

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/321295360>

# emission factors city- Memorias Congreso Internacional de Ingeniería CICI 2017

Book · November 2017

---

CITATIONS

0

READS

1,219

5 authors, including:



Juan Rocha-Hoyos

Universidad Internacional SEK

88 PUBLICATIONS 54 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Edilberto Antonio Llanes Cedeño

Universidad Internacional SEK

65 PUBLICATIONS 34 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Julio Leguísamo

Universidad Internacional SEK

21 PUBLICATIONS 12 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Memorias del I Congreso Internacional en Ingeniería, Gestión y Tecnología Automotriz ICEMAT 2018 1 ST INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING, MANAGEMENT AND AUTOMOTIVE TECHNOLOGY 20 al 22 de junio 2018 [View project](#)



EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS DE BIODIESEL A PARTIR DE DIFERENTES MATERIAS PRIMAS EN VEHÍCULOS LIVIANOS A 2850 m [View project](#)



1er  
CICI 2017  
Congreso Internacional  
**CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**  
Electromecánica y Automotriz

# MEMORIAS 2017

**REGISTRO ISBN 978-9978-389-40-9**



## **COMITÉ DEL CONGRESO**

**Presidente General:** Ing. Daniel Anzules, MsC, Prorector (e)

**Vicepresidente:** Ms.C. Karina Cecibel Cuenca Tinoco

### **Comité Internacional:**

Roberto Estrada Cingüalbres Ph.D., Universidad Estatal del Amazonas, Brasil

Efrain Navas Medina Ph.D., Universidad Estatal del Amazonas, Brasil

Roberto Pérez Rodríguez Ph.D., Universidad de Holguín, Cuba

Raúl Santana Milán Ph.D., Universidad de Holguín, Cuba

Ricardo Ávila Rondón Ph.D., Universidad Tecnológica de Coahuila, México

Secundino Merrero Ramirez Ph.D., Universidad Técnica de Cotopaxi, Ecuador

Gustavo Rodríguez Bárcenas Ph.D., Universidad Técnica de Cotopaxi, Ecuador

Julio Cesar Pino Tarragó Ph.D., Universidad Estatal del Sur de Manabí, Ecuador

Alexis Cordovés García Ph.D., Universidad Tecnológica Equinoccial, Ecuador

Arlys Michel Lastre Aleaga Ph.D., Universidad Tecnológica Equinoccial, Ecuador

### **Comité Científico:**

Alexis Cordovés García Ph.D.

Arlys Michel Lastre Aleaga Ph.D.

Xavier Orbea Hinojosa MsC.

Nilo Ortega Zolís Ms.C.

Arturo Falconí Borja Ms.C.

Jorge Patricio Vega Peñafiel Ms.C.

Ives Torrente García Ms.C.

Remberto Rodríguez Crespo Ms.C.

Yandy Fernández García Ms.C.

Cristian Laverde Albarracín Ms.C.

Marcelo Estrella Guayasamin Ms.C.

Caleb Espinoza Moran Ms.C

Diana Buitron Marín Ms.C

Gabriel Obregón Veloz Ms.C

Edwin Grijalva Campaña Ms.C.

Jonge Terán Banalcazar Ms.C.

Bairon Rentería Torres Ms.C.

Elvis Gualotuña Quishpe Ms.C.

## **PRESENTACIÓN**

La Universidad Tecnológica Equinoccial Sede Santo Domingo y la Facultad de Ciencias de la Ingeniería e Industrias, conscientes del avance de la tecnología automotriz, los desafíos ambientales, el diseño mecánico, las energías renovables y la sostenibilidad energética organizan el I Congreso Internacional de Ciencias de la Ingeniería, Electromecánica y Automotriz CICI 2017.

Este congreso ofrece oportunidades para el intercambio directo de ideas y experiencias, para establecer relaciones comerciales o de investigación y la generación de nuevos proyectos entre socios globales.

Es así que se ha considerado los siguientes ejes temáticos

- Sistemas eléctricos de potencia (SEP)
- Sistemas de control y automatización
- Energía renovable y sostenibilidad energética.
- Diseño mecánico y auto partes.
- Nuevas tecnologías.
- Informática Aplicada a la Ingeniería

## **CARTA DEL EDITOR**

La Universidad Tecnológica Equinoccial, Sede Santo Domingo, ha organizado el I Congreso Internacional de Ciencias de la Ingeniería (CICI 2017). El objetivo principal ha sido el de presentar resultados recientes de investigaciones realizadas en el campo de la Ingeniería Electromecánica y Automotriz, conscientes de la responsabilidad y compromiso que la Educación Superior asume en la formación de nuevos profesionales y en el soporte técnico al sector industrial, en un contexto de alta demanda de nuevas tecnologías que den respuesta a las necesidades actuales y futuras de la sociedad.

En la presente edición de las memorias del Congreso se publica una importante cantidad de obras que han seguido un proceso riguroso de revisión por pares, con la finalidad de asegurar su calidad y correspondencia con los ejes temáticos del Congreso. Es nuestro deseo que los resultados de las investigaciones que aquí se presentan favorezcan significativamente al incremento del conocimiento de estudiantes de ingeniería y profesionales interesados.

El más sincero agradecimiento y felicitación a todos los autores que han aportado con sus obras al desarrollo del presente congreso y por su contribución en el campo de las Ciencias de la Ingeniería.

Ing. Alexis Cordovés García Ph.D.  
Presidente del Comité Científico CICI2017

## ÍNDICE

### ENERGÍA RENOVABLE Y SOSTENIBILIDAD ENERGÉTICA

Diseño y prototipado de un aerogenerador de flujo turbulento orientado a suministro energético.....	4
<i>Germánico Sinchiguano Molina</i>	
Generación de combustible alternativo a través de la gasificación de carbón vegetal y la utilización de oxígeno seco como agente gasificante, para un motor de combustión interna estacionario de 5,5 HP.....	13
<i>Moisés Filiberto Mora Murillo, Arlys Michel Lastre Aleaga, Remberto Rodríguez Crespo, Luis Xavier Orbea Hinojosa</i>	
Desarrollo de un sistema de riego que monitorea las condiciones ambientales y determinar la factibilidad de riego a fin de reducir el consumo de agua.....	21
<i>Hernán Vinicio Morales Villegas, Freddy Javier Álvarez Noroña.</i>	
Uso de baba de cacao para producir biocombustible y análisis de sus características para aplicarlo en motores de combustión interna. ....	31
<i>Luis Xavier Orbea Hinojosa, Arturo Falconí Borja, José Toapaxi Casanoba, Carlos Orbea Hinojosa.</i>	
Propuesta de diseño de un sistema centralizado de gas licuado de petróleo para el laboratorio de petroquímica de la Universidad de las Fuerzas Armadas, ESPE extensión Latacunga.....	37
<i>Luis Ruiz Flores, Héctor Laurencio Alfonso, Alexis Cordovés García.</i>	

## INFORMÁTICA APLICADA A LA INGENIERÍA

Implementación de un módulo didáctico de comunicación industrial modbus RTU/TCP para el monitoreo y control de variables físicas.....	50
<i>Wilson Sánchez Ocaña, Roberto López Salazar, Erik Mora Ledesma.</i>	
Desarrollo de órtesis (férula) de tobillo y pie obtenido mediante técnica de escaneo, análisis CAD/CAE y prototipado rápido en 3D.....	57
<i>Xavier Augusto Arízaga Cordero, Alexis Cordovés García.</i>	
Sistema para el cálculo y representación del comportamiento dinámico y cinemático de la transmisión de potencia del automóvil.....	70
<i>Arlys Michel Lastre Aleaga, Remberto Rodríguez Crespo, Cristhian Alexander Guano Calvache.</i>	

## NUEVAS TECNOLOGÍAS

Recuperación de rutas tecnológicas de piezas rotacionalmente simétricas mediante razonamiento basado en casos.....	80
<i>Jhony Polibio Pozo Chaves, Alexis Cordovés García.</i>	
Análisis de circunstancias y técnicas de conducción vehicular para optimizar el rendimiento del combustible un 10%.....	89
<i>Luis Xavier Orbea Hinojosa, Cristian Guano Calvache, Elvis Guaoltuña Quishpe, Mirian Orbea Hinojosa.</i>	
Implementación de un dispositivo de tratamiento de emisiones de fuentes móviles con plasma frio en un motor HONDA GX200.....	96
<i>Manuel Fernando Gómez Berrezueta.</i>	
Análisis comparativo mediante parámetros de eficiencia mecánica, energética, y de emisiones entre vehículos eléctricos y de combustión interna en el Ecuador.....	105
<i>Luis Xavier Orbea Hinojosa, José Adrián Rodríguez Rodríguez, Jorge Patricio Vega Peñafiel, Cristian Guano Calvache.</i>	
Sistema de carga inalámbrica para vehículos eléctricos en reposo.....	113
<i>Iván Ernesto Yáñez Zurita.</i>	
Avances de la tecnología automotriz a través de integrados transistorizados inteligentes en los controladores electrónicos del vehículo.....	120
<i>Edwin Raúl Grijalva Campaña, Arturo Falconí Borja, Gabriel Vicente Macas Pisco, Ángel Adalberto Portilla Aguilar, Luis Grijalva Campaña.</i>	
Análisis de los factores de emisión en ruta para la ciudad de Quito.....	128
<i>Luis Eduardo Tipanluisa Sarchi, Juan Carlos Rocha Hoyos, Edilberto Antonio Llanes Cedeño, Ángel Adalberto Portilla Aguilar.</i>	
Análisis de la conducción autónoma.....	135
<i>Jorge Cristóbal Valdivieso Infante.</i>	

## DISEÑO MECÁNICO Y AUTO PARTES

Diseño y construcción de un prototipo de extrusor para plásticos.....	141
<i>Edwin David Ayavaca Tumbaco, Arlys Michel Lastre Aleaga, Remberto Rodriguez Crespo, Nilo Ortega Soliz.</i>	

Diseño e implementación de un sistema de freno regenerativo y transmisión eléctrica en una motocicleta convencional.....147  
*Celin Abad Padilla Padilla, Wilson Javier Villagrán Cáceres, Edison Luis Chiriboga Cárdenas, Carlos Bladimir Velasco Moyano.*

Propuesta de un material alternativo para la construcción de la barra estabilizadora delantera de la suspensión. Caso estudio Chevrolet Aveo Family 1.5L.....155  
*Julio César Leguisamo Milla, Jose Omar Cabrera Escobar, Edilberto Antonio Llanes Cedeño, Juan Carlos Rocha Hoyos, Santiago Celi.*

Optimización topológica de una mangueta delantera para vehículo fórmula STUDENT.....162  
*Euro Rodrigo Mena Mena, Edilberto Antonio Llanes Cedeño, Juan Carlos Rocha Hoyos, Luis Xavier Orbea Hinojosa.*

## SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA (SEP)

Gestión de mantenimiento en CELEC EP bajo estándares internacionales como PASS 55..... 170  
*Edgar Fabián Calero Vela.*

Expansión del sistema de 500 kV ecuatoriano y aspectos operativos de L/T San Rafael-El Inga 500 Kv.....176  
*Edgar Fabián Calero Vela.*

Comparación numérica del modelo de turbulencia  $\kappa-\varepsilon$ en fluidos multifásicos.....183  
*Luis Fernando Toapanta Ramos, William Geovanny Quitiaquez Sarzosa.*

## SISTEMAS DE CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN

Análisis del sistema de control de emisiones del vehículo Mazda 3, 1.6 L por medio del equipo BOSCH FSA 740.....190  
*Marco Vinicio Noroña Merchán, Edwin Puente Moromenacho.*

Gestión de información de red en tiempo real mediante floodlight en convergencia con SD.....204  
*Félix Mauricio Murillo Calderón*

Procedimiento para la evaluación de la calidad del servicio de distribución eléctrica generado por la subestación Alluriquín.....212  
*Jimmy Cabrera Córdova, Alexis Cordovés, Ives Torriente, Leonardo L. Lorente Leyva.*

# TEMA: ENERGÍA RENOVABLE Y SOSTENIBILIDAD ENERGÉTICA

---

## DISEÑO Y PROTOTIPADO DE UN AEROGENERADOR DE FLUJO TURBULENTO ORIENTADO A SUMINISTRO ENERGÉTICO

### *DESIGN AND PROTOTYPE OF A TURBULENT FLOW WIND TURBINE ORIENTATED TOWARDS THE ENERGY SUPPLY*

*Ing. Germánico Sinchiguano Molina Mgs.<sup>1a\*</sup>*

<sup>1</sup>Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Latacunga, Ecuador.  
<sup>a\*</sup>[sgermanico@espe.edu.ec](mailto:sgermanico@espe.edu.ec)

#### **Resumen:**

La presente investigación se encuentra direccionada principalmente al desarrollo del diseño y prototipado de un aerogenerador de flujo turbulento con la finalidad de proveer el punto de partida hacia una fuente de suministro energético independiente, basándose principalmente en el análisis de captación de origen eólico dentro de esquemas de giro por eje vertical y denominación de perfiles aerodinámicos NACA. Para comprensión inicial teórico – técnica del fenómeno se realizó una investigación de tipo bibliográfica, donde se recabó una cantidad determinada de información teórica, que serían posteriormente completados con la esquematización de un marco metodológico de medición de indicadores mediante instrumentación especial, la misma que permitiría pre visualizar el fenómeno dentro de las inmediaciones del emplazamiento correspondiente al Campus CEYPSA. A partir de la información recolectada, se realiza un análisis de selección de perfiles aerodinámicos de acuerdo a sus características de comportamiento, finalizando el proyecto con la construcción de un prototipo a partir del marco propositivo, adicionando un estudio concluyente de factibilidad económica, compatibilidad con el medio circundante y análisis por simulación del viento como un fluido dentro de un software especializado.

**Palabras clave:** Captación eólica, Flujo Turbulento, Suministro energético, Perfil aerodinámico NACA.

#### **Abstract:**

This investigation was mainly directed to the development of the design and prototyping of a wind turbine for turbulent flow, in this case especially to develop the starting point to provide an energetic supply for familiar agricultural production, based mainly in the air flow catchment analysis inside vertical axis schemes and selection of NACA aerodynamic profiles. For an initial technical and theoretical comprehension of the phenomenon a bibliographic investigation was made where determined theoretical information was recollected. This information was later completed with a measurement methodological frame of airflow indicators through special equipment, which would provide to see a previous phenomenon within the site where is located in CEYPSA. Since the gotten information along the methodological frame, a selection of aerodynamic profiles according to behavior characteristics was made. This project finishes with the construction of a vertical axis wind turbine prototype. At the end, the investigator presents an economic feasibility study surrounding compatibility and the software simulation results of the air as a fluid object.

