif, dice que el contenido de agua afecta en dos informes: el primero es reducir la temperatura pico en el cilindro, resultando en la reducción del nivel de NOx formados. El segundo es el fenómeno de las micro explosiones debido a la diferencia volátil entre agua y diésel [4].

Kannan & Rakkiyanna mencionan que el uso de las emulsiones de combustible en el motor registran mejoramiento en la eficiencia térmica al freno y destacan que la emulsión con el 15% de agua fue la que presentó mejor desempeño y menores emisiones, también detalla entre sus resultados que el valor del poder calorífico del combustible disminuye en proporción a la cantidad de agua añadida a la emulsión de combustible [5].

En otro parámetro Sudrajad, menciona que en los resultados se presenta disminución en la temperatura de los gases de escape y reducción en el consumo de combustible en comparación con el diésel base [6]. Las emulsiones de combustible son sustitutos directos para el diésel en todas sus

aplicaciones incluyendo motores de encendido por compresión turbinas de combustión, hornos y calderos [7].

Dantas, realizó un combustible emulsionado utilizando 15% de surfactante para todas las microemulsiones de combustible, las cuales se utilizaron en un motor diésel de inyección directa, de ello menciona que las emisiones de NOx decrecen con el incremento de agua en la formulación y reporta también que las microemulsiones reducen la opacidad de los gases de combustión [8].

La adición de agua en forma emulsión en el combustible tiene efectos positivos en la eficiencia de la combustión, el torque incrementa con el contenido de agua en todo el rango de revoluciones. Cuando es quemada la mezcla en el cilindro el agua se torna a vapor y produce altas presiones [4].

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

El diseño que pretendido en esta investigación es experimental, a partir de un problema se formuló una hipótesis, para confirmar la hipótesis se planteó el experimento en el cual se utilizó instrumentos, técnicas de medición, análisis y comparación.



Figura 1. Diseño experimental

Para la prueba en el motor se utilizó emulsiones con el 5, 10, 15 y 20 % de agua, 10.5 al 12% de tensoactivo y el resto de combustible diésel. Estas muestras de fueron utilizadas en el motor Peters PJ 2 W bicilindro del banco de pruebas PLINT TE-16 el cual fue sometido a variaciones de aceleración y velocidad constante (1500 rpm)

con esta prueba se obtuvo los valores de potencia, torque, consumo de combustible y rendimiento térmico efectivo.



Figura 2. Banco de pruebas PLINT TE-16

Para obtener los valores de opacidad se utilizó el opacímetro NDO-6000 que posee una precisión de ±1%.



Figura 3. Opacímetro NDO-6000

El par efectivo en unidades producido por el motor se puede medir a partir de la fuerza indicada en la balanza en y el la longitud del brazo de palanca en [2].

$$M_e = FL \tag{Ec. 1}$$

La potencia efectiva se obtiene a partir del par efectivo que el motor entrega a un régimen de giro (n) [2].

$$N_e = M_e \omega \tag{Ec. 1}$$

$$\omega = 2\pi n \tag{Ec. 2}$$

El consumo volumétrico de combustible se calculó determinando el tiempo que el motor se tarda en consumir una cantidad específica de combustible, el cálculo del consumo másico se lo obtuvo indirectamente utilizando la densidad de la muestra.

$$\dot{V}_f = \frac{V_{prueba}}{t} \tag{Ec. 1}$$

$$\dot{m}_f = \dot{V}_f \times \rho_f \tag{Ec. 2}$$

El consumo específico de combustible se obtuvo a partir del cálculo entre el consumo másico de combustible y la potencia efectiva [2].

$$g_{ef} = \frac{\dot{m}_f}{N_e} \tag{Ec. 1}$$

El rendimiento térmico efectivo es la relación que existe entre la potencia efectiva desarrollada por el motor y la potencia térmica del combustible [2].

$$\eta_e = \frac{N_e}{\dot{m}_f PCI} \tag{Ec. 1}$$

Para obtener los valores de emisiones de CO y NOX se empleó el analizador de gases de combustión TESTO 350-XL (ver figura 3), que posee un tiempo de respuesta de 40s para CO y NO2 y de 30s para NO.



Figura 4. TESTO 350-XL

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La evaluación de los resultados al utilizar emulsiones de combustible indican incremento en el torque cuando el motor se mantiene a 1500 rpm en comparación a los resultados que genera el diésel neto, esto puede surgir debido a que se generan micro explosiones por la diferencia de volatilidad del agua, además el agua se evapora en la cámara de combustión y esto hace que se produzcan elevadas presiones del vapor del agua contribuyendo a generar mayor torque efectivo del motor.

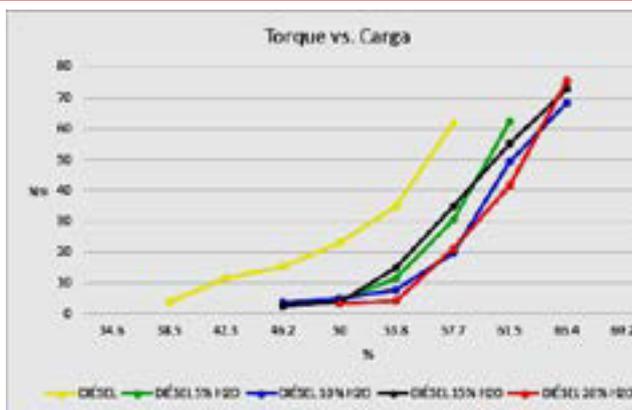


Figura 5. Torque generado por el motor

La potencia en esta prueba presenta similares características debido a que la velocidad del motor se mantiene y el torque aumenta cuando se adiciona agua como emulsión en el combustible, esto independientemente de la cantidad de combustible que es inyectado.

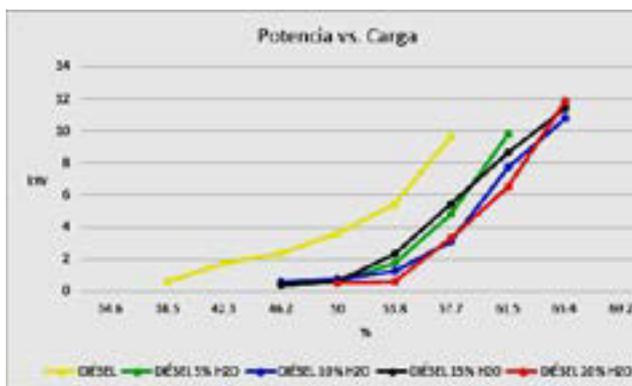


Figura 6. Potencia generada por el motor

El consumo específico de combustible aumenta para todas las emulsiones debido a la viscosidad que afecta en el patrón de pulverización de combustible y también a que el valor de la densidad es mayor para las emulsiones diésel.

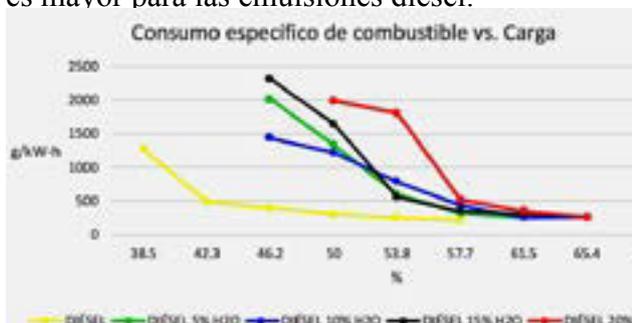


Figura 7. Consumo específico de combustible

El consumo específico de combustible es mayor en comparación al diésel a pesar de que las emulsiones presentan mayor potencia generada por el motor.

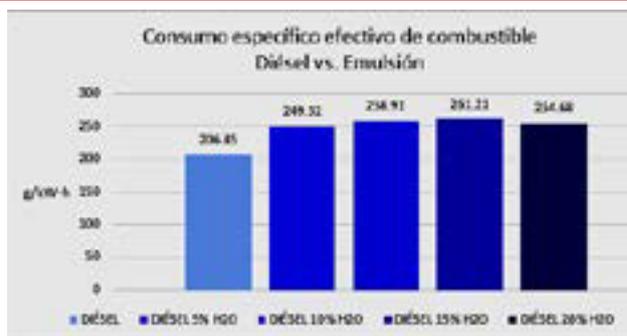


Figura 8. Consumo específico a máxima carga de la prueba

Con el uso emulsiones de combustible el rendimiento térmico mejora ya que estas poseen un menor valor calorífico, en esto se refleja que las emulsiones con el 15 y 20% de agua aprovechan de mejor forma la energía generada en la combustión.

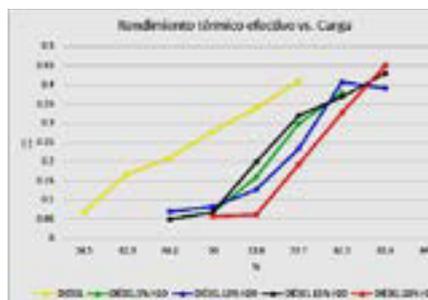


Figura 9. Rendimiento térmico

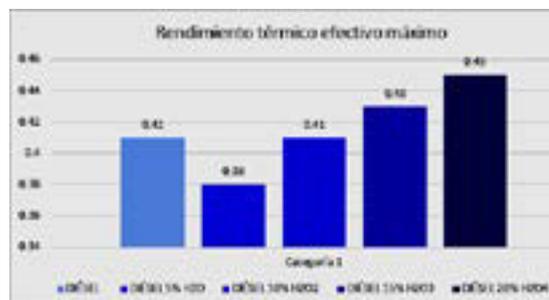


Figura 10. Rendimiento térmico máximo

Al utilizar emulsiones de combustible las emisiones de NOx generadas por el motor disminuyen en todos los rangos de potencia realizados en la prueba, siendo la emulsión con el 20% de agua la que presenta mejores resultados.

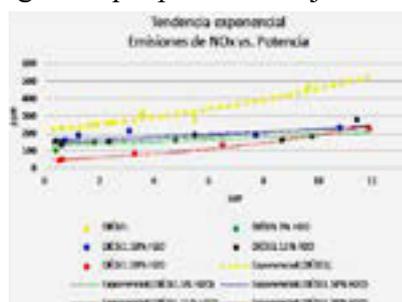


Figura 11. Emisiones de NOx

Las emisiones de CO aumentan a elevados regímenes de potencia, esto puede suceder ya que en las propiedades de las emulsiones el valor de la viscosidad aumenta, esto afecta en el patrón de pulverización de combustible y hace que existan gotas de mayor tamaño lo que provoca que no combustionen totalmente dentro del motor.

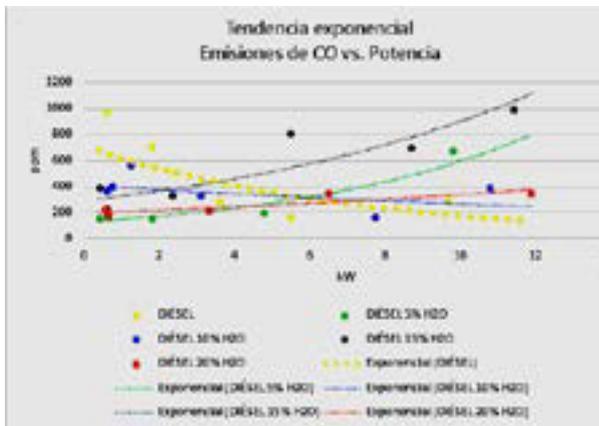


Figura 12. Emisiones de CO

El valor de opacidad aumenta cuando se utiliza emulsiones de combustible, de forma similar sucede en las emisiones de monóxido de carbono (CO) ya que al utilizar un combustible con mayor viscosidad el patrón de inyección y la pulverización se ven afectados.