**Keywords:** Airflow Catchment, Turbulent Flow, Energetic Supply, NACA Aerodynamic Profiles.

## 1. Introducción

Desde una perspectiva local, en el Ecuador la implementación de sistemas de eficiencia energética dentro del campo laboral y productivo de la agricultura se encuentra en un proceso de madurez reciente. Por esta razón, la introducción de un proyecto científico de eficiencia energética pretende establecer una herramienta de aporte potencial e innovación, apoyado en el diseño y prototipado de un aerogenerador de flujo turbulento. Esto se logra mediante la captación efectiva y sustentable de las cualidades específicas del viento y su naturaleza, en el Campus CEYPSA de la ciudad de Latacunga, provincia de Cotopaxi. La finalidad es lograr una independencia energética para los moradores de la zona inicialmente, pudiendo ser aplicada posteriormente en otros sectores del país.

Es evidente que existe un crecimiento acelerado del uso de la generación distribuida. Sin embargo la falta de recursos en los sectores aledaños de las ciudades y la falta de gestión de las autoridades, ha hecho que la energía eléctrica no llegue a estos sectores. Por tal razón, las personas de estas zonas recurren a energías alternativas, en especial por la necesidad de la introducción de fuentes renovables de energía.

La realidad demuestra que las empresas distribuidoras tienen poco interés en atender a estas áreas rurales ([8] Desarrollo de la energización rural y la electrificación urbano marginal. , CONELEC. (2014).). La dotación del servicio eléctrico es excesivamente costosa si se utilizan esquemas tradicionales, como la extensión de líneas eléctricas y, agresivas contra el ambiente, si se incluyen grupos termoeléctricos. La carencia de energía eléctrica conlleva también a la falta de telecomunicaciones (servicio de Internet, telefonía), servicios de salud, problemas en centros educativos y falta de agua potable.

## 2. Metodología

### 2.1 Desarrollo conceptual de diseño.

El aerogenerador Windspire opera en zonas con velocidades promedio del viento de por lo menos 4,5 m/s (10 mph), siendo de máxima predilección emplazamientos que excedan los 5,4 m/s (12 mph). A velocidades de viento superiores a 3,5 m/s, el Windspire comenzará a producir energía, que se mide en vatios (W) o kilovatios (kW), con la principal característica de que una Windspire de 1,2 kW producirá 2000 kWh en vientos promedios de 5 m/s.

Los aerogeneradores windspire operan con tres juegos de altas y estrechas superficies de sustentación que capturan el viento mientras que hace girar el sistema alrededor de un eje vertical. Estos sistemas pueden funcionar en un rango de velocidades entre 3 – 11 m/s. A velocidades superiores a los 11 m/s el sistema de frenado electrónico participará como medida de seguridad, para protección ante la presencia de rafagosidad variable, turbulencia destructiva y vientos huracanados.

### 2.2 Alternativas de diseño de perfiles aerodinámicos.

A partir de la información recogida dentro del establecimiento del marco teórico, la conformación de la metodología investigativa y de diseño, además del análisis de una serie de perfiles aerodinámicos indicados, construcción y prototipado de un aerogenerador de flujo turbulento orientado al suministro energético ([2] Diseño y Construcción de un prototipo de generador eólico de eje vertical. , 2004), principalmente los perfiles NACA 0015, NACA 0018 y

NACA 0021, se evalúan estos tres tipos de alternativas de solución a la problemática establecida.

### **2.3 Selección de alternativas de solución**

Para especificación de las alternativas de solución, a continuación se especifica la comparación ponderada por pares de requerimiento de ingeniería y diseño de medios de captación eólicos por eje vertical y tipología Savonius ([7] Diseño de un microgenerador de eje vertical. , 2010), además en la tabla 1 hace mención a la selección de alternativas del proyecto planteadas y finalmente en la tabla 5 se provee los medios de selección por alternativas de proyecto planteadas por criterios de prioridad y sumatoria de eventos.

Tabla 1: de selección de alternativas del proyecto planteadas.

TABLA DE ASIGNACIÓN DE ALTERNATIVAS DEL PROYECTO	Coeficiente de sustentación máximo Espesor relativo de perfil	Resistencia a la torsión	Fiabilidad estructural	Resistencia a la fatiga	Deformaciones y vibraciones	Medios de fabricación y estructura	Análisis de materiales de aplicación	Total
Perfil aerodinámico NACA 0015	5	4	5	4	5	5	5	38
Perfil aerodinámico NACA 0018	5	4	4	5	4	5	4	34
Perfil aerodinámico NACA 0021	4	3	4	3	4	4	3	28

### **2.4 Análisis e interpretación de mediciones**

#### **2.4.1 Análisis de incertidumbre en la medición eólica**

La realización del análisis e interpretación de mediciones, se indican en el porcentaje de medidas correctas o válidas para su análisis ([3] Diseño de una erogenerador de eje vertical tipo Savonius para electrificación rural. , (2012)), cuya influencia por medios externos como la ocurrencia de elementos meteorológicos de interrupción de medida no las permite tomarse en cuenta, y un porcentaje final de mediciones no validas por medios ya indicados.

#### **2.4.2 Distribución de velocidades.**

Después del análisis del emplazamiento, tanto en su longitud, su latitud, la altitud, y la densidad del aire, se procede a la clasificación de la información obtenida por el Data Logger de la herramienta de medición, inicialmente desde una perspectiva general promedio de velocidades mensuales como se indica en la Tabla 2.

Tabla 2: Registro mensual de velocidades Junio 2015 – Noviembre 2015.

CAPTACIÓN EÓLICA GLOBAL PROMEDIO						
JUNIO 2015 - NOVIEMBRE 2015						
	jun-15	jul-15	ago-15	sept-15	oct-15	nov-15
PROMEDIO MENSUAL	1,10	0,93	0,94	0,90	0,92	0,91
PROMEDIO PRODUCTIVO	1,94	1,56	1,53	1,46	1,51	1,49
VALOR MÁXIMO MENSUAL	3,07	2,40	2,35	2,86	2,45	2,36

La variación entre las medidas mensuales es de promedio mensual, promedio productivo y valor máximo mensual, entre sus puntos máximos y mínimos es de 18,18% en el primer caso, 24,74% en el segundo y 23,45% en el último parámetro respectivamente. De esta forma, en la figura 1 se observa la variabilidad del viento en los meses analizados.

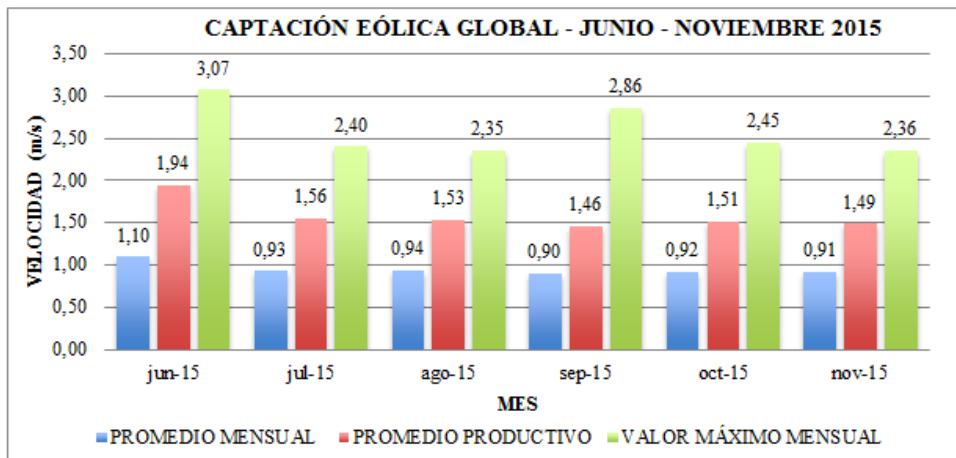


Fig. 1. Variabilidad de la captación eólica global.

## 2.7 Potencia adquirible y eficiencia del aerogenerador.

El cumplimiento de la ecuación (1) de la conservación de la masa ocasiona que no toda la potencia disponible del aire pueda ser utilizada ([5] Canut, A. M., Guerra, F. J., Guzmán, B., & Struck, A. Número de Reynolds. , 2008), siendo afectada por las pérdidas mecánicas en la transmisión y la eficiencia mecánica del sistema de transformación de la energía cinética en energía mecánica. La obtención paramétrica de la potencia adquirible del viento parte de la siguiente ecuación:

$$P_{disp} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v_1^3 \quad \text{Ec.1}$$

De esta forma en las ecuaciones (1,1) y (1,2), teniendo un registro de velocidades cuya incidencia se encuentra en parámetros de velocidades mínima 1m/s y pico de 3m/s, con una densidad del aire para el sector del desplazamiento de 0,9354 kg/m<sup>3</sup> y un diámetro estimado de captación de 700mm se especifica una potencia disponible mínima y máxima aproximada de:

$$P_{disp-mín.} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v_{min}^3 \quad (1.1)$$

$$P_{disp-mín} = \frac{1}{2} \cdot (0,9354) \cdot (\pi \cdot \frac{(0,7)^2}{4}) \cdot (1)^3$$

$$P_{disp-min} = 0,18W P_{disp-máx.} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v_{min}^3 \quad (1.2)$$

$$P_{disp-máx} = \frac{1}{2} \cdot (0,9354) \cdot (\pi \cdot \frac{(0,7)^2}{4}) \cdot (3)^3$$

$$P_{disp-máx} = 4,85W$$

Como se observa, la velocidad de arranque mínima del aerogenerador en eje vertical sería 1 m/s, manteniendo un régimen nominal de producción promedio de 4,85W a una velocidad de 3 m/s, aun cuando aquí no se considera aún la medida de coeficiente de eficiencia de producción del aerogenerador.

### 3. Resultados y Discusión

#### 3.1. Diseño estructural del aerogenerador.

Con base en los diseños de aerogeneradores de eje vertical cuyos esquemas estructurales manejan perfiles aerodinámicos lineales de tipo NACA ([9] Manual de energía eólica. , (2008)), a continuación, se especifican las características constructivas del diseño estructural del aerogenerador:

Base rectangular de un metro cuadrado de área, con soportes diagonales para sujeción y ubicación del eje vertical del soporte del aerogenerador, tomando en cuenta una ubicación de separación de los perfiles aerodinámicos con radio de 32,1 cm. (Fig. 2.).

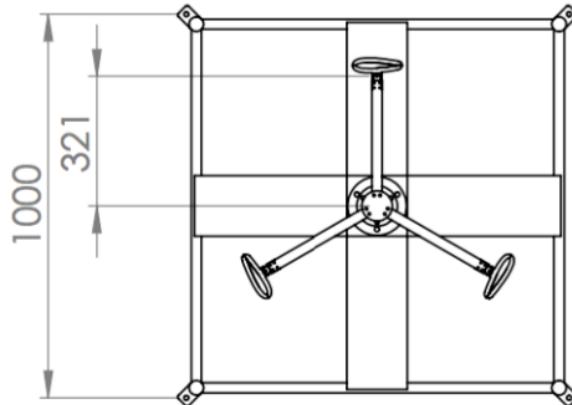


Fig. 2. Vista superior diseño estructural del prototipo

Patas de sujeción a la superficie de ubicación en tierra con una altura de 42 centímetros, los mismos que permiten reducir la influencia del desprendimiento de la capa límite del viento tomado en cuenta como fluido, ya que la ubicación es cercana a una pendiente pronunciada. La altura del eje es de 1 metro con 6 centímetros incluyendo las sujeteciones, con una altura de los perfiles aerodinámicos de 1 metro 50 centímetros, lo que daría una altura total de la estructura de 2 metros con 13 centímetros aproximadamente, tal como se presenta en la Fig. 3.

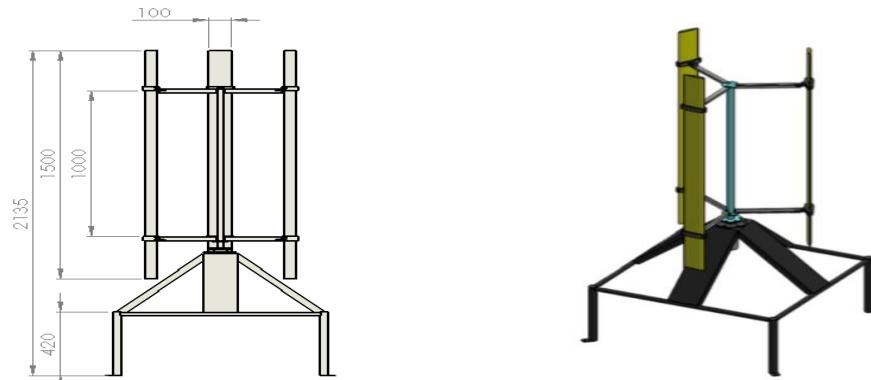


Fig. 3. Vista lateral diseño estructural del prototipo y Vista tridimensional

### 3.3 Estudio y simulación de fluidos

Para comprobación anterior a la construcción del prototipo diseñado, tal estructura tridimensional fue expuesta a situaciones de simulación para verificar su comportamiento a la acción de la captación del viento. Para fines de simulación se utilizó el software SolidWorks, en donde se pueden verificar los siguientes resultados de la exposición de varios cortes realizados donde se predispone exista una mayor incidencia del viento sobre el aerogenerador. Cabe recalcar que los cortes que se realizaron para el análisis del fluido, se determinaron de acuerdo a los puntos más críticos que se determinan en la estructura, presentándose aquí los primeros dos puntos críticos.

Para razón de este primer punto crítico, como se presencia en el gráfico No. 4.1 y 4.2, la simulación de la vista superior y lateral presenta un comportamiento seguro para la captación de la velocidad del viento en este punto, con zonas de turbulencia menores que no provocarían inconvenientes en la seguridad de la estructura.

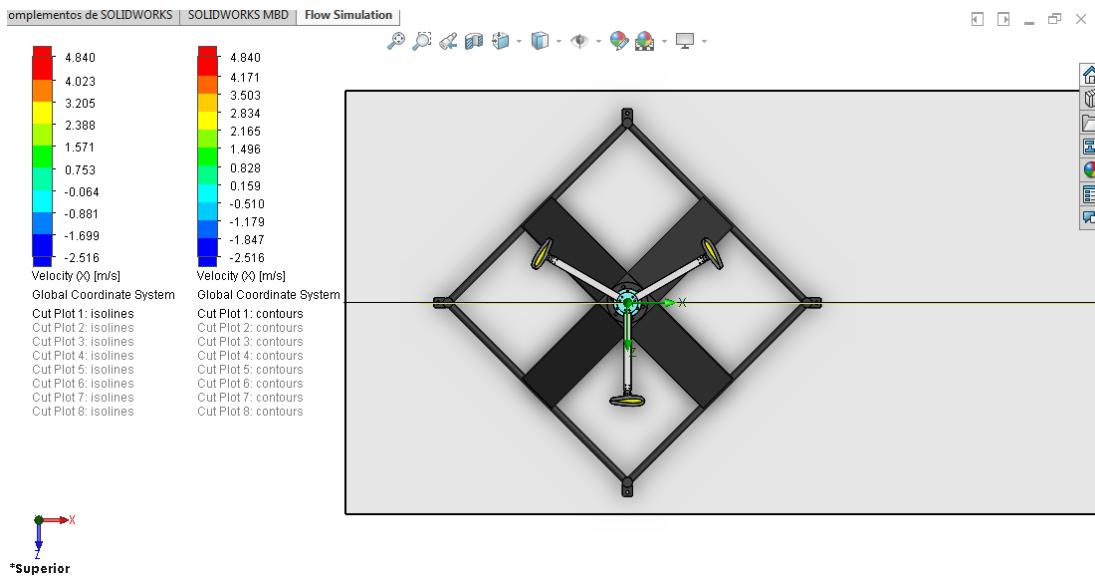


Gráfico No. 4.1. Vista superior primer punto crítico

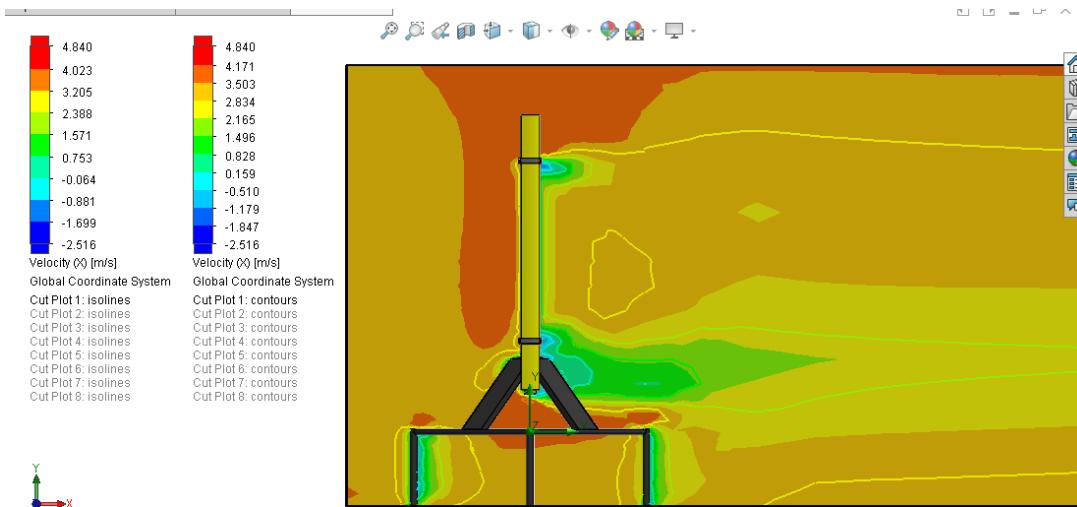


Gráfico No. 4.2. Simulación vista lateral primer punto crítico

En este segundo punto crítico (figura 4.3 y 4.4), el comportamiento del aerogenerador a la captación del viento desde un medio horizontal ideal con flujo nominal es mejor aún que en el primer punto crítico. Se evidencian puntos de captación sin interferencia de comportamiento aerodinámico, debido en gran parte a la conformación de la forma de los perfiles bajo estructura NACA 0015.

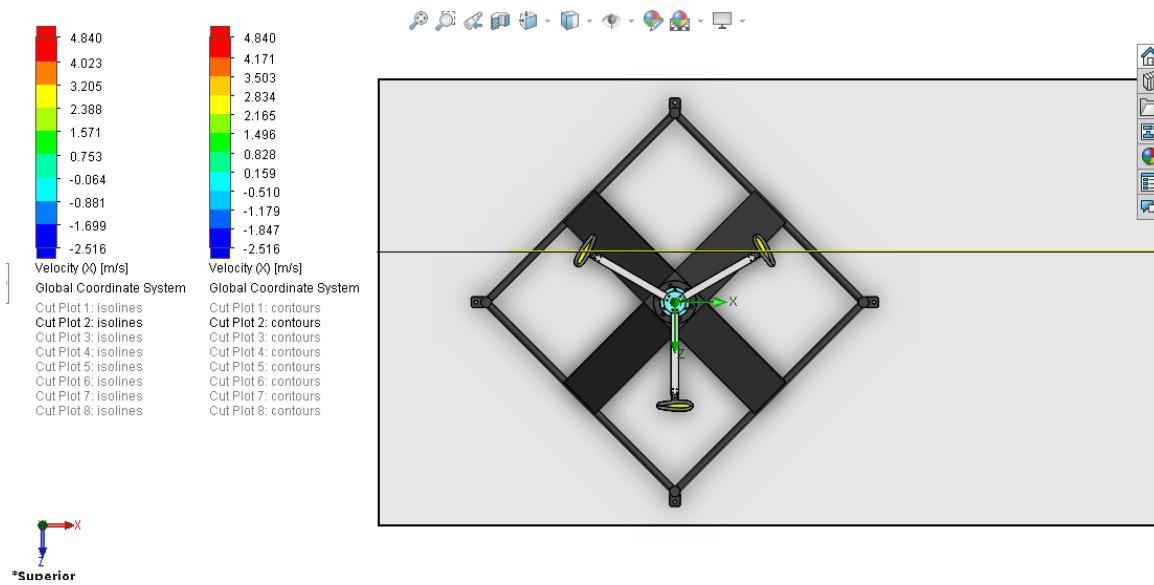


Gráfico No. 4.3. Vista superior segundo punto crítico

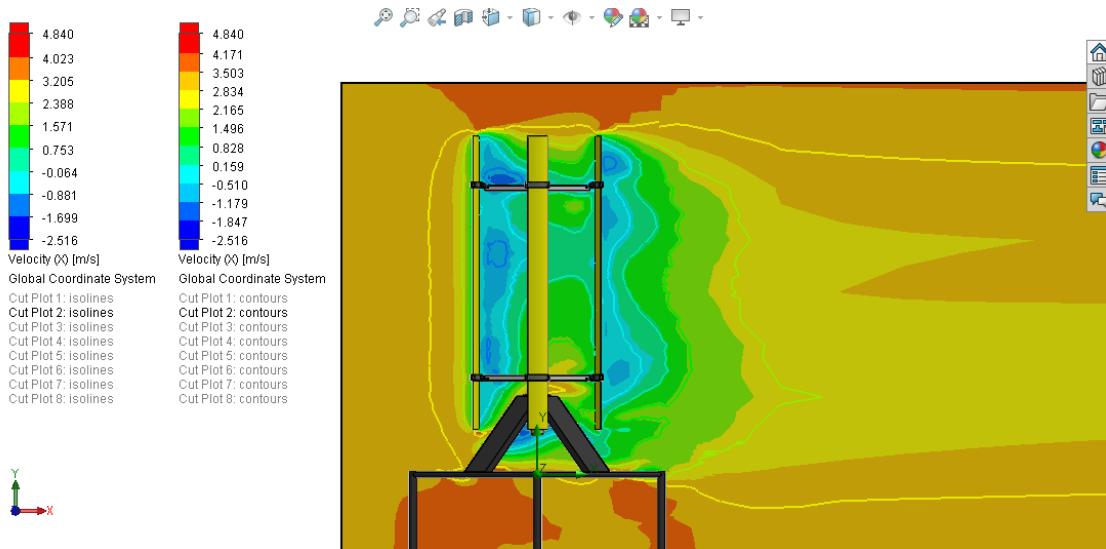


Gráfico No. 4.4. Simulación vista lateral segundo punto crítico

#### 4. Conclusiones y Recomendaciones

- Se definieron los parámetros de diseño de un sistema de aerogeneración orientado al suministro energético para producción agrícola familiar, evaluando la conformación y validación de prototipos efectivos para la solución de la problemática presentada y estructurando la factibilidad de tipo teórico – técnica, económica y de afección social, de manera conjunta con el estudio de la relación costo – beneficio del objeto de estudio.

- A partir de criterios de ponderación por pares de requerimiento de ingeniería (coeficiente de sustentación máximo, espesor relativo del perfil, resistencia a la torsión, fiabilidad estructural, resistencia a la fatiga, deformaciones y vibraciones, medios de fabricación y estructura, análisis de materiales de aplicación), se seleccionó como prioridad de construcción el perfil aerodinámico NACA 0015, teniendo como segundas opciones los perfiles NACA 0018 y NACA 0021 en ese orden respectivamente.
- Como resultado de la proyección obtenida por Weibull, dentro de la velocidad del viento se evidencia una valor mayor de 1,61 m/s, un factor de escala de 1,78 m/s y finalmente un factor de forma de 2,98. Es importante resaltar finalmente que la velocidad máxima medida durante el período de tiempo fue de 3,07 m/s para el mes de Junio, siendo el punto de referencia en consideraciones de medios de producción y estabilidad del diseño con respecto al nivel de rafagosidad presente en el emplazamiento.
- Como resultado de esta revisión final de características de captación puntuales, con seguimiento a los parámetros de captación anteriores, a continuación se presentan los valores de captación eólica en el punto determinado, además de la medición de rpm obtenidas por el mencionado aerogenerador que, dentro del periodo productivo de medición establecido entre las 13:00 y las 18:00, se mantienen valores en rangos entre 2.2 m/s y 4.9 m/s, habiendo registrado además valores de rafagosidad momentáneos de 6.8 m/s.

## Bibliografía

- [1] Agencia Insular de Energía de Tenerife. (2010). Información general sobre energía eólica. Tenerife, España: AITE.
- [2] Antezana, J. C. (2004). Diseño y Construcción de un prototipo de generador eólico de eje vertical. Santiago de Chile, Chile: Universidad de Chile.
- [3] Arbeloa, L., & Zurita, J. (2012). Diseño de una erogenerador de eje vertical tipo Savonius para electrificación rural. Pamplona, España: UPNA.
- [4] Borrel, F. (2013). Revisión de la Ley de Betz. Madrid, España: Independiente.
- [5] Canut, A. M., Guerra, F. J., Guzmán, B., & Struck, A. (2008). Número de Reynolds. México D.F., México: Iberoamericana.
- [6] Castillo, F., Montiel, R., Chacón, M., Chairizi, N., Ramijohn, A., & Barón, R. (2011). Práctica No.2 Perfiles aerodinámicos. Maracaibo, Venezuela: ZULIA.
- [7] Chávez, S. (2010). Diseño de un microgenerador de eje vertical. México D.F., México: UNAM.
- [8] CONELEC. (2014). Desarrollo de la energización rural y la electrificación urbano marginal. Quito, Ecuador: CONELEC.
- [9] Escudero, J. M. (2008). Manual de energía eólica. Madrid, España: Mundi-Prensa.
- FINDER. (2011). El mundo sustentables de las energías renovables. Buenos Aires, Argentina: FINDER COMPONENTES LTDA.

# **GENERACIÓN DE COMBUSTIBLE ALTERNATIVO A TRAVÉS DE LA GASIFICACIÓN DE CARBÓN VEGETAL Y LA UTILIZACIÓN DE OXÍGENO SECO COMO AGENTE GASIFICANTE, PARA UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA ESTACIONARIO DE 5,5 HP**

## ***GENERATING ALTERNATIVE FUEL THROUGH GASIFICATION OF CHARCOAL AND OXYGEN AS DRY GASIFYING AGENT FOR AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE OF 5.5 HP STATIONARY***

***Moisés Filiberto Mora Murillo<sup>1a\*</sup>, Arlys Michel Lastre Aleaga<sup>2b</sup>, Remberto Rodríguez Crespo<sup>2c</sup>, Luis Xavier Orbea Hinojosa<sup>2d</sup>***

<sup>1</sup>Instituto Tecnológico Superior Calazacón

<sup>2</sup>Universidad Tecnológica Equinoccial

<sup>a\*</sup>[m3f93@hotmail.com](mailto:m3f93@hotmail.com), <sup>b</sup>[arlys.lastre@ute.edu.ec](mailto:arlys.lastre@ute.edu.ec), <sup>c</sup>[remberto.rodriguez@ute.edu.ec](mailto:remberto.rodriguez@ute.edu.ec),  
<sup>d</sup>[luis.orbea@ute.edu.ec](mailto:luis.orbea@ute.edu.ec)

### **Resumen:**

Actualmente se hace cada vez más clara la escasez de petróleo y su contaminación al medio ambiente por la utilización de sus derivados en motores de combustión interna, es por ello que ahora se busca la no dependencia de este hidrocarburo, lo cual nos conduce a que la utilización de energía renovable totalmente limpia tome cada vez mayor importancia. Es por ello que en la presente investigación se busca aprovechar la energía potencial de la biomasa y oxígeno seco como agente de gasificación para generar combustible alternativo gaseoso y ponerlo a prueba en un motor estacionario de combustión interna de 5,5 hp, lo mismo que encamina una gran mejoría en dos grandes campos ya que facilita la diversificación energética y a su vez disminuye en gran parte la dependencia de los combustibles fósiles con lo cual disminuirían notablemente las emisiones de dióxido de carbono al medio ambiente a nivel mundial.

**Palabras clave:** Contaminación ambiental, energía potencial, biomasa.

### **Abstract:**

The current state of the planet from environmental and energy point of view leads to the generation of clean renewable energy fully take increasing importance in the world. That is why the concept of an alternative fuel is proposed through gasification, it is one of the processes with greater potential for the generation of alternative fuels and supports the design of both thermal energy and electrical energy, through technologies viable cost from charcoal of the coffee tree biomass waste , along with oxygen as agent in the gasification , as well as it brings a great improvement in two large fields because it facilitates energy diversification and decreases greatly part dependence on fossil fuels (oil ) thus decrease carbon dioxide emissions to environment worldwide considerably.

**Keywords:** Environmental pollution, potential energy, biomass

## 1. Introducción

La generación de combustibles alternativos de origen natural, entre ellas la energía solar, eólica e hidráulica, y el uso de residuos sólidos agroforestales son actividades muy arcaicas; desde hace ya varios años atrás se les daba uso con fines energéticos, pero posteriormente dada la terminación de la primera guerra mundial se originó un reintegro absoluto a los combustibles líquidos en especial a los provenientes de fósiles, todo esto atribuyendo a su fácil alcance, manejo y ventajas económicas.

La gasificación es definida como la conversión de la biomasa, o cualquier combustible sólido, en un gas energético, a través de la oxidación parcial a temperaturas elevadas. Esta conversión se la realiza a través de la oxidación parcial a temperaturas elevadas. Esta conversión se la realiza a través de diferentes tipos de reactores termoquímicos, tales como de lecho fijo o lecho fluidizado. (Sánchez, 2003).

El Concejo Nacional de Electricidad (CONELEC), en su boletín de estadística asegura que, la biomasa solo aporta con el 1,16% del total de la matriz energética, lo que significa para un país agrícola, ganadero y maderero que; desaprovecha la explotación de este recurso (CONELEC, 2010).