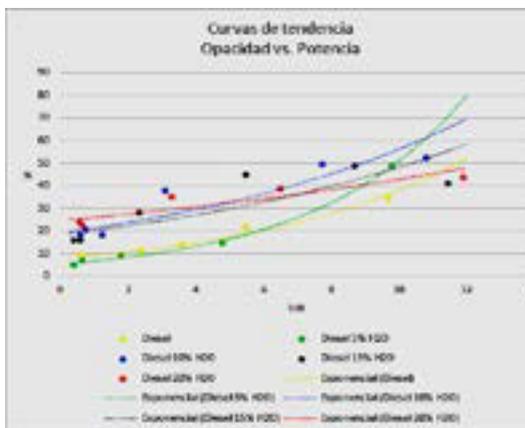


Figura 13. Niveles de opacidad

Los resultados que presentaron las emulsiones de combustible reportan que se disminuye los óxidos de nitrógeno en todos los rangos de potencia del motor, aumentan la potencia y el torque para un régimen de velocidad constante, además incrementan el rendimiento térmico con las emulsiones del 15 y 20% de agua, además aumenta el consumo de combustible y la opacidad generada por el motor.

#### 4. CONCLUSIONES

- Las emulsiones de combustible disminuyen las emisiones de NOx, la emulsión con el 20% de agua es la que obtuvo el menor valor con 226 ppm, comparado al valor de 472.7 ppm emitidas por el diésel neto, estas trabajando a la máxima potencia alcanzada en la prueba.
- Luego de realizar el experimento, el rendimiento térmico generado al trabajar con la emulsión del 20% de agua es mayor para todas las emulsiones, sobrepasando con el 4% al alcanzado por el diésel neto.
- En la ejecución de la prueba, el torque máximo alcanzado es para la emulsión con el 20% de agua, generando 75,68 Nm, este supera por 14 Nm al concebido por diésel neto.
- La potencia máxima que se alcanza en esta prueba es para la emulsión con el 20% de agua que llegó hasta 11.89 kW superando por 2.2 kW al generado por el combustible diésel.
- El consumo específico de combustible es mayor al usar emulsiones de agua y diésel siendo el más alto para la emulsión con el 15% de agua correspondiente a 261 g/kw-h superando por 55 g/kw-h al del diésel neto.
- Los resultados indican que la emulsión con el 20% de agua presenta mejores beneficios en las prestaciones del motor de combustión interna.

#### REFERENCIAS

[1] Melo, E., Piloto, R., Goyos, L., Ferrer, N., & Errasti, M. (2013). Investigación experimental de las prestaciones de un motor mono-cilindrico usando combustible diesel emulsionado. Ingeniería Energética, 11-20.

[2] Payri, F., & Desantes, J. (2011). Motores de combustión interna alternativos. Valencia: Editorial UPV.

[3] Canfield, C. A. (1999). Effects of

diesel—water emulsion combustion on diesel engine NOx emissions. Florida: University of florida.

- [4] Lif, A., & Holmberg, K. (2006). Water-in-diesel emulsions and related systems. *Advances in Colloid and Interface Science*, 231-239.
- [5] Kannan, T., & Marappan, R. (2011). Thevetia peruviana biodiesel emulsion used as a fuel in a single cylinder diesel engine reduces NOx and smoke. *Thermal Science*, 1185-1191.
- [6] Sudrajad, A., Hirotsugu, F., & Ismail, A. (2011). Experimental Study of Exhaust Emissions of W/O Emulsion Fuel in DI Single Cylinder Diesel Engine. *Modern Applied Science*, 73-79.
- [7] Alternative petroleum technologies [APT]. (2013). Emulsiones Diesel Oil. Recuperado el 10 de 11 de 2015, de Alternative petroleum technologies: <http://www.altpetrol.com/es/2b-pd-doe.html>
- [8] Dantas, A., Fernandes, M., Barros, E., Castro, T., & Moura, M. (2011). Alternative fuels composed by blends of nonionic surfactant with diesel and water: engine performance and emissions. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 521-531.
- [9] Baena, G. (2014). Metodología de la investigación. México: Grupo Editorial Patria.
- [10] Erazo, G. (2013). Evaluación del potencial energético del aceite de piñon en el motor Isuzu serie DMax como fuente alternativa de energía en la ciudad de Latacunga. Utilización como biocombustible en motores diesel en proporsión para reducir la polución. Latacunga.
- [11] Mena, L. (2011). *Compilador de ejercicios de motores de combustión interna diesel-gasolina*. Quito: Imprenta Nueva Aurora.

## BIOGRAFÍA



Germán Erazo nació en Latacunga, Ecuador, es Ingeniero Automotriz, Ingeniero Industrial posee estudios de Posgrado en Autotrónica, Gerencia de Marketing, Gerencia de Proyectos, Diseño Curricular, Administración de Empresas y Magister en Gestión de Energías. Especialista en Gerencia de Proyectos. Técnico Máster CISE Electronics en Electrónica del Automóvil y Vehículos Híbridos. Docente en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE desde 1993. Imparte servicios de asesoramiento y capacitación en mecánica y electrónica automotriz.



Diego Roberto Pucuji Pillajo, nació en Quito, estudiante graduado de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, de la carrera de Ingeniería Automotriz, actualmente trabaja como docente en la carrera de Mecánica automotriz del Instituto Tecnológico Superior Vida Nueva.



Pablo Mauricio Bonilla Valladares, nació en Quito, es Químico, Magister en Nanociencia y Nanotecnología, Posgrado Doctorado en Desarrollo, Innovación y Control de Fármacos, actualmente es Director de la Carrera de Química de la Universidad Central del Ecuador.

Naranjo Hernández Alberto, Ingeniero Automotriz, Laboratorista de Motores de Combustion de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Asesor de Sistemas Automotrices.

# IMPLEMENTACIÓN DE UN TURBO COMPRESOR EN UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA ALTERNATIVO CON ENCENDIDO PROVOCADO.

## IMPLEMENTATION OF A TURBOCHARGER FOR AN ALTERNATIVE INTERNAL COMBUSTION ENGINE.

Francisco Torres<sup>1</sup>, Robert Rockwood<sup>2</sup>, Andrés López<sup>3</sup>, Juan Sinchi<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>Universidad del Azuay, Facultad de Ciencia y Tecnología, Escuela de Ingeniería en Mecánica Automotriz, ERGON, Av. 24 de Mayo 7-77 y Hernán Malo  
ftorres@uazuay.edu.ec<sup>1</sup>, rrockwood@uazuay.edu.ec<sup>2</sup>, alopezh@uazuay.edu.ec<sup>3</sup>, juan\_sinchi@hotmail.com<sup>4</sup>

e – mail: <sup>1</sup>diegopucuj@outlook.com, <sup>2</sup>wgerazo@espe.edu.ec, <sup>3</sup>pablo2us@yahoo.com

*Revista Energía Mecánica Innovación y Futuro VI Edición 2017, No.1 (19)*

### RESUMEN

Este artículo propone una metodología para acoplar al motor de combustión interna un sistema de sobrealimentación. Para el estudio se analizará la eficiencia de los motores a nivel del mar y su disminución al aumentar la altitud.

La función del turbo cargador es compensar la pérdida de aire del motor a alturas mayores a la del nivel del mar, logrando igualar, la potencia y torque iniciales del motor, se analizarán las variables físicas que intervienen en el funcionamiento del motor y que son afectadas por el incremento de la altura. El acoplamiento (matching) considera modelos matemáticos y diagramas, la eficiencia volumétrica, la cilindrada, la densidad, la relación de presiones, el flujo másico, también se realiza un análisis de las curvas características del turbo cargador y los valores para acoplar esta máquina al motor de combustión interna, lo cual es el objetivo fundamental de esta investigación. El uso de un sistema de sobrealimentación comprime el aire de admisión y conduce a un aumento de la temperatura, provocando un descenso de la densidad, para minimizar este inconveniente se procede a usar un intercambiador de calor aire – aire. Un análisis de la eficiencia del mismo es prioritario para usarlo con el sistema de turbogrupos.

### Palabras Clave:

Altitud, eficiencia, flujo másico, presión, turbocargador.

### ABSTRACT

This article proposes a methodology for coupling an internal combustion engine to a more generalized supercharging system or turbo group set at present. The study will analyze the efficiency of engines at sea level and decrease when increasing altitude.

The function of the turbocharger is to compensate the loss of air of the engine to heights greater than the sea level, achieving equal the initial power and torque. The study also will analyze the physical variables involved in the operation of the engine and which are affected by the increase of the height. The matching considers mathematical models and diagrams, volumetric efficiency, cylinder capacity, density, pressure relations and mass flow. An analysis of the characteristic curves of the continuous flow machines and a graphic method to couple these thermal machines are the main objective of this research. The use of a supercharging system compresses the intake air and leads to an increase of the temperature, causing a decrease in density. In order to minimize this drawback an air-to-air heat exchanger is used. An analysis of its efficiency is very important to use it with the turbogroup system.

### Keywords:

Altitude, efficiency, mass flow, pressure, turbocharger.

## 1. Introducción

Los motores de combustión interna alternativos (MCIA) han evolucionado durante los últimos tiempos y considerando las bases termodinámicas dieron origen a las dos grandes familias de motores: los de encendido provocado (MEP) y los de encendido por compresión (MEC).

La evolución tecnológica se ha aplicado indistintamente a las dos familias de motores, entre los primeros se destacan, la sobrealimentación, control electrónico, materiales, tecnologías de fabricación, sistemas de alimentación y en especial el control de emisiones contaminantes. [1]

Los productos derivados del petróleo, como la gasolina y el diésel, utilizados en el transporte emiten contaminantes como son el  $SO_2$ ,  $NO_x$ ,  $CO_2$ , causantes de la lluvia ácida, efecto invernadero; motivos por los cuales se ha buscado energías alternativas como el uso de hidrógeno, electricidad, la energía solar y biocombustibles, etc.

Las drásticas normas anticontaminantes han obligado a los fabricantes a construir y desarrollar nuevas tecnologías que respeten el medio ambiente.

Analizar el objetivo de la sobrealimentación y su necesidad se plantean en este contexto. El peso del aire necesario para formar la mezcla estequiometría se considera afectada por la presión atmosférica. Siendo el peso del aire al producto del volumen por la densidad del mismo y debido al efecto de la altura en la que funcionan los vehículos de nuestro medio, los motores atmosféricos se ven afectados por la presión atmosférica reinante. [2]

La investigación parte de un análisis de los MCIA y su pérdida de eficiencia al funcionar con alturas superiores a la del nivel de mar. El estudio propone una metodología para seleccionar el turbocompresor. La finalidad de la sobrealimentación en los MCIA consiste en aumentar la densidad del aire por medio de un aumento de presión usando un compresor, con ello permite aumentar el gasto másico de aire y mejorar el barrido de los gases quemados,

consecuentemente mejora el rendimiento volumétrico y la potencia del motor crece linealmente a igualdad de potencia con relación a la del nivel del mar.

Comprimir el aire conduce a un aumento de temperatura produciendo una disminución de la densidad y está en función de la temperatura ambiente y la relación de compresión del compresor [3]. Para minimizar este problema se utiliza un intercambiador de calor aire – aire que enfría el aire después del compresor y antes de la entrada al motor. Es necesario una adaptación del sistema de sobrealimentación y el MCIA en función de sus características con el fin de conseguir un eficaz acoplamiento.