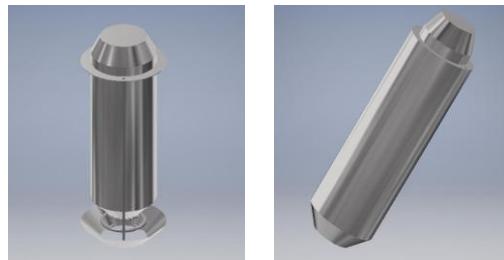
Actualmente coexiste una progresiva impaciencia por el estado del medio ambiente, que ha generado una serie de interrogantes como la de seguir usando combustibles fósiles y por ello, esta investigación está encaminada en el aprovechamiento de la energía potencial de la biomasa sólida (residuos agroforestales) y oxígeno seco como agente gasificante para la obtención de combustible gaseoso para un motor estacionario de 5,5 hp, a fin de que la misma sea una introducción a la generación de energía térmica y mecánica incrementando la investigación en este campo.

## 2. Metodología

### 2.1. El gasificador

Los dispositivos utilizados para llevar a cabo la conversión de materia sólida en gas (y en última instancia en energía) reciben el nombre de gasificadores. En su interior tienen lugar todas las reacciones termoquímicas que han sido descritas con anterioridad. (Department, Wood gas as engine fuel., 1986).

Se seleccionó el gasificador tipo downdraft considerando los criterios de selección, potencia máxima, utilización en MCI, oxígeno como agente gasificante, baja presión en el reactor y cantidad de alquitrán y cenizas, con todo ello teniendo una alta ponderación dando favorable para esta investigación.



**Figura 2.** Gasificador downdraft

## 2.2. Biomasa

Gracias a la gasificación y las altas temperaturas que intervienen en ella, se puede procesar prácticamente cualquier tipo de biomasa como combustible. Los factores físicos, como su densidad y su tamaño, pueden actuar como limitantes.

El análisis elemental permite establecer la composición del combustible (también en porcentajes en peso) de carbono (C), hidrógeno (H), nitrógeno (N), oxígeno (O) y azufre (S). Estos elementos definen el potencial calorífico del biocombustible. (Energy, 2002).

## 2.3. Evaluación de la biomasa a ser utilizada como combustible para el gasificador.

### 2.3.1. Carbón vegetal.

El carbón vegetal de buena calidad casi no contiene alquitranes.

Para que exista gasificación en vez de combustión  $\lambda < 1.0$ . Y para gasificadores tipo flujo ascendente

$0.20 < \lambda < 0.25$  Asumiendo.  $= 0.25$ .

$$\lambda = \frac{(A/F)real}{(A/F)esteq}$$
$$\left(\frac{A}{F}\right)real = \lambda \times (A/F)esteq$$

$$\left(\frac{A}{F}\right)real = (0,25)(1,7) = 0.425$$

$$\left(\frac{A}{F}\right)real = 0.425 \frac{\text{kg de oxígeno}}{\text{kg de combustible}}$$

$$\left(\frac{A}{F}\right)real = \frac{\dot{m}_a}{\dot{m}_f}$$

$$\dot{m}_a = \dot{m}_f \times \left(\frac{A}{F}\right)real$$

$$\dot{m}_a = [2.32 \left(\frac{\text{kg de biomasa}}{\text{hr}}\right)] [0.425 \left(\frac{\text{kg de oxígeno}}{\text{kg de biomasa}}\right)]$$

$$\dot{m}_a = 0.986 \frac{\text{kg de oxígeno}}{\text{hr}}$$

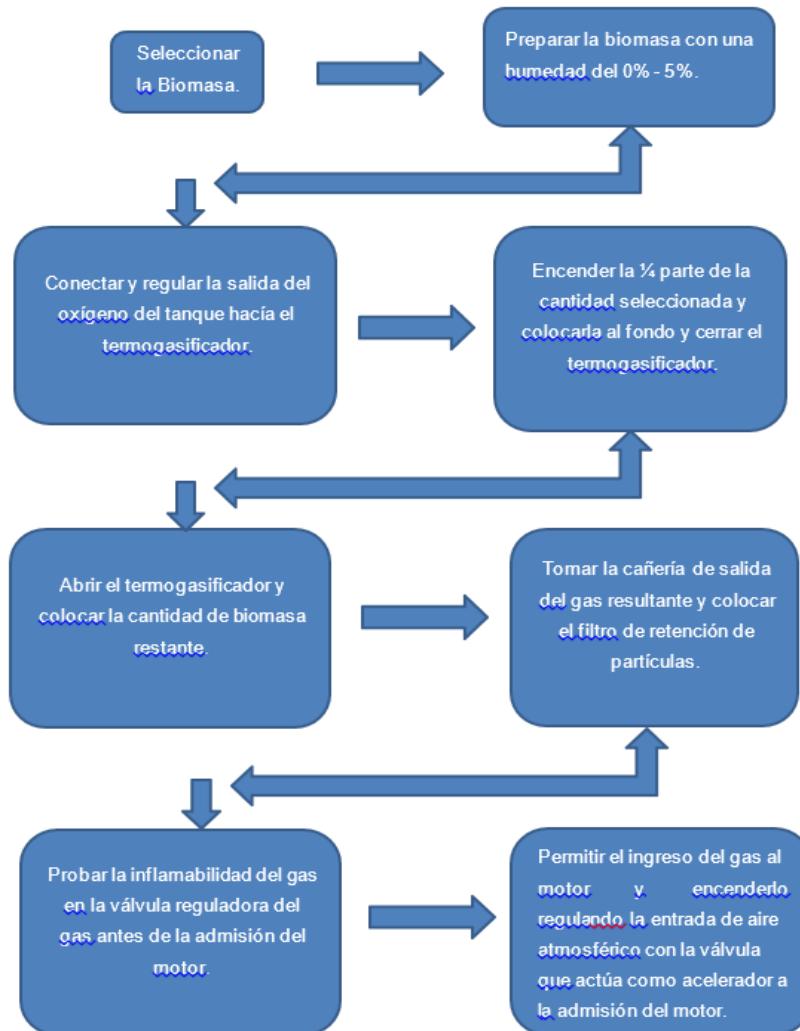
## 2.4. Agente gasificante

El uso de oxígeno como agente gasificante eleva sustancialmente el rendimiento global de la gasificación y ocasiona un gas de síntesis con un poder calorífico hasta tres veces más elevado.



**Figura 3.** Tanque de oxígeno

#### PROCESO DEL FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR CON GAS RESULANTE



## **2.5. Parámetros de funcionamiento.**

### **2.5.1. Variables de entrada.**

#### **2.5.1.1. Biomasa.**

Se opera el gasificador con biomasa (carbón de madera) con diferente contenido de humedad que se encuentran en el medio.

- Baja humedad de 0% a 5%

#### **2.5.1.2. Entrada de oxígeno.**

Se calculó teóricamente y se necesita 1.7 kg de oxígeno para gasificar 1 kg de biomasa.

## **2.6. Interpretación de resultados.**

### **2.6.1. Balance de masa.**

- Conservación de la masa.

Entradas + producción = salidas + consumo

Este mismo procedimiento en la reacción de combustión se da de la siguiente manera:

Biomasa + oxígeno = gases alquitranados

En una completa combustión de la relación de oxígeno con los procesos de gasificación utilizando biomasa en base seca 0% de humedad se necesita 1,42 kg de oxígeno.

## **2.7. Factor de oxígeno.**

$$\text{Factor oxígeno} = \frac{\text{Relación oxígeno combustible real}}{\text{Relación oxígeno combustible estequiométrica}}$$

$$\text{Factor oxígeno} = \frac{0,425 \frac{\text{kgO}}{\text{kg Comb}}}{1,7 \frac{\text{kgO}}{\text{kg Comb}}}$$

$$\text{Factor oxígeno} = 0,25$$

## **2.8. Combustión.**

1 kg de biomasa + 1,7 kg de oxígeno = 2,7 kg de gas de síntesis

Utilizamos el factor oxígeno de 0,25

1 kg de biomasa + (1,7 kg de oxígeno x 0,25) = 1,4 kg de gas de síntesis

Hacemos el cálculo pertinente para quemar la otra cantidad de aire.

1,425 kg de gas de síntesis + 1,275 kg de oxígeno = 2,7 kg de gas de síntesis

Las cantidades 1,425 y 1,275 respectivamente son relativamente las cantidades de gas y oxígeno, es decir que la relación estequiométrica de gas de madera es 1 : 1.1 kg de oxígeno por cada kg de gas.

### 2.11.1. Eficiencia del sistema de gasificación

#### 2.11.1.1. Energía física del gas

Energía física del gas =  $mC_p\Delta T$

$C_p$  se determina con la sumatoria de las fracciones molares de los compuestos que reaccionan que en este caso sería  $3,716 \frac{kJ}{kg \cdot K}$

(García Guamán, 2014)

$$\begin{aligned} \text{Eficiencia física del gas} &= 2,04 \text{ kg} \times 3,716 \frac{kJ}{kg \cdot K} \times (800 - 16)^\circ K \\ \text{Eficiencia física del gas} &= 5943,22 \text{ KJ} \end{aligned}$$

#### 2.11.1.2. Eficiencia del gasificador.

$$\text{Eficiencia energética} = \frac{\text{Energía Util}}{\text{Energía disponible}}$$

$$\begin{aligned} \text{Eficiencia energética} &= \frac{\text{Flujo de gas} \times PC_{Igas} + \text{Energía física del gas}}{\text{Flujo de masa} \times PC_{Imasa} + \text{aire} \times h_{oxígeno}} \\ \text{Eficiencia energética} &= \frac{2,04 \text{ kg} \times 5776,05 \frac{kJ}{kg} + 5943,22}{1 \text{ kg} \times 17960 \frac{kJ}{kg} + 1,7 \text{ kg} \times 784,3 \frac{kJ}{kg}} \\ \text{Eficiencia energética} &= 0,9 \end{aligned}$$

Entonces tenemos que teóricamente el gasificador de biomasa utilizando como combustible el carbón de vegetal tiene una eficiencia de 0,9 (García Guamán, 2014)

### 2.11.3. Eficiencia del sistema de gasificación

Para obtener este dato se debe analizar el gasificador y el motor de combustión interna que se utilizó para el presente proyecto.

$$\begin{aligned} \eta_{sistema} &= \eta_{gasificador} \\ &\times \eta_{motor} \quad \eta_{sistema} = 0, \\ &9 \times 0,21 \quad \eta_{sistema} = \\ &19\% \end{aligned}$$

Se determina que el sistema de gasificación utilizando el carbón vegetal como combustible tiene un 19% de eficiencia.

## 2.13. Relación con otros combustibles

Se conoce que los motores actualmente se los utiliza con combustibles líquidos como el diésel y la gasolina, entonces tenemos que para obtener una potencia de 15HP se necesita 1 galón de gasolina y para el caso del motor diésel es la misma cuestión pero en diésel.

En nuestro sistema tenemos que 1,15 kg de biomasa produce 1KWh y que a su vez la equivalencia de esto en HP es de 0,75. Por consecuencia tenemos que para generar 1HP se necesita 1kg de biomasa.

Por otro lado tenemos que la eficiencia del motor con gas de síntesis disminuye en un 30%, a la razón de que para alcanzar los mismos 15HP de potencia necesito elevar el 30% a la producción de gas.

$$\text{Potencia con gas} = \text{Potencia} + 30\% \text{ de Potencia}$$

$$\text{Potencia con gas} = 15\text{HP} + 4,5\text{HP}$$

$$\text{Potencia con gas} = 19,5\text{HP}$$

Se concluye que para la obtención de los 15HP de potencia se necesita aproximadamente 20kg de biomasa.

## 3. Conclusiones y Recomendaciones

### Conclusiones

- Entre otras cosas relevantes al momento de evaluar el sistema de gasificación se puede decir que el tipo de biomasa, el contenido de humedad y las cenizas influyen de una manera determinante en la calidad y la composición del gas resultante, teniendo como punto clave que las maderas con bajo contenido de humedad son las más eficientes.
- El presente proyecto genera alternativas en el ámbito de regulación, planificación y uso energético de transportes cumpliendo de esta manera con los lineamientos del plan nacional del buen vivir teniendo el mismo la modificación de patrones de consumo energético, con criterios de sustentabilidad y eficiencia. Todo esto aprovechando aprovechando el desarrollo de la bioenergía yendo de la mano con el respeto de los derechos de la naturaleza y sin modificar la biodiversidad y el paisajismo.
- Teniendo en cuenta aspectos de la naturaleza, la biodiversidad y el paisajismo podemos decir que el gas resultante es sumamente limpio de esta manera reducimos las emisiones de  $\text{CO}_2$  y que la cantidad de  $\text{CO}_2$  que representa el proceso de la obtención del gas de síntesis en combustión es equivalente al que la biomasa utilizada lo absorbería en el proceso de la fotosíntesis, teniendo de esta manera un sistema neutro de emisiones de  $\text{CO}_2$ .

## **Recomendaciones**

- El termogasificador debe ser manipulado en áreas de trabajo abiertas y bien ventiladas ya que el gas resultante contiene una elevada cantidad de CO el mismo que al ser absorbido en cantidades considerables por el ser humano puede causar daños severos al sistema respiratorio por su alto contenido de toxicidad.
- En cuanto a la biomasa a utilizar en el sistema se debe tener en cuenta las dimensiones antes de ingresarlas al gasificador, ya que el material biomásico con dimensiones exageradas puede atascar el proceso y obstruir la garganta del gasificador impidiendo el descenso de la misma.

## **Bibliografía**

- CONELEC. 2010.** *Boletín Estadístico sector Eléctrico Ecuatoriano*. Quito : s.n., 2010.
- Cortez, Prof.Dr.Vicente J. 2012.** *Carbón*. España : s.n., 2012.
- Department, FAO Forestry. 1986.** *Wood gas as engine fuel*. 1986.
- Energy, The Japan Institute of. 2002.** *The Asian Biomass Handbook*. 2002.
- García Guamán, David Alejandro, Hernan Morales. 2014.** *Diseño y construccion de un sistema complementario para la puesta a punto de un gasificador de biomasa de 20 KW*. Sangolquí: UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS (ESPE), 2014.
- Iabs, All power. 2014.** *Run an Engine with the GEK*. 2014.
- Lesme, y otros. 2008.** *Analisis termodinamico de un Gasificador ANKUR*. UNIVERSIDAD DEL ORIENTE : s.n., 2008.
- Mora Moisés, (2016).** *FABRICACIÓN DE UN GASIFICADOR PARA LA GENERACIÓN DE COMBUSTIBLE ALTERNATIVO A PARTIR DE LA BIOMASA PARA MCI EN LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL, SEDE SANTO DOMINGO*, 2016.
- Santo Domingo de los Tsáchilas. Ecuador. UTE.
- Program, Solar technical information. 1988.** *Handbook of biomass Downdraft gasifier Engine Systems*. Colorado : s.n., 1988.
- Sánchez. 2003.** *Tecnología de gasificación*. Campinas: s.n., 2003.
- Tutivén, Mario Enrique Bohórquez. 2015.** *Diseño de un Equipo Experimental de Flujo Ascendente (Updraft) para Gasificación Térmica de Residuos de Biomasa Agroindustrial*. Guayaquil : ESPOL, 2015.

# **DESARROLLO DE UN SISTEMA DE RIEGO QUE MONITOREA LAS CONDICIONES AMBIENTALES Y DETERMINAR LA FACTIBILIDAD DE RIEGO A FIN DE REDUCIR EL CONSUMO DE AGUA**

## ***DEVELOPMENT OF AN IRRIGATION SYSTEM THAT MONITORS ENVIRONMENTAL CONDITIONS AND DETERMINE THE FEASIBILITY OF IRRIGATION TO REDUCE WATER CONSUMPTION***

***Hernán Morales Villegas, Ecuador<sup>1a\*</sup>, Freddy Álvarez Noroña, Ecuador<sup>1b</sup>***

<sup>1</sup>Universidad de las fuerzas Armadas-ESPE, Extensión Latacunga, Ecuador

<sup>a</sup>[hvmorales@espe.edu.ec](mailto:hvmorales@espe.edu.ec) <sup>b</sup>[fjalvarez1@espe.edu.ec](mailto:fjalvarez1@espe.edu.ec)

### **Resumen:**

Con el fin de reducir el consumo de agua destinado al riego localizado, se desarrolla un sistema que analiza la factibilidad de riego en base a la medición de condiciones ambientales de temperatura, presencia de lluvia y humedad del suelo, las cuales son integradas a un microcontrolador para ser más tarde publicadas de forma inalámbrica a un dispositivo móvil mediante una aplicación Android. Además de las variables anteriormente mencionadas, el sistema está diseñado para determinar el caudal y volumen de agua invertida en el proceso de riego, los cuales son de gran importancia para realizar un análisis comparativo entre la cantidad de agua consumida bajo un riego manual sin ningún control comparado a un sistema inteligente de riego autocontrolado.

**Palabras claves:** factibilidad, sistema, riego, condiciones ambientales.

### **Abstract:**

In order to reduce the consumption of water for localized irrigation, a system is developed that analyzes the feasibility of irrigation based on the measurement of environmental conditions of temperature, presence of rain and soil moisture, which are integrated into a microcontroller for published wirelessly to a mobile device using an Android application. In addition to the aforementioned variables, the system is designed to determine the flow and volume of water invested in the irrigation process, which are of great importance to perform a comparative analysis between the amount of water consumed under a manual irrigation without any control compared with an intelligent system of self-controlled irrigation.

**Keywords:** feasibility, system, irrigation, environmental conditions.

## **1. Introducción**

Es preocupante el ritmo en que la creciente población va agotando los recursos naturales, según datos del Banco Mundial para el año 2050 cerca de mil millones de personas (66 veces la población del Ecuador) vivirán en ciudades sin suficiente agua.

Ecuador es el país que consume más agua potable por habitante/día en América Latina (237 litros), y sobrepasa con un 40% el promedio de la región (169 l/hab/día). (Zapatta & Gasselin, 2005) El agua se desperdicia de muchas maneras cuando cada ecuatoriano se ducha, se lava

los dientes sin cerrar la llave, tiene fugas en la tubería de su casa, riega su jardín, lava su auto, además, no solo se derrocha durante el consumo, también se pierde por evaporación.

Enfocándose en el agro ecuatoriano, el riego es su mayor problema, esto evidencia el limitado uso del suelo para el cultivo, estadísticamente, la superficie total bajo riego es de 853.332 Has y la superficie potencialmente regable se estima en 3'130.000 Has., el aporte de la actividad agrícola para el país es fundamental, de modo aproximado, representa el 17% del PIB y el valor de la producción bajo riego, se estima en el 70% de la producción agrícola total. (Zapatta & Gasselin, 2005)

Existen múltiples problemas en el ámbito de riego relacionados entre sí, los más comunes son la escasa disponibilidad de agua, el inequitativo acceso social, la concentración regional de las inversiones públicas en riego, el bajo nivel de tecnificación, la carencia de estrategias estatales para el desarrollo del riego y sus limitaciones institucionales. El limitado acceso al agua ha llevado a los productores agrícolas, en determinadas zonas, a regar sus cultivos con agua contaminada, lo que afecta directamente al ser humano; y en las ciudades a emplear agua potable.

Por las limitaciones anteriormente mencionadas, la presente investigación tiene dentro de sus objetivos el registrar mediante sensores condiciones ambientales para determinar la factibilidad y control de riego, el desarrollo de una aplicación para dispositivos Android que permita monitorear y operar el sistema de riego.

Además, el prototipo a realizarse es una aplicación práctica que evidencia los conocimientos impartidos en las diferentes áreas del conocimiento de la carrera de ingeniería mecatrónica.

## 2. Metodología

La dinámica del proyecto se representa en el diagrama de bloques de la figura N°1, el cual consta de ocho etapas fundamentales, empezando por el diseño del circuito electrónico donde se plantea el diseño de una fuente de alimentación que es simulada en el software NI Multisim y posteriormente implementada; dentro del área de programación se destaca la programación del microcontrolador mediante el software Arduino y la programación de la aplicación móvil de monitoreo y control del sistema mediante la plataforma App Inventor.

En el bloque de adquisición de datos se registra la humedad del suelo mediante el sensor marca SparkFun el cual tiene una salida analógica que dependiendo de cuanta conductividad (producto del agua en el suelo) haya entre las puntas del módulo variará el valor entregado por Arduino (entre 0 y 1023).

Para determinar si el suelo está seco, húmedo o muy mojado, el fabricante determina por defecto los valores 0 -300 para suelo seco, 300-700 para suelo húmedo y 700-1023 suelo completamente mojado.

El registro de temperatura ambiental se realiza empleando el sensor de temperatura y humedad digital de bajo costo DHT11, el cual no es más que un sensor capacitivo de humedad y un termistor para medir el aire circundante, y muestra los datos mediante una señal digital en el pin de datos.

La presencia de lluvia es analizada por la variación de conductividad del sensor al entrar en contacto con el agua. Existen varios modelos de sensores similares, como el FC-37 y el YL-83, ambos modelos tienen el mismo costo, sin embargo, el sensor de lluvia YL-83 fue seleccionado ya que presenta una placa adicional que permite ajustar la sensibilidad del sensor, cuenta con

leds que indican si está alimentado y si está transmitiendo información, además tiene dos tipos de salida digital y analógica.

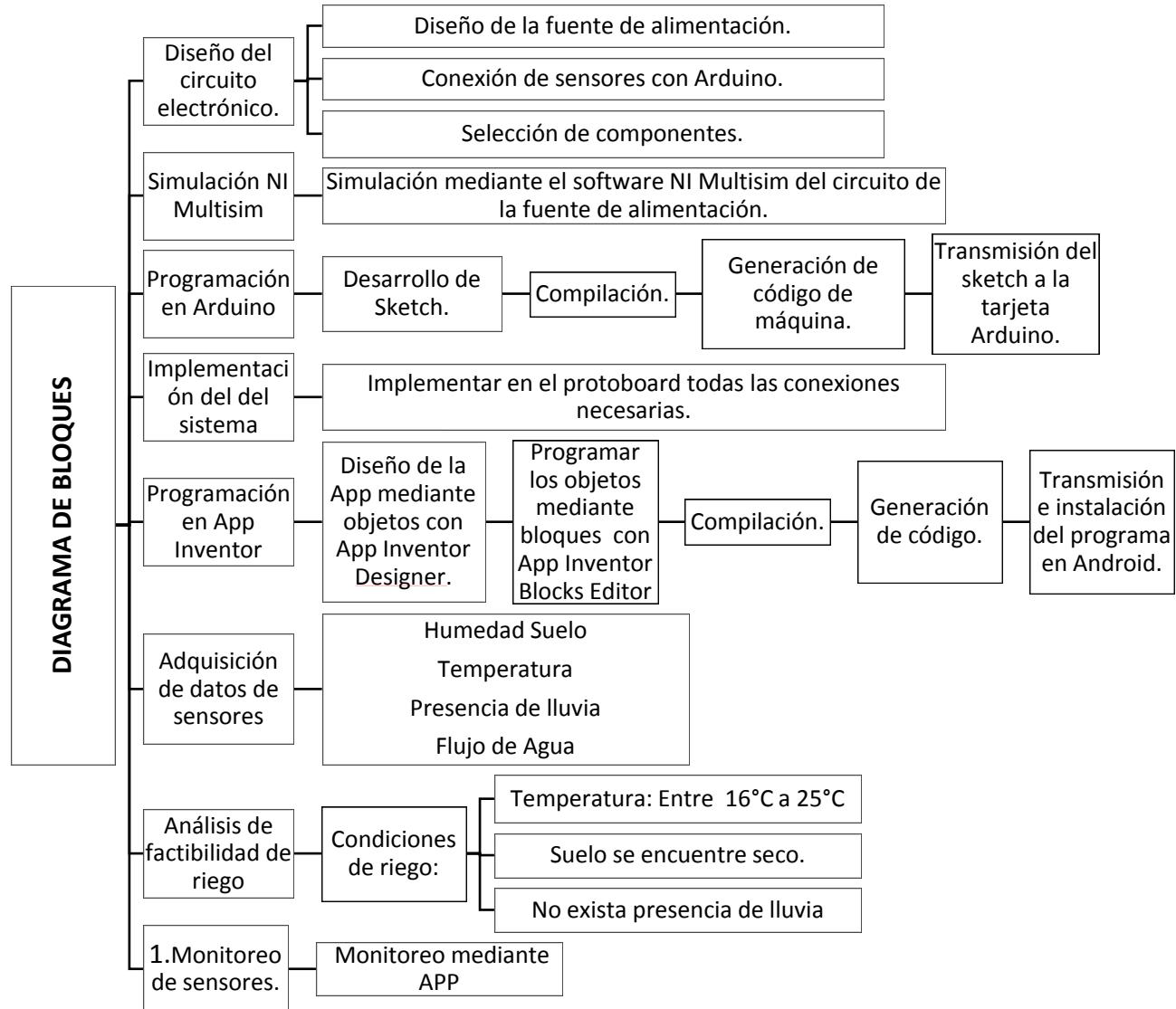


Figura N°1: Diagrama de bloques del sistema de riego

Dentro del área de análisis de factibilidad de riego el microcontrolador empleado es la versión Arduino MEGA ya que posee 54 pines digitales y 16 entradas analógicas además de poseer una memoria de mayor capacidad, es el indicado para códigos muy extensos o que requieran una gran cantidad de variables.

Las condiciones de riego al que el sistema se encuentra programado para riego ornamental responden al criterio de una temperatura ambiental de 16°C y 25°C, si el suelo se encuentra completamente seco y si existe presencia de lluvia, como se presenta en la tabla N°1.

Tabla N°1. Lógica del sistema de riego.

Temperatura	Presencia de lluvia	Humedad del suelo	Riego
Óptima	SI	HUMEDA-INUNDADA	Off
Óptima	SI	SECA	Off
Óptima	No	HUMEDA-INUNDADA	Off
Óptima	No	SECA	On
BAJA-ALTA	SI	HUMEDA-INUNDADA	Off
BAJA-ALTA	SI	SECA	Off
BAJA-ALTA	No	HUMEDA-INUNDADA	Off
BAJA-ALTA	No	SECA	Off

### 3. Resultados y Discusión

#### 3.1 Resultados

Los datos de los sensores obtenidos mediante los puertos de Arduino son expresados de forma lineal y separados con el símbolo “|” para su manipulación en la aplicación de Android, como se presenta en la figura N°2.

Se observa la adquisición de datos de temperatura, humedad del aire, porcentaje de humedad de la tierra y su estado, presencia de lluvia, caudal y volumen gastado

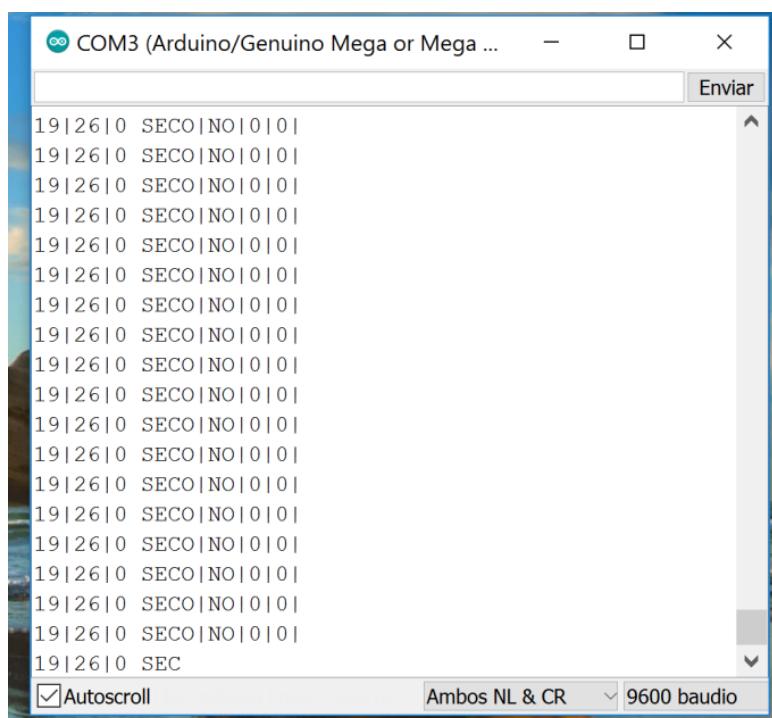


Figura N°2: Adquisición de datos de sensores.

Dentro del monitoreo y control de la activación manual de la válvula se plantea la aplicación mostrada en la figura N°3, programada mediante la plataforma App Inventor.

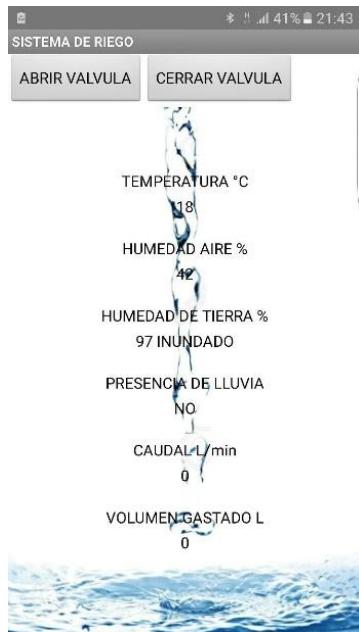


Figura N°3: Pantalla de la aplicación Android

Para controlar el paso de fluido el sistema emplea una electroválvula, su precio varía en función de su capacidad de aplicación, la electroválvula de 12V de  $\frac{1}{2}$  pulgada fue seleccionada ya que es apropiada para fluidos de baja viscosidad como agua, además soporta una temperatura de fluido máxima de 100°C y soporta una presión de hasta 0.8 Mpa, además normalmente las tuberías empleadas en instalaciones de agua son de  $\frac{1}{2}$  pulgada.