## 2. Materiales y Métodos

A mayor altitud la densidad del aire disminuye y por tanto la mezcla aire - combustible se ve afectada. Lo que genera que la presión inicial de la partida en la compresión es menor, razón por la cual la presión final y el rendimiento térmico disminuyen.

Este artículo pretende desarrollar un método para seleccionar un sistema de turbogrupos para acoplar a un MCIA, usando un intercooler para mejorar las prestaciones del motor, dado la necesidad de los vehículos cuando circulan a grandes altitudes, el sistema pretende igualar el rendimiento volumétrico y por ende la potencia y torque a condiciones sobre el nivel del mar. [4]

Considerando las características de un motor como el rendimiento, flujo másico y potencia efectiva, para evaluar las pérdidas en función de la altitud. Se determinan las variables que intervienen en el cálculo de la selección, para usarlos en las curvas características del turbogrupos, como es la relación de presiones absolutas, presiones relativas y atmosféricas, flujo másico corregido o tasa de flujo volumétrico (CFM), presión en el colector de admisión y entre otros, para evaluar el turbogrupos seleccionado del catálogo del fabricante y mantener los valores dentro de las curvas de líneas de bombeo y choque, para evitar inconvenientes al momento de acoplar al MCIA el turbogrupos.

Los MCIA aspiran el aire de la atmósfera y su funcionamiento depende sensiblemente de este, para el estudio se desprecia la humedad y las condiciones del aire aspirado y se emplea la presión y temperatura usualmente.

La variación de la altitud puede generar variaciones de presión de cierta relevancia, hallándose unos 300mbar de diferencia de presión al desplazarse desde el nivel del mar hasta 3.000m de altitud. En general pueden concluirse que la presión y temperatura estén fuertemente correlacionadas [1].

La altitud sobre el nivel del mar afecta de manera significativa las propiedades del aire. Además de las variaciones de temperatura propias de las distintas capas de la atmósfera, la presión del aire disminuye a medida que crece la altura del punto de medida, debido a la reducción del peso de la columna que soporta por encima, así como a la menor densidad del aire que la ocupa [2].

Una norma que describe el acoplamiento usual entre altitud y presión recibe el nombre de Atmósfera Estándar Internacional (ISA) [1], a continuación, se muestra la siguiente expresión que describe estas variaciones dentro de la zona de aplicación de los MCIA.

$$P_z = \frac{P_0}{\left(\frac{T_0 + 0.0065 \times Z}{T_0}\right)^{\frac{g}{0.0065 \times R}}} \quad \text{Ec. 1}$$

$$\rho_z = \frac{\rho_0}{\left(\frac{T_0 + 0.0065 \times Z}{T_0}\right)^{\frac{g}{0.0065 \times R}}} \quad \text{Ec. 2}$$

$P_z$  = Presión a la altura específica [Pa]

$\rho_z$  = Densidad a la altura específica [kg/m<sup>3</sup>]

$\rho_0$  = Densidad a nivel del mar 1,225 [kg/m<sup>3</sup>]

$P_0$  = Presión a nivel del mar 101.325 [Pa]

$T_0$  = Temperatura promedio a nivel del mar 288,16 [K]

$g$  = gravedad 9,806 [m/s<sup>2</sup>]

$R$  = Constante de gases 287,04 [J/kg K]

$Z$  = Altura [m]

El resultado de dicha ecuación se muestra en la tabla 1:

Tabla. 1 Presiones y densidades obtenidas.

Z [m]	P [bar]	P [Pa]	$\rho_z$ [kg/m <sup>3</sup> ]
0	1,013	101.325	1,225
600	0,944	94.413	1,141
1.200	0,881	88.055	1,065
1.800	0,822	82.200	0,994
2.400	0,768	76.803	0,929
2.600	0,751	75.098	0,908
3.000	0,718	71.822	0,868

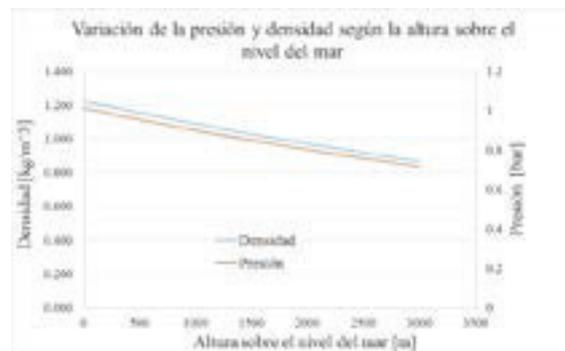


Fig 1. Presión - densidad según la altura sobre el nivel del mar.

Como se puede observar en la figura 1 la presión y la densidad decrecen en función de la altura y por tal motivo el flujo másico disminuye, como consecuencia, la potencia del motor decrece.

La sobrealimentación es empleada para introducir en el cilindro un mayor gasto másico de aire, superior al correspondiente a la aspiración normal, usando un compresor. Se consigue aumentar el área útil del ciclo térmico del motor, a consecuencia del incremento de la densidad del aire por medio del aumento de presión de alimentación, para una cilindrada y rendimiento volumétrico establecido, según:

$$\dot{m}_a = \frac{\eta_v * V_T * \rho_a * n}{2} \quad \text{Ec. 3}$$

$\dot{m}_a$  = Flujo másico [kg/s]

$\eta_v$  = Rendimiento volumétrico [-]

$n$  = revoluciones por minuto [rpm]

$\rho_a$  = Densidad del aire [kg/m<sup>3</sup>]

$V_T$  = Cilindrada [l]

Para un rendimiento volumétrico  $\eta_v = 0,9$ , cilindrada  $V_T = 1.6 \text{ l}$  y numero de rpm  $n = 6.200$  establecidos, el flujo másico disminuye conforme lo hace su densidad, como se indica en la figura 2.



Fig 2. Variación del flujo másico del MCI según la variación de la densidad.

El aumento de densidad en los MEC favorece a mezcla aire-combustible, o que posibilita mejoras en el proceso de combustión. En aumento de presión y temperatura en los MEP de inyección indirecta incrementa el peligro de detonación, con lo que hay que actuar sobre el punto de encendido y utilizar reacciones de compresión más reducidas. En los MEP de inyección directa, la densidad elevada favorece el proceso de la mezcla. [1]

La sensibilidad de parámetros de los MCI con respecto a las condiciones atmosféricas, requiere efectuar correcciones. A este efecto existen varias normativas SAE J 1349 [3]., SAE J 816b [4], ISO 3046 [5].

Con la utilización del turbo cargador con intercooler en los MCI se incrementa notablemente la potencia, el torque y disminuye el consumo específico de combustible sin variar la cilindrada y el número de revoluciones por minuto.

Rendimiento térmico corregido: Durante el transcurso del ciclo teórico, no todo el calor se convierte en trabajo, por lo tanto, el rendimiento térmico ( $\eta_t$ ) equivale al porcentaje de energía aprovechado, aumenta con la relación de compresión y resulta independiente de las presiones y por tanto del calor aportado al ciclo [1]:

$$\eta_t = \delta \left( 1 - \frac{1}{Rc^{(\alpha-1)}} \right) Ec \quad [4]$$

$\eta_t$  = Rendimiento térmico [-]

Rc = Relación de compresión [-]

$\delta$  = Coeficiente de corrección según la altura [-]

$\alpha$  = Coeficiente de compresión mezcla aire-combustible 1,33 [-]

El coeficiente de corrección es la relación entre la densidad del aire que entra a formar parte de la mezcla aire-combustible, para el caso a 2.500 (msnm) para la densidad del aire a 760 mm Hg.

$$\delta = \frac{\text{Densidad de aire aspirado}}{\text{Densidad de aire a 760 mmHg}} \quad [5]$$

Rendimiento mecánico: Cuantifica las pérdidas entre el trabajo que transfieren los gases al pistón y el trabajo mecánico disponible en el eje de salida, toma en cuenta las pérdidas mecánicas por fricción, bombeo y accionamiento. Los valores máximos de rendimiento mecánico en MEP Y MEC de aspiración natural oscilan de 70 a 85%, mientras que en motores sobrealimentados son de 80 a 90% [1].

Factor de calidad o rendimiento del diagrama: Se define como el cociente del rendimiento indicado del ciclo real respecto del rendimiento térmico obtenido del ciclo teórico de referencia. El factor de calidad de los MCI depende del tipo de motor y de las condiciones de operación, no suele superar el 0,8 en el mejor de los casos. [1]

El estudio se desarrollará en el motor con el que se equipa el vehículo Honda Civic LX, el mismo que tiene las siguientes características y curvas de torque y potencia como se indica en la tabla 2 y en la figura 3:

Tabla 2. Características del motor Honda Civic LX D16V1

Motor Honda Civic LX D16V1	
Potencia	106Hp/6.200 rpm
Torque	1.420Kg-cm/4.600rpm
Relación de compresión	9,4 : 1
Cilindraje	1.600 cc
Motor tipo	SOHC 16 válvulas.
Consumo de combustible	11,2 Km/ litro
Diámetro del pistón	7,5 cm

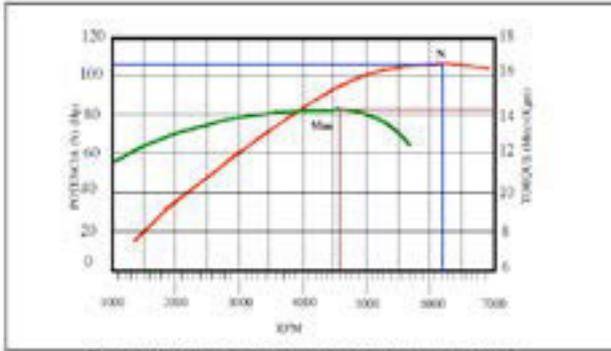


Fig 3. Curvas de potencia y torque del Motor Honda Civic LX Fuente: Recordmotor, 2017

Rendimiento útil: Conocido como rendimiento efectivo del motor y es igual al producto del rendimiento térmico, mecánico y del diagrama.

$$\eta_{lu} = \eta_t * \eta_d * \eta_m \quad [6]$$

$\eta_u$  = Rendimiento útil [-]

$\eta_t$  = Rendimiento térmico [-]

$\eta_d$  = Rendimiento del diagrama [-]

$\eta_m$  = Rendimiento mecánico [-]

Consumo específico de combustible: Se define como el consumo horario de combustible en relación a la potencia producida.

$$G_{pe} = \frac{632300}{Q_e * \eta_{lu}} \quad [7]$$

$G_{pe}$  = Consumo específico de combustible [g/CV-h]

$Q_e$  = Poder calorífico del combustible [kcal/kg]

Para tener una relación de la variación de potencia en diversas condiciones de temperatura y presión ambiente, estudios experimentales han demostrado que la potencia es directamente proporcional a la presión barométrica e inversamente proporcional a la raíz cuadrada de la temperatura absoluta, se basa en mediciones estándar a presión de 760 mm Hg y 15 oC de temperatura, utilizando la siguiente fórmula [5]:

$$P_o = P_e \frac{P}{P_o} \sqrt{\frac{T_o}{T}} \quad [8]$$

$P_o$  = Potencia en atmósfera estándar [CV]

$P_e$  = Potencia obtenida al freno [CV]

$p$  = Presión atmosférica ambiente [bar]

$p_o$  = Presión a 760 mmHg [bar]

$T$  = Temperatura ambiente [K]

$T_o$  = Temperatura absoluta 288 [K]

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La sobrealimentación en MCIa consiste en aumentar la densidad del aire de admisión por medio de un aumento de presión, mediante un compresor. Este aumento de densidad permite aumentar el gasto másico de aire para una cilindrada y rendimiento volumétrico determinado.

El conjunto turbina, compresor y sistema de acople mecánico se llama turbo grupo y es el sistema más generalizado que se usa para sobrealimentar a los MCIa. El funcionamiento de turbo grupos están resumido en curvas características y lo proporcionan los fabricantes. Estas curvas describen como estimar los valores de la relación de presiones en función de gasto másico necesario CFM, para el tipo de motor en el que se instalará.

Estos mapas se representan en diagramas cartesianos; en los que, en general, la relación de compresión aparece en ordenadas y el flujo másico en abscisas, pues estas son las variables principales que definen las prestaciones del compresor. El resto de variables importantes (rendimiento isotérmico, régimen de giro y rendimiento volumétrico) aparecen dibujadas como curvas de nivel [1]

Límite de bombeo (surge line): Si un punto cae sobre esta línea o a su lado izquierdo, indica un flujo inestable, el compresor es demasiado grande para el motor o una sobrecarga de flujo.

Línea de estrangulación o límite máximo (choke line): Así mismo, si un punto cae sobre esta línea o la región al lado derecho indica una baja eficiencia del compresor o la necesidad de un compresor más grande.

Líneas de velocidad del eje del turbo cargador (turbocharger speed line): Indican las velocidades constantes del eje del turbo cargador, área de porcentaje de eficiencia (efficiency islands): Son regiones concéntricas que indican la eficiencia del turbo cargador, las áreas de la mitad indican la mayor eficiencia del turbo cargador, en la figura 4 se indica las curvas características de un turbocompresor.

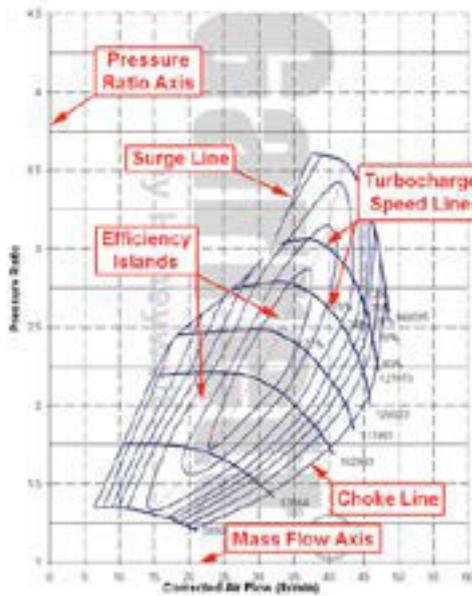


Fig 4. Curvas características de turbocompresor

Fuente: Honeywell Garret, 2017.

Los parámetros que intervienen en el análisis de acoplamiento entre el MCIA y turbo grupo son:

Relación de presiones, relaciona la presión de salida absoluta de aire del turbo, con la presión de entrada de aire donde incluye las restricciones provocadas por el filtro y por los ductos.

$$PR = \frac{P2}{P1} \quad [9]$$

PR = Relación de presiones [-]

P2 = Presión de descarga del compresor [psi]

P1 = Presión atmosférica según altitud [psi] menos 1 psi por restricciones en los conductos.

Gasto másico necesario CFM. Es la masa de aire que fluye a través del compresor y del motor, puede expresarse en Kg/s (lb/min) o también en unidades de volumen m<sup>3</sup>/s (ft<sup>3</sup>/min); el volumen de aire se convierte en masa de aire multiplicando por la densidad del aire.

$$CFM = Ne * A/F * \frac{Gpe}{3.600}$$

CFM = Gasto másico necesario [kg/s]

A/F = Relación aire- combustible [-]

Ne = Potencia efectiva [Kw]

Gpe = Consumo específico de combustible [kg/Kwh]

$$MAP_{req} = \frac{CFM * R * (460 + T_m)}{\eta_v * \frac{\pi}{2} * V_T} \quad [11]$$

MAP<sub>req</sub> = Presión absoluta requerida en el colector [psi]

CFM = Flujo de aire actual [lb/min]

R = Constante ideal de los gases 639,6

η<sub>v</sub> = Rendimiento volumétrico [-]

T<sub>m</sub> = Temperatura en la entrada de colector [oF]

n = revoluciones de motor [rpm]

V<sub>T</sub> = cilindrada de motor [in<sup>3</sup>]

Nuevamente se calcula la relación de presión (PR), tomando en cuenta la pérdida de presión entre el compresor y las uniones hacia el conducto de admisión (Δp).

**Presión en el múltiple de admisión según la potencia (Map).** Es la presión absoluta en el múltiple de admisión y tiene relación con la potencia requerida del motor.

$$P2 = MAP + \Delta P_{pérdida 1} \quad [12]$$

P2 = Presión de descarga del compresor [psi]

MAP = Presión absoluta del colector [psi]

ΔP<sub>pérdida 1</sub> = Pérdida de presión entre el colector y el compresor de 2 psi

Bien, ahora con los datos obtenidos de relación de presión (PR) y flujo de aire necesario (CFM) se marcan en el mapa del turbo compresor la posición respectiva del punto calculado, dicho valor indicará según la ubicación si el turbo cargador es el adecuado para el tipo de motor.

$$P1 = P_{atm} + \Delta P_{pérdida 2} \quad [13]$$

P1 = Presión en la entrada del compresor [psi]

P<sub>atm</sub> = Presión del ambiente [psi]

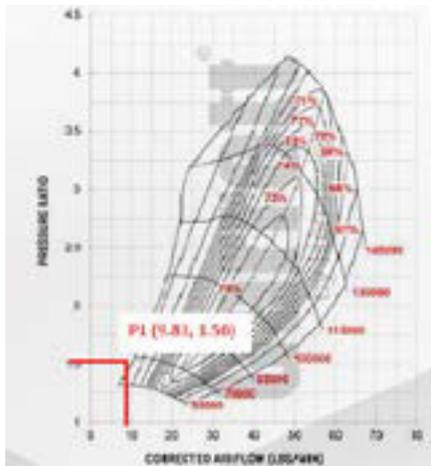
ΔP<sub>pérdida 2</sub> = Pérdida de presión entre el filtro de aire y conductos de 1 psi

En la tabla 3 se indican los resultados para la selección de un turbo compresor.

**Tabla 3 Resultados para selección del compresor**

Rendimiento térmico	0,41	[-]
Rendimiento útil	0,26	[-]
Consumo específico de combustible	0,00834	[g/CV-h]
Potencia específica	59,88	[kW]
Flujo másico corregido	9,831	[lb/min]
Presión en el colector de admisión	0,92	[bar]
Relación de presiones	1,56	[-]

Del catálogo de Garret y como ejemplo comparativo el turbo GT2860R, el punto donde se ubica la relación de presión y el flujo volumétrico se encuentra en la zona de bombeo, motivo por la cual este turbo no es el adecuado para este motor, como se indica en la figura 5.



**Fig 5 Curvas de turbocargador GTX2860R**

Fuente: Honeywell Garret, 2017.

El punto está ubicado dentro de los rangos correspondientes a las áreas de porcentaje de eficiencia del turbo cargador del 71% y una de las ventajas es que se sitúa a la derecha y cerca de la línea límite de bombeo, teniendo la oportunidad de en caso de requerir una mayor presión por aumento de revoluciones del motor el turbo cargador tiene un rango amplio para poder hacerlo.

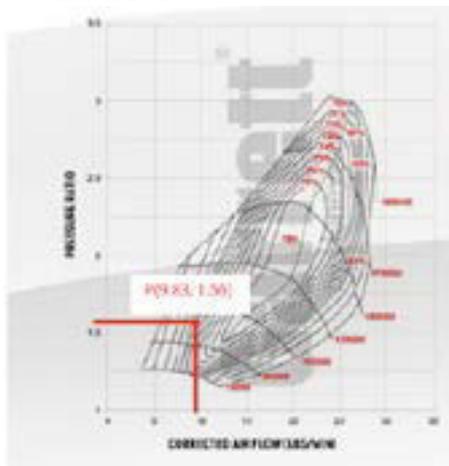
**Selección de intercambiador de calor**

Los gases de escape están a una alta temperatura, como estos al salir por el tubo de escape inciden directamente en la turbina del turbo cargador, después de algunos minutos de funcionamiento el calor se transfiere al compresor, por consiguiente elevará la temperatura del aire de admisión y por lo tanto su densidad bajará, además de esto, al comprimir el aire también este se calentará y de igual manera la densidad variará. Motivo por el cual es necesario enfriar el aire una vez pasado el compresor para llegar a la cámara en condiciones aceptables.

Para minimizar estos problemas se emplea un intercambiador de calor aire - aire, llamado intercooler, su comportamiento viene determinado por su eficiencia [1].

$$\epsilon = \frac{T_2 - T_s}{T_2 - T_a} \quad [14]$$

Se procede a escoger del catálogo el turbo GT2252, a continuación en la figura 6, se indica la curva característica.



**Fig 6 Curvas características del compresor GT2225**

Fuente: Honeywell Garret, 2017.

$$-T_s = (\epsilon * T_2) - (\epsilon * T_a) - T_2 \quad [15]$$

- ε = Eficiencia del intercooler [-]
- T<sub>2</sub> = Temperatura a la salida del compresor o entrada del intercooler [oC]
- T<sub>s</sub> = Temperatura a la salida del intercooler [oC]
- T<sub>a</sub> = Temperatura del aire que atraviesa el intercooler 15 [oC]

La eficiencia del intercooler varía de 0,4 a 0,7 y con estos valores de referencia se calcula T2, usando la siguiente expresión:

$$T_4 = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{1-\frac{1}{\gamma}} * T_1 \quad [16]$$

T<sub>4</sub> = Temperatura teórica del aire a 2.500 msnm [oC]

P<sub>2</sub> = Presión de descarga del compresor [psi]

P<sub>1</sub> = Presión de entrada al compresor [psi]

γ = Exponente adiabático 1,6 [-]

La determinación del tamaño del intercambiador de calor se hace de forma empírica, es decir, comparando el rendimiento del intercambiador de calor con intercambiadores de calor de referencia del mismo tipo.

Para poder expresar mediante cálculo las dimensiones aproximadas del intercambiador de calor se aplica:

$$Q = CFM * C_p * \Delta t_A \quad [17]$$

Q = Calor a evacuar por el intercooler [Ca/h]

CFM = Flujo de aire [m3/h]

C<sub>p</sub> = Calor específico del aire a presión constante 0,265 [ Ca/m3]

Δt<sub>A</sub> = Valor medio del aire en el intercambiador de calor [oC]

$$\Delta t_A = \frac{T_4 + T_s}{2} \quad [18]$$

El calor a evacuar el intercambiador de calor es de Q= 3435,37 Ca/h y sirve como valor de referencia para elegir un intercambiador de calor de acuerdo al proporcionado por el fabricante.

### 5. Conclusiones

Esta investigación pretende simular una metodología para seleccionar el tipo de turbocompresor para un MCIA, mediante las características técnicas que proporcionan los fabricantes de motores y las curvas características del sistema de sobrealimentación. Las relaciones de presión de 1,56 y el flujo másico corregido de 9,82 lb/min ubicaron dentro de la zona de bombeo para todos los compresores de la serie GTX y GTW del fabricante Garret, sin embargo los de la

serie GT se encontraron varias posibilidades pero el más recomendable es el GT2252. El punto está ubicado dentro de los rangos correspondientes a las áreas de porcentaje de eficiencia del turbo cargador del 71%. Los métodos de selección de los intercambiadores son empíricos y dependen de la capacidad para evacuar el calor y su rendimiento propuestos por el fabricante.