El análisis del caudal y el volumen gastado consiste en la lectura de pulsos del sensor que mide el flujo del agua en forma de una onda cuadrada cuya frecuencia es proporcional al caudal. El factor de conversión de frecuencia (Hz) a caudal (L/min) varía entre modelos y depende de la presión, densidad e incluso del mismo caudal.

Para el caso del sensor de  $\frac{1}{2}$ " el factor de conversión promedio proporcionado por el fabricante es:

$$f(\text{Hz}) = K \times Q(\text{L}/\text{min}) \quad (1)$$

Donde K será el factor de conversión, siendo K=7.5 para el sensor de  $\frac{1}{2}$ ", trabajar con dichos valores no garantiza precisión, pero sirve para aplicaciones simples, si se necesita mayor exactitud hay que calibrar y calcular dicho factor.

Para calcular el flujo, es necesario saber cómo dato el factor de conversión de frecuencia a caudal, dicho dato nos lo da el fabricante, de lo contrario se lo debe calcular. Teniendo el factor de conversión, el programa se resume a calcular la frecuencia de los pulsos del sensor, para posteriormente con el factor de conversión escalar de frecuencia a caudal.

Mediante un programa realizado de forma independiente se calcula la frecuencia de los pulsos y el caudal de agua con un factor promedio de 7.5, los resultados obtenidos son los visualizados en la figura N°4.

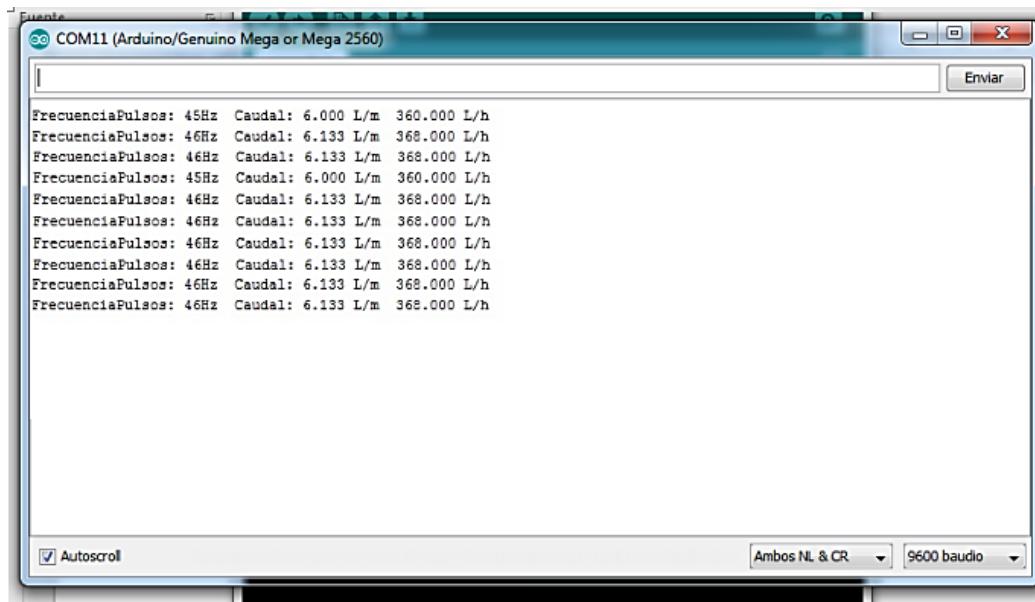


Figura N°3: Medición de frecuencia y cálculo de caudal

Para tener una medición más exacta es necesario calcular el valor del factor de conversión que sirve para convertir de frecuencia de pulsos a caudal de agua, la variable que se mide con exactitud es la cantidad de pulsos usando el Arduino junto con ayuda de un recipiente con graduación se procede a medir la cantidad o volumen de agua.

Estas dos variables se miden con exactitud, para calcular el factor de conversión con estas dos variables se emplea la siguiente formula:

$$k = \frac{\text{número de pulsos}}{\text{volumen}*60} \quad (2)$$

Donde K es el factor de conversión, el número de pulsos son la cantidad de pulsos medidos con el sensor correspondiente al volumen que pasa por el sensor, dicho volumen se mide con ayuda de recipientes con graduación. Para calcular la cantidad de pulsos del sensor YF-S201 se desarrolla un programa que muestra la cantidad de pulsos del sensor.

Para realizar una muestra de pulsos y volumen es necesario resetear y a continuación empezar a llenar el recipiente, en otras palabras, verificar que cuando se empiece a medir el agua la cantidad de pulsos debe estar en cero, obteniendo los resultados de la figura N° 4.

Para tener un valor más exacto es aconsejable tomar varias muestras y finalmente obtener un promedio, en este caso los resultados obtenidos se presentan en la tabla N°2

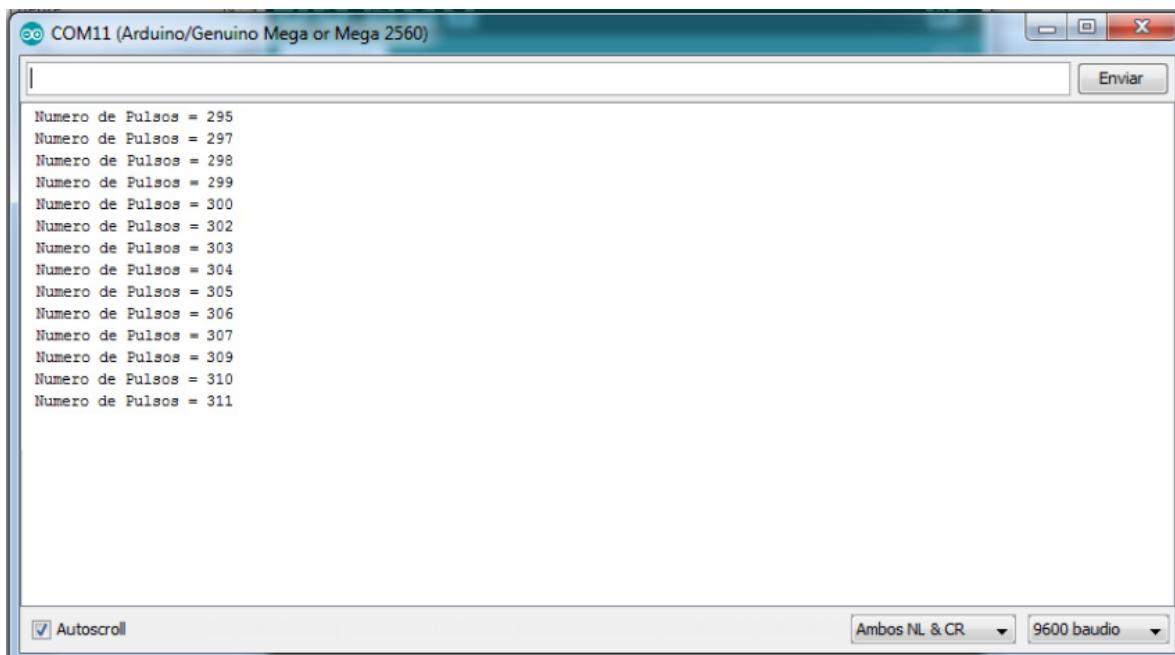


Figura N°4: Medición de pulsos del sensor YF-S201

Tabla N°2. Lectura de pulsos según litros de agua para el cálculo del factor de conversión K.

L itros	Puls	K
1	436	7,2
	7	
1	429	7,1
	5	
1	413	6,8
	8	
1	423	7,0
	5	
2	872	7,2
	7	
3	1283	7,1
	3	
4	1706	7,1
	1	
4	1686	7,0
	3	
<b>Promedio</b>		<b>7,1</b>
<b>1125</b>		

Por lo tanto, el factor de conversión obtenido es de 7.11125, con este valor se trabaja para que las medidas sean más exactas.

Para medir el consumo de agua o el volumen de agua empleado en el riego es necesario tomar en cuenta el caudal, puesto que el caudal es la variación del volumen con respecto al tiempo, con lo cual se calcula el volumen como:

$$Q = \frac{\Delta V}{\Delta t} \quad (3)$$

$$V = V_0 + Q * \Delta t$$

Desarrollando el respectivo programa el volumen de agua consumido se presenta en la figura N°5

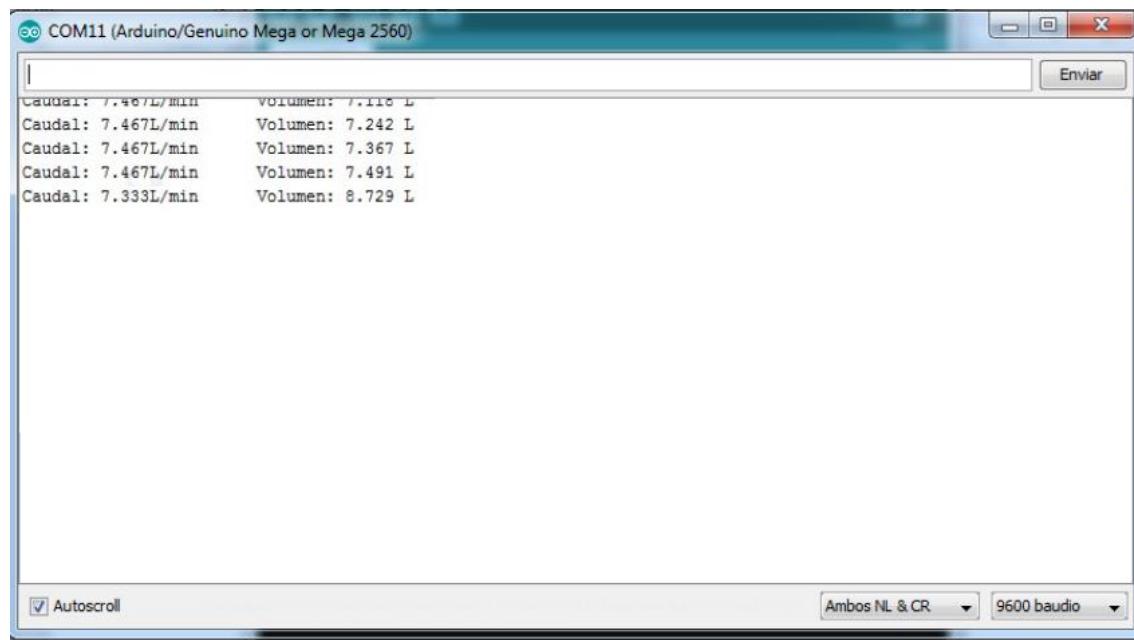


Figura N°5: Medición de caudal y volumen

Una vez en funcionamiento el sistema se procede a realizar dos mediciones, una medición se la realiza con el programa del sistema de riego exclusivamente de 10 min sin tener en cuenta las condiciones ambientales y la otra medición se realiza con el programa del sistema de riego según la detección de condiciones ambientales; obteniéndose los resultados de la tabla N°3.

Tabla N°3. Comparación de consumo de agua

Consumo de agua sin tener en cuenta las condiciones ambientales	Consumo de agua con sistema de riego según la detección de condiciones ambientales
70.467 L en 10 minutos	44.23 L

### 3.2 Discusión

El sistema de riego presentado es factible a realizarlo ya que el presupuesto requerido es mínimo comparado con otros sistemas de riego del mercado, sin embargo, se podría reducir aún más su costo adquiriendo sus partes al por mayor.

El consumo de agua con el sistema de riego exclusivamente de 10 minutos sin tener en cuenta las condiciones ambientales es de 70,467 L a comparación del consumo de agua con sistema de riego según la detección de condiciones ambientales se ahora un aproximado de 26,237 Litros de agua.

Se determina de manera teórica y experimental el factor de conversión necesario para calcular el consumo de agua notando que difiere del presentado por el fabricante por defecto siendo este de  $k=7,11125$ .

El factor económico limita la tecnificación tecnológica, la escasa eficiencia en el uso del agua de riego, es generada por fallas en la construcción de sistemas de riego, operación, mantenimiento y aplicación deficiente del agua en los cultivos, especialmente en épocas críticas, lo que genera conflictos en sus usos. No se llega al verdadero potencial de uso del suelo y del agua.

## **4. Conclusiones y Recomendaciones**

### **4.1 Conclusiones**

- Se desarrolló un sistema de riego para registrar mediante sensores condiciones ambientales para determinar la factibilidad de riego y control del mismo.
- Se diseñó una aplicación para dispositivos Android que permite monitorear el sistema de riego con ejecución automática y la implementación de un control manual.
- Con recursos de bajo costo se ha implementado el sistema de riego en un pequeño jardín con variadas clases de plantas se aprecia lo relativamente fácil que resulta el regadío ya que solo se lo debe conectar y se monitorea en la aplicación de Android, además si se lo aplica en sembríos dependiendo del cultivo que se quiera regar se deberán adaptar los criterios de riego.
- El consumo de agua en un intervalo de tiempo de 10 minutos sin tener un control fue de 70,467 L, a comparación del consumo de agua con un sistema de riego que detecta las condiciones ambientales del medio, empleando para el riego 44.23 L; se ahorra 26,237 Litros de agua.

### **4.2 Recomendaciones**

- El sistema de riego se podrá mejorar implementando un módulo GSM para controlar de forma remota al sistema, además para implementarlo en el sector agrícola es imprescindible modificar sus variables de control ya que el riego cambia según el tipo de cultivo, su etapa de desarrollo, la estación del año, entre otros factores.
- Ampliar la investigación con un estudio de mercado.
- Implementar mayor número de sensores y software para monitoreo, control y automatización del sistema de riego.