### Referencias

- [1]. Dante, G. (1984). Motores endotérmicos. España: Dossat.
- [2]. Heywood, J. B. (1998). Internal combustion engine fundamentals. New York: McGraw-Hill.
- [3]. Payri, F, D. J. (2011). Motores de combustión interna alternativos. España: Revert SA.
- [4]. Carlos Velasco Hurtado, J. V. (2014). Efectos de la altitud sobre la combustión. Revista Metalurgica N 35.
- [5]. J1349, S. (1995). Engine power test code-spark ignition and compression ignition-net power rankings. SAE International.
- [6]. J816b, S. (1979). Recommended practice engine test code . SAE International.
- [7]. S. Garcia Nieto, J. V. (2009). Sistema de Control Borroso para el Proceso de Renovacion de la Carga en Motores Turbodiesel. Revista Iberoamericana de Automatica e informatica Industrial , 36-48 .

### Bibliografía



Diego Francisco Torres.- Nació en Cuenca, Ecuador en 1980. Recibió su título de Magíster en Sistemas Vehiculares de la Universidad del Azuay en 2016; de Especialista en Docencia Universitaria en 2012 de la Universidad del Azuay. Sus campos de investigación están relacionados con el consumo de combustible en motores de gasolina, aumento de torque y potencia en vehículos, análisis energético de vehículos, diseño y construcción del chasis del prototipo “Shell eco-marathon”.



Robert Rockwood Iglesias.- Nació en Cuenca, Ecuador en 1981. Recibió su título de Maestro en Ingeniería Automotriz, en el Tecnológico de Monterrey, México, es Ingeniero en Mecánica Automotriz, de la Universidad del Azuay. Sus campos de

investigación están relacionados con el análisis del desempeño aerodinámico de vehículos a través de programas CFD, optimización topológica del chasis de la motocicleta eléctrica, diseño y construcción del chasis del prototipo “Shell eco-marathon”, diseño y manufactura del chasis del vehículo eléctrico “SENER”.



Andrés López Hidalgo.- Nació en Cuenca, Ecuador en 1980. Recibió su título de Doctor en sistemas propulsivos en medios de transporte, también el Master Universitario en Motores de Combustión Interna Alternativos en 2014, en la Universidad

Politécnica de Valencia. España. Sus campos de investigación están relacionados con el consumo de combustible en motores de gasolina, aumento de torque y potencia en vehículos, análisis energético de vehículos y emisiones contaminantes en vehículos y autobuses.



Juan Pablo Sinchi Rivas.- Nació en Cuenca, Ecuador en 1984. Recibió su título de Magíster en Sistemas Vehiculares de la Universidad del Azuay en 2017, es Ingeniero en Mecánica Automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana.

**REGISTRO DE LA PUBLICACIÓN**

Fecha recepción	4 de agosto 2017
Fecha aceptación	29 noviembre 2017

## **SIMULACIÓN POR ELEMENTOS FINITOS Y MODELO MATEMÁTICO DEL COMPORTAMIENTO DINÁMICO DE LA SUSPENSIÓN POSTERIOR DE UNA MOTOCICLETA TIPO CUSTOM 125 CC.**

### **SIMULATION BY FINITE ELEMENTS AND MATHEMATICAL MODEL OF THE DYNAMIC BEHAVIOR OF THE REAR SUSPENSION OF A CUSTOM 125 CC MOTORCYCLE.**

Fabián Alejandro Cargua Colcha<sup>1</sup>, Luigi Orlando Freire Martínez<sup>2</sup>, Byron Paul Corrales Bastidas<sup>3</sup>, Omar Stalin Yupanqui Taipa<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>Universidad Técnica de Cotopaxi, Av. Simón Rodríguez s/n Barrio El Ejido Sector San Felipe, <sup>5,6</sup>Escuela Politécnica de Chimborazo, Panamericana Sur km <sup>1</sup> 1/2

e – mail : <sup>1</sup>fabian.cargua@utc.edu.ec <sup>2</sup>luigi.freire@utc.edu.ec <sup>3</sup>byron.corrales@utc.edu.ec <sup>4</sup>o.yupanqui@esPOCH.edu.ec

*Revista Energía Mecánica Innovación y Futuro VI Edición 2017, No.1 (19)*

#### **RESUMEN**

El artículo tiene como finalidad analizar el sistema de suspensión posterior de una motocicleta mediante el método de elementos finitos, utilizando el programa computacional Ansys, se plantea el modelo matemático que gobierna el comportamiento dinámico de la suspensión empleando el programa computacional MATLAB.

El análisis se efectúa definiendo las geometrías de los diferentes elementos que componen la suspensión, sus materiales y disposición dentro del sistema, se determinan las fuerzas que actúan sobre el sistema durante su funcionamiento y se realiza un estudio analítico para conocer el comportamiento de la suspensión. Para el análisis dinámico se tomó en cuenta dos condiciones: El estado de frenado normal y el frenado a fondo de la motocicleta. Se realiza una comparación entre los casos antes planteados, de la deformación, la tensión y el desplazamiento, en el cual se obtuvo como resultado que a mayor fuerza se aplique al frenado mayor es la deformación, tensión y desplazamiento.

El modelo matemático se fundamentó en la versión más sencilla, podemos considerar cada uno de los amortiguadores como un conjunto masa-muelle, se observa en las distintas gráficas de velocidad, desplazamiento, aceleración, que a mayor fuerza, mayor es la frecuencia de resonancia, concordando con el estudio realizado mediante elementos finitos Ansys.

#### **Palabras Clave:**

Análisis dinámico, elementos finitos, suspensión posterior, simulación, motocicleta.

#### **ABSTRACT.**

The article is intended to analyze the system of rear suspension of a motorcycle using the finite element method, using the computer program Ansys, the mathematical model that governs the dynamic behavior of the suspension using the computer program MatLab.

The analysis is carried out defining the geometries of the different elements that compose the suspension, its materials and available within the system, the forces acting on the system are determined during its operation and an analytical study is realized to know the behavior of the suspension, for

dynamic analysis took into account two conditions, the state of normal braking, and the braking thoroughly of the motorcycle. A comparison is made between cases before raised, of the deformation, the tension and the displacement in which was obtained as a result that greater force will apply greater braking is deformation, strain and displacement..

The mathematical model is based on the simplest version, it is possible to be mass each of the shock absorbers like a set-wharf, it is observed in the different graphs of speed, displacement, acceleration, that a greater force, the greater is the resonance

frequency, agreeing with the study conducted using finite elements Ansys.

#### **Keywords:**

Dynamic analysis, finite elements rear suspension, simulation motorcycle.

## 1. INTRODUCCION

El análisis que se propone realizar es la simulación y propuesta de un modelo matemático del comportamiento dinámico de la suspensión posterior, se simulará las irregularidades de la calzada entre otros parámetros que influyen en el diseño de la suspensión posterior de la motocicleta.

Este estudio aportará al desarrollo tecnológico de las suspensiones posteriores, lo cual servirá para mejorar y optimizar futuros diseño aportando a las mejoras de las prestaciones dinámicas y contribuir al desarrollo tecnológico para el diseño y construcción de motocicletas que se pretende realizar en el país.

En la actualidad muchas personas optan por adquirir vehículos pequeños y motocicletas de menor cilindraje, consumo y potencia, debido al precio del combustible y la reducción del tiempo de traslado de un lugar a otro.

Mediante una comparación de resultados con el modelo matemático es apto para cualquier amortiguador del mercado.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Las dimensiones y la geometría inicial del prototipo del sistema de suspensión se obtiene tomando como referencia de un amortiguador de la motocicleta (Gn 125 cc), en donde se destaca los elementos principales de intersección entre la unión de los elementos ensamblados y las dimensiones de cada uno de los elementos.

Se analizan las condiciones principales:

- Frenado Normal
- Frenado a fondo.

Con ayuda de MEF (Método de Elementos Finitos) que permite realizar un cálculo en condiciones muy similares a la realidad, se valida el estudio del sistema de suspensión posterior de la motocicleta tipo custom 125 cc.

Una vez determinado los parámetros iniciales para el estudio tales como la geometría, material y esfuerzos que influyen en el comportamiento dinámico de la suspensión posterior, se procedió

a la simulación mediante el software ANSYS.

En el método de los elementos finitos un análisis dinámico es una técnica que se utiliza para determinar el comportamiento dinámico de una estructura o componente.

El sistema de suspensión posterior de una motocicleta durante su funcionamiento está sometido a cargas que varían en el transcurso del tiempo, que son consecuencia de las irregularidades del terreno por el que circula.

Debido a esta razón el tipo de análisis dinámico más adecuado para estudiar el sistema de suspensión es un análisis Transient Structural.

Modelo de vehículo completo. El modelo de vehículo completo tiene cuatro grados de libertad y se representa en la (figura 1). Dado que no existen expresiones analíticas y compactas para las frecuencias naturales del sistema, las ecuaciones de movimiento se informan como:

$$M \{\ddot{x}\} + C \{\dot{x}\} + K \{x\} = 0$$

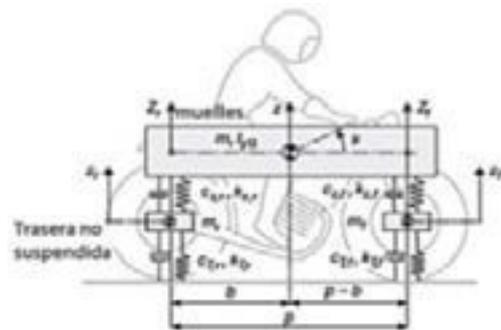


Figura 1. Modelo motocicleta con cuatro grados de libertad

Donde mf y mr son las masas delanteras y traseras no suspendidas, respectivamente, m es la masa suspendida, kz, fy kz, r son la suspensión delantera y trasera reducida, cz, fy cz, r son el frente y la suspensión trasera reduce la amortiguación, kT, fy kT, r son la parte delantera y trasera de la rigidez radial del neumático y CT, fy cT, r son la parte delantera y trasera de amortiguación radial del neumático. [3]

Una vez determinado los parámetros iniciales para el estudio tales como la geometría, material y esfuerzos que influyen en el comportamiento

dinámico de la suspensión posterior, se procedió a la simulación mediante el software ANSYS.

En el método de los elementos finitos un análisis dinámico es una técnica que se utiliza para determinar el comportamiento dinámico de una estructura o componente.

El sistema de suspensión posterior de una motocicleta durante su funcionamiento está sometido a cargas que varían en el transcurso del tiempo, que son consecuencia de las irregularidades del terreno por el que circula.

Debido a esta razón el tipo de análisis dinámico más adecuado para estudiar el sistema de suspensión es un análisis Transient Structural.

### Pre-Proceso

Dentro de un análisis por elementos finitos el paso del pre proceso es el más fundamental. Consiste en definir por completo el modelo a estudiar. Si la definición del problema está errónea o mal planteada los resultados que se obtendrán al final del análisis serán igualmente falsos.

En el pre-proceso se deben definir las siguientes características del modelo:

- \* Dominio geométrico del problema (Geometría).
- \* Propiedades de material en los diferentes elementos.
- \* Definición de conexiones entre elementos.
- \* Mallado del sistema
- \* Condiciones de borde y estado de carga del sistema.

### Dominio geométrico

Para modelar el sistema de suspensión se utilizó el software de diseño en tres dimensiones en solidworks. Este programa permite dibujar de una manera adecuada, fácil y rápida geometrías de formas complejas como las que se presentan en la suspensión posterior de la motocicleta.

### Materiales

La mayoría de los elementos del sistema de suspensión posterior de la motocicleta están fabricados con un acero al carbono común. Sin embargo, existen otros componentes que necesitan materiales especiales como es el caso del resorte que usa un acero aleado especial.

### Conexiones

Debido a que el sistema de suspensión está conformado por diversas piezas es necesario definir un tipo de conexión adecuado entre las mismas con el fin de que, una vez realizado el mallado, los nodos de cada elemento sean compatibles entre sí y la transmisión de fuerzas sea posible para un correcto desarrollo del análisis.

Las regiones de contacto definen cómo los elementos interactúan unos con otros.

El programa Ansys permite establecer cinco tipos de contactos entre los cuerpos:

- \* Bonded: los cuerpos permanecen juntos y no deslizan entre sí.
- \* No separation: los cuerpos permanecen juntos y deslizan sin fricción
- \* Frictionless: contacto sin fricción.
- \* Frictional: contacto con fricción.
- \* Rough: no permite el deslizamiento entre superficies.

Los contactos Bonded y No separation son de tipo lineal y no necesitan de iteraciones para ser resueltos, mientras que los demás son contactos no lineales.

La unión traslacional permite el movimiento del pistón en un solo sentido dentro del cilindro, asemejando el comportamiento del amortiguador.

### Mallado del sistema

La creación de la malla consiste en discretizar o dividir los objetos modelados en pequeños elementos denominados “elementos finitos”, en cada uno de los cuales se realizan los cálculos y la resolución de las ecuaciones que permitirán

luego obtener los resultados finales de todo el conjunto, este paso es la base de este método de análisis. [2]

En el presente trabajo se emplea elementos de tipo tetraédrico, ya que son los más utilizados en análisis de tipo estructural donde no intervienen fluidos.

### Condición de borde y estado de carga

Es necesario establecer condiciones de borde en el modelo que permitan restringir los grados de libertad de los elementos del sistema de suspensión para que estos simulen el movimiento en una suspensión posterior real.

La suspensión posterior en la motocicleta analizada está sujeta en la parte superior a la carrocería de la motocicleta y en la parte inferior al chasis.

Se utilizó el tipo de soporte fijo que restringe el movimiento en todos los grados de libertad.

De igual manera, para obtener el movimiento de la suspensión posterior, es necesario aplicar una fuerza que permita que el resorte se comprima y empiecen a actuar los demás elementos del sistema.

### Frenado Normal

En el primer estudio a realizar en el amortiguador será tomando en cuenta el peso del asiento ( $W_a$ ) sumado el peso de la persona promedio ( $W_p$ ) el cual es 70 kg según una encuesta realizada en el país.

$$P_1 = W_a + W_p \quad (1)$$

$$P_1 = 1,36 + 70$$

$$P_1 = 71,36$$

El peso es dividido para 2 por lo que la motocicleta tiene en su parte posterior dos amortiguadores así que lo que vamos a analizar es un solo amortiguador.

$$P_1 = \frac{71,36 \text{ kgf}}{2} = 35,68 \text{ kgf}$$

$$P_1 = 349,9 \text{ N}$$

### Frenado a fondo

En este segundo estudio se lo realizara con el peso del asiento ( $W_a$ ) sumado el peso de la persona ( $m$ ), fuerza de frenado ( $F$ ) y la transferencia del peso ( $Aw$ ), siendo todos estos los parámetros que inciden en el frenado a fondo de la motocicleta.

$$P_2 = P_1 + F + Aw \quad (2)$$

### Energía de frenado

$$E = \frac{1}{2} P_1 \cdot V^2$$

$$E = \frac{1}{2} (71,36 \text{ kgf}) \left( \frac{13,89 \text{ m}}{\text{s}} \right)^2 = 6884 \text{ J}$$

### Fuerza de frenado

$$F = \frac{E}{df} \quad (3)$$

$$F = \frac{6884 \text{ J}}{12,11 \text{ m}} = 568,44 \text{ N}$$

### Transferencia de peso

$$m = \frac{W_p}{9,8}$$

$$m = 71,36 \frac{\text{kgf}}{9,8} = 7,28 \text{ kg}$$

$$Aw = \frac{m \cdot a \cdot h}{De}$$

$$Aw = 7,28 \text{ kg} \cdot 9,28 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 0,17 \frac{\text{m}}{1,28 \text{ m}} = 9,47 \text{ N}$$

La fuerza de frenado y la transferencia del peso son divididas para 2 por lo que la motocicleta tiene en su parte posterior dos amortiguadores así que lo que vamos a analizar es un solo amortiguador.

$$F = 568,44 \frac{\text{N}}{2} = 284,22 \text{ N}$$

$$Aw = \frac{9,47 \text{ N}}{2} = 4,735 \text{ N}$$

$$P_2 = P_1 + F + Aw$$

$$P_2 = 349,9 \text{ N} + 284,22 \text{ N} + 4,735 \text{ N}$$

$$P_2 = 638,85 \text{ N}$$

### Análisis Transiente Structural

En este módulo es importante definir el número de pasos y los intervalos de tiempo. Utilizamos dos pasos, el primero representa el impulso generado sobre el amortiguador cuando la motocicleta enfrenta un obstáculo en la vía, por lo que su duración debe ser muy corta. Se utiliza un tiempo de 0.4 segundos para simular esta condición.

Una vez definido el pre-proceso y configurado las opciones de cada módulo el programa inicia el proceso de solución hasta que coincida un resultado final. Este proceso puede durar un tiempo considerable dependiendo de la geometría del modelo, el tipo de mallado y configuraciones de los módulos.

### Análisis Transient Structural

Como resultado del análisis dinámico se obtuvo la deformación total del sistema de suspensión, pero en este caso es importante observar la curva de la deformación en función del tiempo, ya que se puede apreciar el movimiento vibratorio amortiguado de la suspensión como respuesta a las fuerzas de 349,9 N y 638,855 N que se aplicó en sentido vertical para simular la condición del paso de la motocicleta por un obstáculo.

Cálculo de tensiones, deformaciones y desplazamientos

### Resultados de tensiones

La tensión está dada bajo el equivalente de Von Mises proporcional a la energía de distorsión. En ingeniería estructural se usa en el contexto de las teorías de fallo como indicador de un buen diseño para materiales dúctiles. [4]

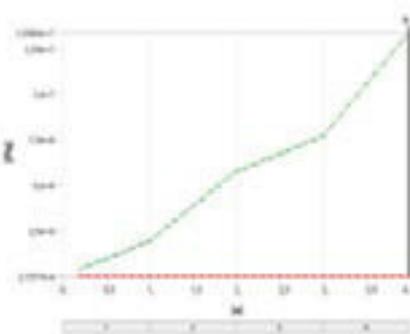


Figura 2. Grafica de tensiones del amortiguador

Los resultados de las tensiones se van a dar en pascal y la gráfica está en función del tiempo como se puede ver en la (figura 2), podemos observar que empieza desde el punto mínimo siendo este 3,1737e-004, hasta el máximo valor que es 1,3392e+007, en forma ascendente en un transcurso de 4 segundos.

### Resultados de deformaciones

Los resultados de las deformaciones se van a dar en metros y la gráfica está en función del tiempo como se puede ver en la (figura 5), podemos observar que empieza desde el punto mínimo siendo este -4,9224e-010 que es negativo, hasta el máximo valor que es 1,1809e-005, en forma ascendente en un transcurso de 4 segundos.

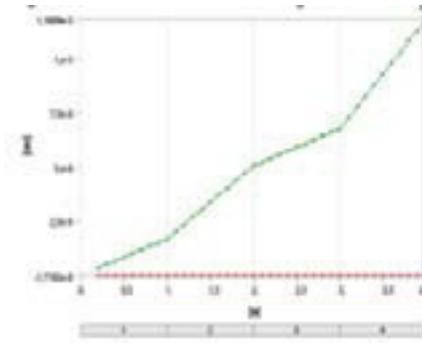


Figura 3. Deformación del amortiguador.

### Resultados de desplazamiento

Los resultados de los desplazamientos se van a dar en milímetros y la gráfica está en función de las iteraciones, como se puede ver en la (figura 4) que empieza desde el punto mínimo siendo este -1,1126e-002 que es negativo hasta el máximo valor que es 8,7936, en forma ascendente y descendente en el transcurso de las 52 iteraciones.

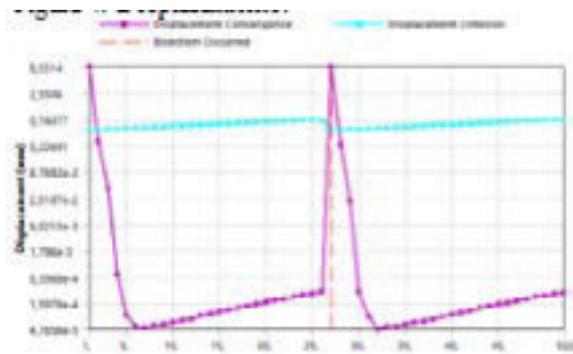


Figura 4. Desplazamiento.

**Análisis de resultados de la suspensión posterior.**

Una vez culminado el proceso de solución y luego de haber obtenido las curvas de deformación de todas las variaciones realizadas se procede a analizar la influencia de los parámetros funcionales del resorte y del amortiguador en el comportamiento del sistema de suspensión y sus consecuencias tanto para la comodidad de los pasajeros como para el desempeño de la motocicleta.

También se elabora una comparación entre las deformaciones, desplazamientos y tensiones, obtenidas del análisis mediante el método de los elementos finitos con el programa Ansys.

**Comparación de las deformaciones**

La siguientes graficas son las obtenidas del reporte del estudio mediante ansys con una fuerza de 349,9N.

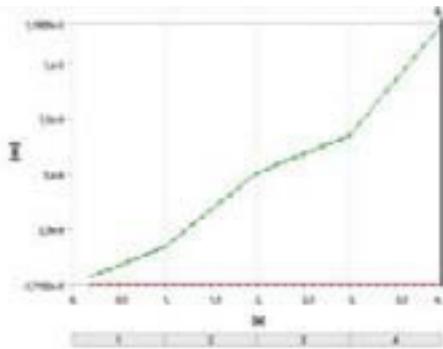


Figura 5. Deformación frenado normal.

La siguientes graficas son las obtenidas del reporte del estudio mediante Ansys con una fuerza de 638,85 N.

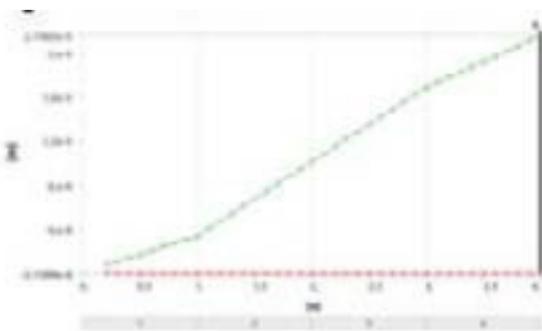


Figura 6. Deformación /frenado a fondo.

Como se puede observar en las gráficas, la deformación va a estar en función del tiempo, y esta se produce al igual que observar un amortiguador en su funcionamiento real.

En la (figura 10) la deformación va a ser más lenta con respecto a la (figura 11) se va a producir de una manera más rápido esto se debe por los diferentes tipos de fuerza.