## Bibliografía

1. Arango, R. C., Holguín, D. Z., & Gutiérrez, R. M. (s.f.). *A systems-engineering approach for virtual/real analysis and validation of an automated greenhouse irrigation system*. Obtenido de <https://link.springer.com/article/10.1007/s12008-014-0243-2>
2. Benavides, K. R. (2012). App Inventor. Obtenido de <http://www.kramirez.net/Robotica/Material/Presentaciones/AppInventor.pdf>
3. BOYLESTAD, R., & NASHELSKY, L. (2009). Electrónica:teoría de circuitos y dispositivos electrónicos. México: PEARSON EDUCACIÓN.
4. Cahuana, C. (2016). Implementación de un Sistema de Riego Automático y Manual para Optimización de recursos con Adquisición de datos de Sensor de Humedad en Computador. Obtenido de <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/31970>
5. Calero Bravo, V. C., & Muñoz Arcentales, J. A. (2014). Diseño e implementación de un sistema de riego inteligente basado en sensores y módulos de radiofrecuencia para transmisión y sistema de control y módulos de radiofrecuencia para transmisión y sistema de control. Obtenido de <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/25271>
6. Carvallo, J., & Vargas, R. (2003). Válvulas de Solenoide. Obtenido de [http://dataoteca.unad.edu.co/contenidos/299013/Valvulas\\_Solenoide.pdf](http://dataoteca.unad.edu.co/contenidos/299013/Valvulas_Solenoide.pdf)
7. FERNANDO, Reyes Cortés; JAIME, Cid Monjaraz. (2015). Arduino, Aplicaciones en robótica, mecatrónica e ingeniería. Mexico: Alfaomega.
8. Latacunga, V. (03 de Enero de 2016). Latacunga. (Vive Latacunga) Recuperado el 25 de Julio de 2016, de <http://www.vivelatacunga.com/info-basica/>
9. Mechatronics, N. (s.f.). <http://www.naylampmechatronics.com>. Obtenido de <http://www.naylampmechatronics.com/valvulas/314-valvula-solenoide-12-12v.html>
10. N. S., & H. B. (2015). Low Power Cost Effective Automatic Irrigation System. Obtenido de <http://www.indjst.org/index.php/indjst/article/view/79973>
11. N., & S. S. (2015). *Smart drip irrigation system using raspberry pi and arduino*. Obtenido de <http://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7148526>
12. National Instrumen . (s.f.). National Instrumen Multisim. Obtenido de <http://www.ni.com/multisim/whatis/esa/>
13. Perez, B. Q., J. F., L. C., A. S., G. S., J. V., & A. W. (s.f.). Automation of Agricultural Irrigation System with Open Source. Obtenido de [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-55128-4\\_36](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-55128-4_36)
14. R. E. (2009). Guia de usuario de arduino. Córdoba. Obtenido de [http://electroship.com/documentos/Arduino\\_user\\_manual\\_es.pdf](http://electroship.com/documentos/Arduino_user_manual_es.pdf)
15. Ramírez, S. (6 de Septiembre de 2015). La agricultura abarca el 59% de la economía de Cotopaxi. El Comercio, pág. 1.
16. sparkfun. (s.f.). sparkfun. Obtenido de [https://www.sparkfun.com/products/13322?\\_ga=1.260117259.709620008.1488071551](https://www.sparkfun.com/products/13322?_ga=1.260117259.709620008.1488071551)
17. V. S. (14 de Noviembre de 2015). ECUADOR CONSUME MÁS AGUA EN LA REGIÓN. Obtenido de <http://especiales.elcomercio.com/planeta-ideas/planeta/noviembre-14-del-2015/ecuador-consume-mas-agua-en-la-region>
18. Zapatta, A., & Gasselin, P. (2005). El riego en el Ecuador: Problemática, debate y políticas. Quito, Ecuador. Obtenido de <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=FR2014012679>

# **USO DE BABA DE CACAO PARA PRODUCIR BIOCOMBUSTIBLE Y ANÁLISIS DE SUS CARACTERÍSTICAS PARA APLICARLO EN MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA**

## **USE OF COCOA BABA TO PRODUCE BIOFUEL AND ANALYSIS OF ITS CHARACTERISTICS TO APPLY IT IN INTERNAL COMBUSTION ENGINES**

**Luis Xavier Orbea Hinojosa<sup>1a\*</sup>, Arturo Falconí Borja<sup>1b</sup>, José Toapaxi Casanoba<sup>1c</sup>, Carlos Orbea Hinojosa<sup>2d</sup>**

<sup>1</sup>Universidad Tecnológica Equinoccial

<sup>2</sup> Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE

<sup>a\*</sup>[luis.orbea@ute.edu.ec](mailto:luis.orbea@ute.edu.ec), <sup>b</sup>[manuel.falconi@ute.edu.ec](mailto:manuel.falconi@ute.edu.ec), <sup>c</sup>[ctaj-7@hotmail.com](mailto:ctaj-7@hotmail.com),  
<sup>d</sup>[cforbea@espe.edu.ec](mailto:cforbea@espe.edu.ec).

### **Resumen:**

Las energías renovables tienen un papel fundamental en el cumplimiento de los objetivos 20/20/20 para 2020, que consisten en disminuir un 20% las emisiones de gases de efecto invernadero, mejorar en un 20% la eficiencia energética y conseguir que un 20% de la energía provenga de fuentes renovables" Cabello (2012). La provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas tiene 745 productores de cacao, 1440 hectáreas de cultivo de cacao nacional, 1577 hectáreas de cultivo de cacao CCN – 51. Esta producción es indicativo de que se genera gran cantidad de desechos, que en la mayor cantidad se queda en el mismo terreno, esterilizando el suelo por su alto contenido de ácidos y que en muy pocos casos lo utilizan para producir herbicidas, puesto que tiene la propiedad al fermentarse de ser una sustancia ácida, por esta razón se podrá hacer estudio con el objetivo de producir un biocombustible a base de la baba del cacao gracias a sus características biológicas y químicas.

**Palabras clave:** biocombustible; mucilago de cacao; etanol.

### **Abstract:**

Renewable energies play a key role in meeting the 20/20/20 targets for 2020, which are to reduce greenhouse gas emissions by 20%, improve energy efficiency by 20% and achieve a 20% % of energy comes from renewable sources "Cabello (2012). The province of Santo Domingo has 745 cocoa producers, 1440 hectares of national cocoa cultivation, and 1,577 hectares of CCN - 51 cocoa cultivation. This production is indicative of a large amount of waste being generated, which in the largest amount remains in the same field, sterilizing the soil because of its high content of acids and in very few cases use it to produce herbicides, since it has the property when fermenting itself from being an acidic substance, for this reason can be studied with the objective of producing a biofuel based on cocoa baba thanks to its biological and chemical characteristics.

**Keywords:** biofuel; cocoa mucilage; ethanol.

## **1. Introducción**

El presente proyecto consiste en la obtención de biocombustible a partir de la baba de cacao, y posteriormente realizar estudios para conocer las características del biocombustible, esto se realizará mediante procesos químicos, se fermentará con varios métodos, con esas muestras fermentadas se realizará pruebas y ensayos para determinar los porcentajes obtenidos de metanol, y etanol, al final del proceso se realizará un examen de cadmio, debido a que en la baba de cacao puede haber altas concentraciones de este elemento, de esta manera conseguiremos las características del biocombustible.

Las propiedades del biocombustible obtenido se evaluarán considerando los parámetros estándares de calidad del combustible y se caracterizará el mismo. Los rangos de calidad y caracterización del biocombustible garantizarán su uso en vehículos con motor de combustión interna a gasolina, y se garantiza minimizar las emisiones de gases contaminantes.

Posteriormente realizaremos una evaluación del desempeño mecánico en motores de combustión interna (M.C.I), para determinar las capacidades de potencia, torque, y consumo de combustible, estos estudios se realizarán en varios equipos de pruebas, como son dinamómetro de motores y de chasis, además se determinará las capacidades de funcionamiento del vehículo en ruta, se evaluará las capacidades de aceleración, el rendimiento de potencia bajo condiciones reales de manejo y pruebas de ruta extremas.

Este proyecto se basará en el objetivo de proponer una alternativa sustentable para el mejor aprovechamiento de la baba del cacao, así como también de establecer el proceso de fermentación de biocombustible a partir de la baba de cacao e identificar el uso del mismo en vehículos con M.C.I.

## **2. Metodología**

La metodología para la presente investigación es del tipo aplicada, debido a los procesos para la obtención del biocombustible. La obtención del biocombustible consiste en recolectar el mucilago del producto, el cual va a ser sometido a destilación simple, algo similar a la destilación de la madera, esto permitirá volatilizar y colectar dichos componentes volátiles por diferencia de temperaturas. Las temperaturas serán desde 66 -78°C para la obtención de etanol, esto con el fin que el alcohol obtenido sea etanol puro y no una mezcla de alcoholes.

El Programa de Capacitación en la Cadena del Cacao (2005) menciona que, la fase inicial consiste en la transformación de los azúcares del mucílago de cacao en alcohol etílico, que se lleva a cabo por las levaduras, pertenecientes a los géneros Cándida, Dedaryomyces, Hansenulaa, Kloeckera, Pichia, Rhodotorula, Saccharomyces y Torulopsis. Cuando el medio es rico en azúcar, su transformación en alcohol hace que, llegada una cierta concentración, las levaduras no puedan sobrevivir.

Según Gaibor, Aldás & Alvarado (1992), el tiempo que tarda en fermentarse la baba de cacao, está gobernado por la cantidad de pulpa presente en la semilla, la acidez baja del cacao, entre otras.

Para el proceso de fermentación y diseño experimental, nos basaremos en los factores:

**a. Factor A: Métodos de fermentación.**

Acero inoxidable

**b. Factor B: Adición de levaduras.**

Con levadura

**c.** Factor C: Tiempo de fermentación.

(3 días)

**d.** Factor D: Temperatura.

Hervido

El procedimiento a seguir para obtener el biocombustible es:

**a.** Extraer el mucilago del cacao del grano para luego ser fermentado: El mucílago recolectado será obtenido del mismo día en el que el cacao es cosechado, esto para poder tener un mejor control en el proceso de fermentación debido a que el cacao es un producto que se fermenta con gran facilidad en cortos períodos. Una vez llegado el cacao, se empezará la recolección del mucílago del cacao para poder obtener la mayor cantidad de la muestra.

**b.** Extraer el líquido del cacao para luego ser fermentado: Una vez obtenido el mucílago del cacao se procederá a llevarlo al lugar en donde será fermentado. En la investigación se realizarán ensayos desde el 1 día de fermentado hasta el día 10, esto con el fin de saber cuál día es más óptimo para la obtención de un mayor grado de metanol en el líquido de cacao. Las muestras se harán con un volumen de 84 litros de líquido por muestra para pruebas de 1-10 días, se realizará con 6 parámetros de fermentación. (factor A, B, C, D), dando un total de 504 litros. Obteniendo como resultado 1 litro diario de alcohol aproximadamente al 100%.

**c.** Una vez extraída la materia prima Se realizará un examen de cadmio para ver la concentración en el líquido obtenido. Fermentarla de diferentes maneras. Se realizarán varias pruebas de fermentación en plástico y acero inoxidable.

**d.** Usar diferentes métodos de fermentación con hongos, sin hongos, etc.: Se realizará este procedimiento ya que en el proceso de fermentación el uso o no uso de levaduras hacen que se pueda obtener más o menos cantidades de metanol.

**e.** Durante diferentes días. En el proceso normal del cacao las azúcares se convierten con gran facilidad en alcoholes que luego convertirse en ácido acético.

Luego de obtener el biocombustible se observará la formación de metanol y etanol, esto se realizará con muestras a ensayos de laboratorio en un cromatógrafo de gases. Las diferencias entre promedios serán determinadas con la prueba de Tukey con “P < 0,05”.

**f.** Una vez fermentado la materia prima, se realizará la destilación, se obtendrá el alcohol el cual será llevado al laboratorio de la EPN para separar los diferentes tipos de alcoholes que se encuentran en la muestra. Esta separación se hará por medio de cromatografía de gases.

**g.** Se realizará un conteo de cuanta materia prima hay inicialmente. Cuanto porcentaje de alcohol sale, cuanto hace parte de metanol y cuando de los otros alcoholes.

**h.** En el Ecuador actualmente existe en el mercado el uso de mezclas con el 10% de biocombustible. Las pruebas que posteriormente se realizarán inicialmente son con el 5% de biocombustible, luego con el 10%, hasta llegar al 15% de aporte de biocombustible en un MCI, con 3 repeticiones en cada mezcla (RI, RII, RIII), de esta manera se tomarán los datos necesarios para evidenciar la mezcla adecuada para el funcionamiento óptimo del MCI.

### 3. Resultados y Discusión

Los resultados del proyecto son:

- Utilización sustentable de un desecho.
- Reducción del consumo de combustibles fósiles.
- Minimización de emisiones gaseosas contaminantes en un 5 a 8%.
- Se contará con un Método eficiente para obtener biocombustible a partir de la baba de cacao que permita utilizarse en un vehículo.

Tabla 1: Resultados fisicoquímicos del biocombustible

Parámetros Analizados	Resultado	Unidad	Métodos analizados
Acidez Total	396,6	Mg/100ml de alcohol absoluto	INEN 343
Grado Alcohólico a 20°C	36,6	% v/v	INEN 340
Grado Alcohólico a 15°C	34,7	% v/v	INEN 340
Furfural	2,23	Mg/100ml de alcohol absoluto	INEN 2014 C.G
Metanol	456,5	Mg/100ml de alcohol absoluto	PEE-LASA-FQ-1063 INEN 2014 C.G
Alcoholes Superiores	104,7	Mg/100ml de alcohol absoluto	INEN 2014 C.G
Esteres	17,77	Mg/100ml de alcohol absoluto	INEN 2014 C.G
Aldehídos	0,44	Mg/100ml de alcohol absoluto	INEN 2014 C.G

Según los resultados fisicoquímicos las cantidad de metanol es la adecuada para ser un biocombustible siendo de 456,5 Mg en comparación del biocombustible producido por la caña de azúcar que es de 450 Mg es decir que es apto para ser un biocombustible eficiente.

El biocombustible obtenido eficiente y sustentable para el uso industrial y comercial es enfocado en el uso de combustible vehicular con el fin de la reducción del 5% de los gases invernadero que son la causa principal del calentamiento global.

Por otra parte, en nuestro país ya se usa un biocombustible mezclado con gasolina esta mezcla consiste en 95% de gasolina extra y un 5% de biocombustible que como materia prima es de la caña de azúcar, también cabe mencionar que este biocombustible está funcionando con éxito y siendo responsable con el medio ambiente y la sociedad.

Haremos que nuestro biocombustible sea útil en varias proporciones de mezclado que son 3 porcentajes RI-5%, RII-10%, RII-15% es decir que en RI el 5% será biocombustible y el 95% de gasolina extra RII 10% de biocombustible y 90 % de gasolina extra y RII 15% de biocombustible y el 85% de gasolina extra, esperando las mejores condiciones.

#### 4. Conclusiones y Recomendaciones

Económicamente resultó muy viable ya que mediante la investigación y los resultados esperados se economizará en combustible, los desechos del cacao es materia prima que actualmente no está bien utilizada y en mucho de los casos no se utiliza y se rechaza, en los vehículos resultará más beneficioso, ya que la mezcla entre biodiesel y diésel convencional es más económica.

De igual manera socialmente aportó la presente investigación hacia los productores del cacao, ya que recibirán ingresos por el desecho del cacao que actualmente no es utilizado como recurso de comercialización, eso es importante para los productores y sus familias.