En conclusión, la deformación se va a producir más rápido o lenta dependiendo de la fuerza que se le aplique al amortiguador, a mayor fuerza menor tiempo de deformación.

**Comparaciones de los desplazamientos**

La siguientes graficas son las obtenidas del reporte del estudio mediante Ansys con una fuerza de 349.9 N.

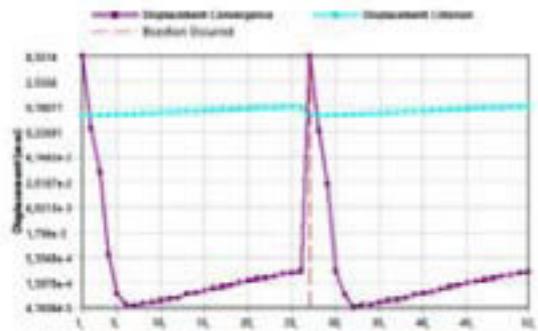


Figura 7. Desplazamiento frenado normal.

La siguientes graficas son las obtenidas del reporte del estudio mediante Ansys con una fuerza de 638.85 N.

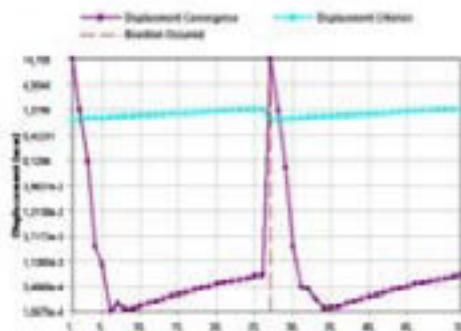


Figura 8. Desplazamiento frenado a fondo

El comportamiento en las gráficas es el mismo pero lo que se modifica es el desplazamiento con respecto a las fuerzas aplicada en el amortiguador, a mayor fuerza mayor desplazamiento.

**Comparaciones de las tensiones.**

La siguientes graficas son las obtenidas del reporte del estudio mediante Ansys con una fuerza de 349,9 N.

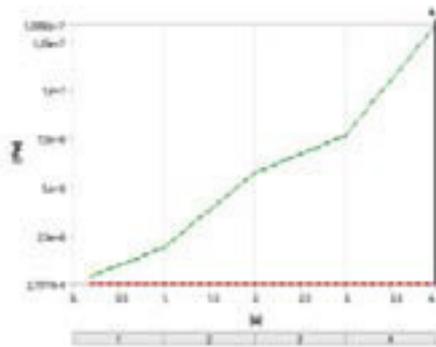


Figura 9. Tensiones a frenado normal

La siguientes graficas son las obtenidas del reporte del estudio mediante Ansys con una fuerza de 638,85 N.

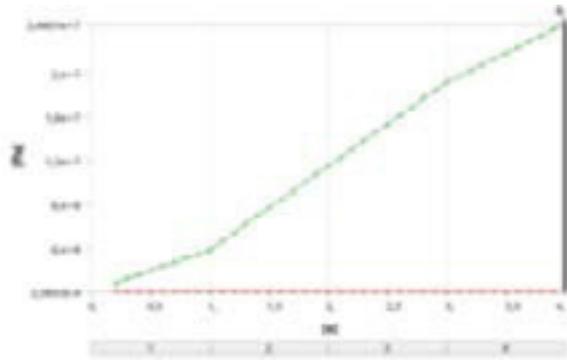


Figura 10. Tensión frenado a fondo

En las gráficas se puede observar de una manera similar que las de deformación lo único que cambia es los diferentes espacios de tensión y en conclusión sería lo mismo, que a mayor sea la fuerza aplicada al amortiguador mayor sería la tensión y por ende en el tiempo de igual manera.

**Comparaciones de las fuerzas.**

La siguientes graficas son las obtenidas del reporte del estudio mediante Ansys con una fuerza de 349,9 N.



Figura 11. Fuerza a frenado normal

La siguientes graficas son las obtenidas del reporte del estudio mediante Ansys con una fuerza de 638,85 N.

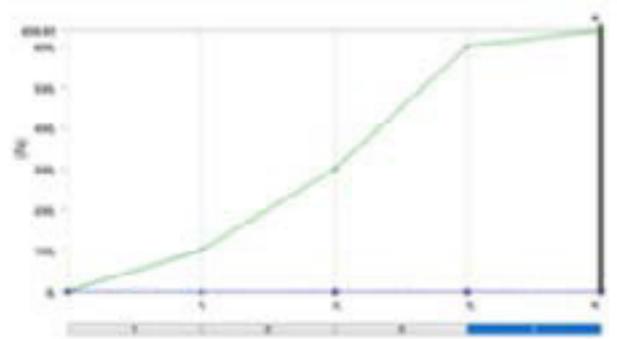


Figura 12. Fuerza de frenado a fondo

En las fuerzas se observa el mismo criterio que a mayor será la fuerza aplicada al amortiguador el desplazamiento del amortiguador será más rápido y así mismo en función del tiempo.

**Propuesta de modelo matemático de la suspensión posterior**

Se conoce como modelo matemático a las expresiones que representan el comportamiento dinámico de un sistema. El estudio dinámico consiste entonces en determinar analíticamente la respuesta (salida) cuando la entrada experimenta una variación en el tiempo (excitación).

Los modelos matemáticos de los sistemas físicos son ecuaciones diferenciales, que pueden ser ordinarias para los sistemas a parámetros concentrados o parciales para los sistemas distribuidos.

En nuestro caso el siguiente sistema.

**Sistemas Mecánicos**

Los sistemas mecánicos son aquellos sistemas constituidos fundamentalmente por componentes, dispositivos o elementos que tienen como función específica transformar o transmitir el movimiento desde las fuentes que lo generan, al transformar distintos tipos de energía, Un sistema mecánico está conformado por los elementos siguientes:



Donde M es la mitad de la masa del conjunto moto-piloto, Fe es la constante elástica del muelle y Fb la viscosidad del amortiguador

$$F - F_e - F_b = m \cdot a$$

$$F = F_e + F_b + m \cdot a$$

$$\left[ F = Kx + b \frac{\partial x}{\partial t} + m \frac{d^2 x}{dt^2} \right] (6)$$

$$\frac{d^2 x}{dt^2} = \frac{1}{m} \left( F - Kx - b \frac{\partial x}{\partial t} \right)$$

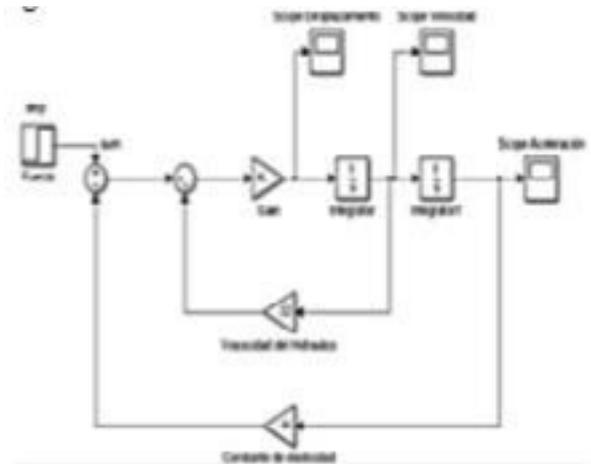


Figura 16. Modelado matemático en simulink

### Resultados de modelo matemático

Para realizar las pruebas en el modelo matemático se empleó otro tipo de material y otro tipo de aceite para hacer comparación entre los dos tipos de amortiguadores este material es el acero SAE 1020.

### Resultados de graficas de simulink

Para el análisis realizado entre los dos tipos de materiales se procedió a cambiar los parámetros de los tipos de amortiguadores que son los siguientes.

SAE 1020: Grado de viscosidad de un aceite 15 W hidráulico de 46 cst y el módulo de elasticidad 207 Gpa con la fuerza de 349,9 N.

SAE 5160: Grado de viscosidad del aceite de 10 W hidráulico de 32 cst y el módulo de elasticidad de 190 Gpa con la fuerza de 349,9 N.

MATERIAL	FUERZA	ACELERACION	VELOCIDAD	DESPLAZAMIENTO
Acero SAE 5160	349,9N	Sobre amortiguador	Sub amortiguado	Sub amortiguado
Acero SAE 1020	349,9N	Sobre amortiguador	Sub amortiguado	Sub amortiguado

Tabla 3. Resultados de las pruebas del modelo matemático.

Dándonos como conclusión de las pruebas realizadas al modelo matemático, que nuestro modelo matemático está listo para ser aplicado a cualquier tipo de amortiguador que exista en el mercado.

### 3. DISCUSIÓN

La suspensión durante su funcionamiento se encuentra sometida a dos casos básicos de carga: frenar normalmente y frenado a fondo. Al analizar estos dos casos de carga, se puede concluir que el estado más crítico al que se encuentra sometido el sistema es cuando en la motocicleta se acciona el frenado a fondo.

Una vez comparados los resultados de los dos casos se llega a la conclusión que tanto el desplazamiento como tensión y la deformación son mayores con respecto a la fuerza aplicada al amortiguador.

En el segundo caso se puede observar que la frecuencia de resonancia está fuera del límite permitido que es 5 hercios, ya que si es mayor que este los ocupantes tendrían mareos y daños severos al organismo, pero se le permite porque la motocicleta no va a estar constantemente en ese periodo de frenado a fondo sería solo por momentos.

Dándonos como conclusión de las pruebas realizadas al modelo matemático, que nuestro modelo matemático está listo para ser aplicado a cualquier tipo de amortiguador que exista en el mercado.

### 4. CONCLUSIONES

La utilización del amortiguador en la suspensión permite atenuar las oscilaciones de la carrocería de una manera rápida, disminuir las variaciones

de carga dinámica, ya que sobre el sistema actúan cargas variantes en el tiempo durante su funcionamiento. El tipo de estudio que más se ajusta a estas características es el análisis transitorio.

La suspensión en su funcionamiento se encuentra sometida a dos casos básicos de carga: al frenado normal y frenado a fondo. Al analizar estos dos casos de carga, se puede concluir que el estado más crítico al que se encuentra sometido el sistema es cuando en la motocicleta se acciona el frenado a fondo, duplicando los valores de tensión, deformación, desplazamiento obtenidos al analizar el frenado normal.

Para que los resultados del análisis por elementos finitos se ajusten a la realidad, se debe estar al tanto de cómo interactúa cada pieza del sistema durante el funcionamiento, para simular estas circunstancias mediante uniones, contactos, apoyos y que las condiciones de borde y de carga se encuentren acorde a la realidad.

En el modelo matemático básico de la suspensión posterior realizado en el software MAT LAB, las pruebas se realizaron con distintos valores de constante de elasticidad e índice de viscosidad, se concluye que el modelo matemático planteado responde a un sistema sub-amortiguado. Los resultados obtenidos se encuentran dentro del rango de la frecuencia de amortiguamiento que es de +5Hz, aceptable y presente el confort adecuado.

Al analizar el sistema de suspensión mediante el método de elementos finitos, empleando el software ANSYS, es necesario evitar que los neumáticos salten sobre el suelo.

Estas características influyen sobre la seguridad en la marcha del vehículo.

## 5. BIBLIOGRAFIA

- [1] M, V., & H, R. (2012). Propuesta cde basculante y sistema de suspensión para una moto de competencia. Madrid.
- [2] L, Kent. (2010). Ansys Worbench Tutorial. Texas EEUU.

[3] T, T, Foale, (2006). Motorcycle handling and chassis desing, España.

[4] M,A,Hugh.(1963). Advanced Mechanics of Materials, London.

## 6. BIOGRAFÍAS

### <sup>1</sup>Fabián Alejandro Cargua Colcha



Ingeniero Automotriz Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Magister en Sistemas Automotrices Escuela Politécnica Nacional, Docente Investigador de la Carrera de Ingeniería Electromecánica Universidad Técnica de Cotopaxi. Consultor de proyectos relacionados a la Ingeniería Automotriz

### <sup>2</sup>Luigi Orlando Freire Martínez



Ingeniero en Electromecánica, Magister en Gestión de Energías. Docente a tiempo completo de la Carrera de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

4 años de experiencia en centrales térmicas de generación eléctrica en el sector petrolero y 1 año en centrales hidroeléctricas.

### <sup>3</sup>Byron Paúl Corrales Bastidas



Ingeniero en Electrónica e Instrumentación, Magister en Gestión de Energías. Docente a tiempo completo de la Carrera de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi. Con alrededor de 9 años de experiencia en centrales

de generación eléctrica en el sector petrolero del país.

#### **4Omar Stalin Yupanqui Taipe**



Técnico Automotriz, Experto en Métodos de Estudio y Lectura Sináptica actualmente estudiante de Ingeniería Automotriz en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Integrante de equipo de Investigación e Innovación que buscan mejorar problemáticas en

torno al ámbito Automotriz y afines.

## INSTRUCCIONES Y PLANTILLA PARA LOS AUTORES

**TÍTULO DE ARTÍCULO A SER PRESENTADO EN LA REVISTA ENERGIA MECANICA INNOVACION Y FUTURO (EN ESPAÑOL)**

**TÍTULO DE ARTÍCULO A SER PRESENTADO EN LA REVISTA ENERGIA MECANICA INNOVACION Y FUTURO (EN INGLES)**

Nombre Apellido Autor<sup>1</sup>, Nombre Apellidos Autor<sup>2</sup>, Nombre Apellidos Autor<sup>3</sup>, Nombre Apellidos Autor<sup>4</sup>,

<sup>1,2,3,4</sup> Institución o filiación, Dirección

e-mail: <sup>1</sup>, <sup>2</sup>, <sup>3</sup>, <sup>4</sup>,

***Energía Mecánica Innovación y Futuro VI Edición 2017, No. ( )***

---

### **Resumen**

Se presentan las instrucciones generales para presentar el artículo científico en la Revista Energía Mecánica Innovación y Futuro Vol. 6 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 encontraran 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.

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.

Para consultas dirigirse a  
[wgerazo@espe.edu.ec](mailto:wgerazo@espe.edu.ec) ,  
[einnovacion-el@espe.edu.ec](mailto:einnovacion-el@espe.edu.ec)

### Instrucciones.

No exceder más de 7000 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

### Contenido del Artículo:

1. Introducción
  - Fundamentación
  - Definiciones
  - Revisión de literatura
  - Formulación de objetivos y establecimiento de hipótesis
2. *Materiales, fuentes y métodos*
  - Recopilación de datos
  - Tratamiento de las variables
  - Análisis estadístico
  - *Material adicional*
  - Figuras
  - Tablas
3. *Resultados*
4. *Discusión*
5. *Conclusiones*
6. *Referencias bibliográficas*

*Material adicional*

## NORMATIVA:

### 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

### Aquí se colocará la bibliografía utilizada.

Verificar las citas colocadas, considerar la norma:  
APA  
IEEE

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.

### **Biografía.**

Incluir fotografía formal y actualizada, con estudios y títulos académicos, funciones en la institución.

El resto de artes y diseños se colocaran por parte de la editorial.

## **PROCESO DE EVALUACIÓN POR PARES**

*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 a ciegas quienes considerarán su publicación.*

### **Responsabilidades de los Revisores**

#### **a) Aporte a la decisión editorial**

El proceso de revisión por pares ayuda al Editor de la revista a tomar decisiones editoriales y a través de la comunicación editorial con el autor también ayuda a mejorar la calidad y el texto de un manuscrito sometido a la revista. Los revisores se comprometen en realizar una revisión crítica, constructiva y honesta de la calidad científica de un manuscrito.

#### **b) Respeto a los plazos de revisión**

El revisor que no se sienta adecuado para realizar la tarea propuesta o que crea que no puede realizar la revisión en el tiempo requerido por la revista deberá informar al Editor de forma inmediata.

#### **c) Confidencialidad**

Cualquier texto asignado para su lectura será considerado confidencial. Por lo que dichos textos no deben discutirse con otras personas sin el permiso expreso del Editor.

#### **d) Objetividad**

La revisión por pares debe realizarse objetivamente. Cualquier juicio personal sobre el autor es inapropiado. Se requiere que los revisores justifiquen adecuadamente los juicios y comentarios realizados de un manuscrito.

#### **e) Reconocimiento a fuentes de información**

Los revisores se comprometen a indicar con precisión las referencias bibliográficas de trabajos fundamentales que el autor podría pasar por alto. Estas recomendaciones deben hacerse de manera transparente sin querer aumentar las citas a trabajos realizados por los mismos revisores. El revisor también debe informar al Editor de cualquier similitud o superposición del texto recibido para su revisión con otras obras que conozca.

#### **f) Conflictos de interés y divulgación**

La información confidencial o las indicaciones obtenidas durante el proceso de revisión por pares deben considerarse confidenciales y no pueden utilizarse para fines personales. Se requiere que los revisores no acepten revisar artículos para los que exista un conflicto de intereses debido a relaciones de colaboración o competencia con el autor y/o su institución de origen.

### **Responsabilidades de los Autores**

#### **a) Acceso y retención de datos**

Si el Editor lo considera apropiado, los autores de los artículos también deberán hacer disponibles las fuentes o los datos en los que se basa la investigación desarrollada, para que puedan mantenerse durante un periodo de tiempo razonable después de la publicación y posiblemente hacerlos visibles.

#### **b) Originalidad y plagio**

Los autores deben garantizar que han escrito trabajos completamente originales y si los autores han utilizado el trabajo y/o las palabras de otros deberán indicarlo o citarlo correctamente en el manuscrito.

#### **c) Publicaciones múltiples, repetitivas y/o concurrentes**

El autor no debe publicar artículos que describan la misma investigación en más de una revista. Proponer el mismo texto a más de una revista al mismo tiempo es éticamente incorrecto e inaceptable.

#### **d) Especificaciones de fuentes**

El autor siempre debe proporcionar la indicación correcta de las fuentes y contribuciones mencionadas en el artículo. Un artículo debe contener suficientes detalles y referencias para permitir una respuesta.

#### **e) Autoría de la obra**

La autoría del trabajo debe ser correctamente atribuida y todos aquellos que han realizado una contribución significativa a la concepción, organización, implementación y reelaboración de la investigación que es la base del artículo deben indicarse como coautores. Si otras personas han participado significativamente en ciertas fases de la investigación, su contribución debe ser reconocida explícitamente. En caso de contribuciones de múltiples, el autor que envía el texto a la revista debe declarar que ha indicado correctamente los nombres de todos los demás coautores, que ha obtenido la aprobación de la versión final del artículo y su consentimiento para su publicación en la revista.

#### **f) Conflicto de intereses y divulgación**

Todos los autores deben indicar en su manuscrito cualquier conflicto financiero u otro conflicto de interés que pueda interpretarse de manera tal que influya en los resultados o la interpretación de su trabajo. Todas las fuentes de apoyo financiero para el proyecto deben ser divulgadas correctamente.

#### **g) Errores en artículos publicados**

Cuando un autor descubra un error significativo o una imprecisión en su trabajo publicado, debe notificar de inmediato al Editor de la revista para retirar o corregir el texto.

### **CÓDIGO DE ÉTICA**

Energía Mecánica Innovación y Futuro es una revista científica revisada por pares, inspirada en el código de ética para publicaciones desarrollada por el Comité de Ética de Publicaciones ([COPE – Committee on Publications Ethics](#)).

#### **Responsabilidades de los Editores**

##### **a) Decisiones de publicación**

El Editor de la revista es el responsable de decidir si publicar o no los artículos. El Editor se ampara en el Comité Científico de la revista y está sujeto a los requisitos de las leyes aplicables con respecto a la

difamación, la infracción de derechos de autor y el plagio. El Editor de la revista puede comunicarse con otros editores o revisores para tomar sus propias decisiones.

##### **b) Equidad**

El Editor de la revista evalúa los artículos propuestos para su publicación en función de su contenido sin discriminación por motivos de raza, género, orientación sexual, religión, origen étnico, ciudadanía u orientación política de los autores.

##### **c) Confidencialidad**

El Editor y cualquier miembro del Equipo Editorial de la revista no pueden divulgar ninguna información sobre un manuscrito enviado para la evaluación de la revista a ninguna persona excepto al autor de correspondencia, revisores, revisores potenciales, consultor editorial y editores de sección según corresponda.

##### **d) Conflictos de interés y divulgación**

Los materiales no publicados contenidos en un manuscrito enviado no deben utilizarse en la investigación del Editor o un miembro del Equipo Editorial de la revista sin el consentimiento expreso por escrito del autor.

### **POLÍTICAS PLAGIO**

Energía Mecánica Innovación y Futuro fomenta la honestidad de los autores y sus publicaciones. En este sentido, el Editor General de la revista una vez que recibe el envío de un nuevo artículo se encarga de pasarlo por el sistema de detección de plagio [URKUND](#), sistema que analizará el contenido completo de cada manuscrito y generará un informe completo acerca de su originalidad. Luego de este proceso, el Editor General analizará este informe y de acuerdo a los resultados presentados (porcentaje de similitud) y siempre al considerar que se respeten los derechos de autor de terceros trabajos, determinará si cada uno de los artículos sometidos a la revista Maskay puede continuar con el proceso de revisión por pares.

- Manuscritos que presenten un porcentaje de similitud menor al 20% y que hayan respetado los derechos de autor de terceros serán procesados directamente.
- Manuscritos que presenten un porcentaje de similitud menor al 20% donde se evidencia que los derechos de autor de terceros no han sido respetados serán devueltos a sus autores con los

comentarios respectivos para que realicen las correcciones pertinentes.

- Manuscritos que presenten un porcentaje de similitud moderado, es decir entre el 20% y 50%, serán devueltos a sus autores con los comentarios respectivos para que realicen las modificaciones necesarias con el fin de reducir el porcentaje de similitud. Además, se solicitará a los autores que envíen una carta donde se justifique el moderado porcentaje de similitud.
- Manuscritos que presenten un porcentaje de similitud elevado, es decir mayor al 50%, serán rechazados y sus autores pasarán a formar parte de una lista de autores de riesgo de la revista. Una vez que los autores hayan sido ingresados en esta lista podrán solicitar salir de la misma siempre y cuando presenten una carta donde se justifique de manera extensa el alto porcentaje de similitud alcanzado.

## **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.*

*Los autores presentarán el acuerdo de autorización de publicación, de responsabilidad y declaración de ética.*

*El título será en letra 14 Calibri negrita, Arial o Roman.*

*Incluir el nombre del autor, institución en la que trabaja, correo electrónico, dirección de la institución.*

*Incluir su biografía 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.*



## ENERGÍA MECÁNICA INNOVACIÓN Y FUTURO

Revista de difusión Nº 6  
ISSN: 1390 - 7395  
Publicación Anual / Diciembre 2017

RESPONSABLE LEGAL  
Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE  
Av. General Rumiñahui s/n  
Sangolquí - Ecuador  
P.O. Box. 171 -5 - 31B  
einnovacion-el@espe.edu.ec  
wgerazo@espe.edu.ec