Con el incentivo a la producción de biocombustibles por parte del gobierno ecuatoriano, sin duda existen muchos beneficios importantes como la generación de empleo rural que esta actividad, el desarrollo sostenible regional, el mejoramiento de las emisiones contaminantes en la atmósfera y la disminución de la dependencia del petróleo, y el aumento de la diversificación de compuestos energéticos.

## Bibliografía

A. Márquez., E. Salazar (2015). *ANÁLISIS DE LOS NIVELES DE DESPERDICIO DEL MUCÍLAGO DE CACAO Y SU APROVECHAMIENTO COMO ALTERNATIVA DE BIOCOMBUSTIBL*. Universidad Estatal de Milagro. Ecuador

Alva, M. C., Luna, V. M., Martínez, E. C., y Alva, A. F. (2014, Marzo). *Producción de biodiésel a partir de microalgas y una cianobacteria cultivada en diferentes calidades de agua*. *AGROCIENCIA*, 48(3), 1-204. Recuperado de <http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v48n3/v48n3a3.pdf>

Dacey, J. (3 de Febrero de 2011). *Estudio de algas da impulso a biocombustibles marinos*. SciDev.Net. Recuperado el 20 de Septiembre de 2016, de <http://www.scidev.net/america-latina/biotecnologia/noticias/estudio-de-algas-da-impulso-a-biocombustibles-marinos-.html>

F. Cabello (2012) *BIOCARBURANTES, PRESENTE Y FUTURO Claves de la sostenibilidad*. Universidad de Sevilla. España

Fernández, L. C., Montoya, J. M., Oropeza, A. M., y Badillo, J. A. (2012, Diciembre 3). Producción de biocombustibles a partir de microalgas. *Revista de Sociedad, Cultura y Desarrollo Sustentable*, 1-115. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/461/46125177011.pdf>

Fritzsche, U. R., y Iriarte, L. (2015, Junio). Bioenergy & technology from a sustainable perspective: experience from Europe and global context. *European Commission Joint Research Centre (EC JRC)*, 1-190. Recuperado de [https://www.researchgate.net/profile/Uwe\\_Fritzsche/publication/278453012\\_Bioenergy\\_technology\\_from\\_a\\_sustainable\\_perspective\\_experience\\_from\\_Europe\\_and\\_global\\_context/links/5581255f08ae607ddc323ba4.pdf#page=127](https://www.researchgate.net/profile/Uwe_Fritzsche/publication/278453012_Bioenergy_technology_from_a_sustainable_perspective_experience_from_Europe_and_global_context/links/5581255f08ae607ddc323ba4.pdf#page=127)

Gómez, J. M. (2016, Abril). Análisis de la variación de la eficiencia en la producción de biocombustibles en América Latina. *ScienceDirect*, 32(139). Recuperado de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0123592316300018>

Grupo Spurrier. (2013). *Biocombustibles*. Recuperado de PRO ECUADOR página web: <http://www.proecuador.gob.ec/wp-content/uploads/2015/06/Perfiles-de-Inversiones-Promocion-de-Inversiones/Perfiles-de-Inversion/Biocombustibles.pdf>

INEN. (2013, Agosto 8). NTE INEN 2202:2013, *Gestión ambiental, aire, vehículos automotores, límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres de diésel* [Pdf]. Recuperado de <http://normaspdf.inen.gob.ec/pdf/nte1/2202-1.pdf>

Olmedo, F. (8 de Octubre de 2009). *Biodiésel de Algas. Producción de biodiésel utilizando algas.* BIODISOL. Recuperado el 20 de Septiembre de 2016, de <http://www.biodesol.com/biocombustibles/biodiesel-de-algas-proceso-de-produccion-de-biodiesel-utilizando-algas-energias-renovables-biocombustibles-cultivos-energeticos/>

Rojano., B. A. (3 de Abril de 2013). Efecto de la fermentación sobre la actividad antioxidante de diferentes clones de cacao colombiano. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 391 - 404. Recuperado de <http://scielo.sld.cu/pdf/pla/v18n3/pla07313.pdf>

# **PROPUESTA DE DISEÑO DE UN SISTEMA CENTRALIZADO DE GAS LICUADO DE PETRÓLEO PARA EL LABORATORIO DE PETROQUÍMICA DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE, EXTENSIÓN LATACUNGA**

## ***DESIGN PROPOSAL OF A CENTRALIZED SYSTEM OF LIQUEFIED PETROLEUM GAS FOR THE PETROCHEMICAL LABORATORY OF THE UNIVERSITY OF THE FORCED FORCES ESPE, LATACUNGA EXTENSION***

**Luis E. Ruiz Flores<sup>1a\*</sup>, Hector Laurencio Alfonso<sup>2b</sup>, Alexis Cordovés García<sup>3c</sup>**

<sup>1</sup>IMETAL S.A., Santo Domingo, Ecuador

<sup>2</sup>Universidad Técnica de Cotopaxi, Ecuador

<sup>3</sup>Universidad Tecnológica Equinoccial, Santo Domingo, Ecuador

[a.luiseduruiz@yahoo.com](mailto:a.luiseduruiz@yahoo.com), [b.hlaurencio5680@gmail.com](mailto:b.hlaurencio5680@gmail.com), [c.alexis.cordoves@ute.edu.ec](mailto:c.alexis.cordoves@ute.edu.ec)

### **Resumen:**

Los sistemas de suministro de Gas Licuado de Petróleo (GLP) tienen gran aplicabilidad a nivel residencial, comercial e industrial. En Ecuador las instalaciones de GLP deben satisfacer en su totalidad los requerimientos constructivos y de operación establecidos en la norma NTE INEN 2 260 que establece los requisitos técnicos y las medidas de seguridad mínimas que deben cumplirse al diseñar, construir, ampliar, reformar, revisar y operar las instalaciones. La presente investigación ha estado dirigida a lograr una solución constructiva de la instalación de GLP tipo estacionaria (permanente) para el laboratorio de Petroquímica de la ESPE, que sustituye la anterior instalación utilizada con fines docentes y de investigación en dicha Institución, la que presentaba problemas de operación. Se hace un análisis de las características de la anterior instalación, sus deficiencias y los requerimientos que debe satisfacer la nueva instalación. Como resultado se presentan los cálculos de diseño según la demanda actual y futura para un período de cinco años como parte de la estrategia de desarrollo y crecimiento de la Institución. Se determinó el material y dimensiones de tuberías, tipos y dimensiones de accesorios según su designación, y los valores de gasto y presión requeridos en cada zona para satisfacer los requerimientos de presión y caudal en cada punto de entrega. Se presentan los planos constructivos y de simulación de los parámetros del fluido en cada punto característico de la instalación.

**Palabras clave:** Gas Licuado del Petróleo (GLP), Diseño constructivo, Instalación estacionaria de GLP, Simulación del fluido GLP.

### **Abstract:**

The systems of supply of Liquefied Petroleum Gas (LPG) have great applicability at residential, commercial and industrial level. In Ecuador, LPG installations must fully satisfy the construction and operating requirements established in the NTE INEN 2 260 standard, which establishes the technical requirements and minimum safety measures to be complied with when designing, constructing, expanding, operate the facilities. The present investigation has been directed to a constructive solution of the installation of stationary (permanent) type LPG for the laboratory of Petrochemical of the ESPE Latacunga Extension, which replaces the previous installation used for teaching and research purposes in this Institution, which presented problems Operation. An analysis is made of the characteristics of the previous installation, its deficiencies and the

requirements that the new installation must satisfy. As a result, the design calculations are presented according to current and future demand for a period of five years as part of the Institution's development and growth strategy. The material and dimensions of pipes, types and dimensions of fittings were determined according to their designation, and the values of flow and pressure required in each zone to satisfy the requirements of pressure and flow at each point of delivery. The construction and simulation plans of the fluid parameters are presented at each characteristic point of the installation.

**Keywords:** Liquefied petroleum gas (LPG), Construction design, LPG stationary installation, LPG fluid simulation

## 1. Introducción

El gas licuado de petróleo (GLP) es una sustancia que se almacena en recipientes bajo presión, al contacto con el calor de la atmósfera se vuelve gaseoso y altamente inflamable (Cepeda Morales, C. A., 2016). Por esta razón se hace indispensable que las instalaciones que transporten gas licuado de petróleo, se diseñen y construyan asegurando el cumplimiento de estrictas normas y parámetros de seguridad indicados en la norma (NTE INEN 2 260-2010-01, 2010).

Como resultado del crecimiento de la matrícula de los estudiantes en la Escuela Superior del Ejército (ESPE) extensión Latacunga, que conduce al incremento de la cantidad de puestos en el Laboratorio de Petroquímica destinado a actividades docentes y de investigación, y para dar solución a los problemas de operación y de inseguridad que ofrecía el anterior sistema de GLP, se acometió un proyecto para la construcción del laboratorio en la nueva sede de la Universidad que abarcó la parte constructiva de las diferentes redes de suministro de oxígeno, aire acondicionado y las de gas licuado del petróleo.

La investigación abarca la determinación de la demanda en los puntos de entrega de GLP en el laboratorio, con la finalidad de determinar las dimensiones y ubicación del tanque de almacenamiento. Además, se definió la trayectoria y se seleccionó el material adecuado para las tuberías y las condiciones del fluido que permitió realizar el cálculo de presiones, diámetros y velocidades del GLP en las tuberías y se seleccionaron los accesorios, reguladores y contadores requerido para la instalación.

## 2. Metodología

La nueva propuesta de diseño del sistema de GLP deberá satisfacer los requerimientos impuestos por la demanda actual y futura del laboratorio y además, dar solución a las deficiencias que presentaba la anterior red de suministro de gas licuado. Entre los problemas principales de la instalación original se encuentran:

- La red de gas licuado no respondía a la demanda actual del laboratorio, como resultado del crecimiento de la matrícula de estudiantes
- Abastecimiento irregular e interrumpido al laboratorio
- El suministro de gas licuado se realizaba a partir de cilindros portátiles con poca capacidad de almacenamiento (15 kg)
- La ubicación de los cilindros no ofrecía la seguridad requerida, con peligro de contaminación ambiental e intoxicación a los usuarios por no contar con un sistema de ventilación mecánica que permitiera evacuar los gases hacia el exterior del laboratorio.

Para dar solución a esta problemática se decidió realizar el cambio del sistema de alimentación mediante cilindros portátiles, a un sistema estacionario (permanente) y se

fijaron como requerimientos para el nuevo sistema los siguientes:

- Instalación del sistema estacionario en el exterior del edificio, preferiblemente en un punto elevado (azotea)
- Llenado con facilidad de los tanques estacionarios mediante carros cisternas.
- Abasto en los puntos de entrega mediante un sistema centralizado que abarca los dos pisos de la construcción civil del laboratorio.
- Sistema de regulación de presión en dos etapas.
- Satisfacer los requerimientos actuales y futuros, para un período de cinco años de explotación del laboratorio.
- Observar el cumplimiento de las normas técnicas vigentes para este tipo de instalación.

## **Procedimiento para el diseño de la nueva instalación de GLP**

Para realizar el diseño de la Instalación de GLP para el Laboratorio de Petroquímica de la ESPE sede Latacunga se aplicará el procedimiento siguiente:

1. Determinación de la demanda calorífica en cada puesto del laboratorio
2. Determinación del caudal nominal estimado de flujo másico
3. Cálculo del consumo nominal estimado
4. Cálculo de la capacidad total y volumen del tanque
5. Composición y distribución del sistema de redes de GLP para el laboratorio

### **2.1 Determinación de la demanda calorífica en el laboratorio**

Inicialmente se debe seleccionar el tipo de mechero que se utilizará, a partir del tipo de trabajo a realizar en los puestos del laboratorio. El mechero tipo Bunsen posee características idóneas, con un quemador que asegura una llama de base amplia y uniforme, adecuado para el calentamiento y esterilización, asegura una combustión completa y limpia, sin hollín ni residuos con buen poder calorífico (William B. Jensen, 2005). El mechero Bunsen seleccionado entrega 2.354,38 BTU/h (593,30 kcal/h). En adición a los mecheros se instalará en el Laboratorio una Caldera de 429.280 BTU/h (108.178,56 kcal/h)

### **2.2 Determinación del caudal nominal estimado de flujo másico**

Para la determinación del caudal nominal de flujo másico de GLP en la instalación se dividió el consumo en tres fuentes. La primera fuente es la de los mecheros ubicados en los puestos de trabajo de los laboratorios y se ha llamado demanda principal de los mecheros ( $D_p$ ), compuesta por 63 mecheros ubicados en los 6 laboratorios de la instalación, la segunda fuente la forman 11 mecheros que se ubican en cabinas y que constituyen la demanda secundaria ( $D_s$ ) y la tercera fuente de demanda es la caldera.

Para la fuente de demanda principal de los mecheros se definieron dos factores que la afectan: el factor de simultaneidad de laboratorios ( $fsl$ ), el que considera que no todos los laboratorios estarán ocupados al mismo tiempo y el factor de simultaneidad de puestos en un laboratorio ( $fsp$ ) el que considera que no todos los mecheros estarán encendidos al mismo tiempo en un laboratorio. Así, el factor de demanda principal de los mecheros ( $fdp$ ) se determina por la expresión siguiente:

$$fdp = fsl * fsp \quad (1)$$

Donde:

$f_{dp}$ : Factor de demanda en los laboratorios y puestos de trabajo

$f_{sl}$ : Factor de simultaneidad del uso de laboratorios

$f_{sp}$ : Factor de simultaneidad de puestos en un mismo laboratorio

Los valores de estos factores se determinaron a partir del análisis de la planificación docente de las asignaturas en las que se utilizó el laboratorio de Petroquímica durante los últimos tres años y según la proyección de utilización para los próximos cinco años, fijándose los valores de  $f_{sl} = 0.6$  y  $f_{sp} = 0.7$  para cada factor, lo que resultó un valor del factor de demanda de  $f_{dp} = 0.42$

Así, para determinar la demanda principal de los mecheros ( $D_p$ ) se deberá considerar el consumo de los 63 mecheros afectado por el factor de demanda  $f_{dp}$  correspondiente a este grupo y será:

$$\begin{aligned} D_p &= N_{pl} * D_u * f_{dp} \\ D_p &= 63 * 2.354,38 * 0,42 \\ D_p &= 62.296,89 \text{ BTU/h} = 15.698,82 \text{ KCal/h} \end{aligned} \quad (2)$$

Donde:

$D_p$ : Demanda principal en mecheros

$N_{pl}$ : Número de puestos de consumo en los laboratorios

$D_u$ : Demanda unitaria del puesto de consumo

Para determinar la demanda secundaria en mecheros ( $D_s$ ), se establece el factor de simultaneidad de puestos secundarios ( $f_{sps}$ ) que considera que no todos los mecheros ubicados en cabinas estarán encendidos al mismo tiempo. Se asigna el valor de ( $f_{sps}$ ) = 0,3 a partir del uso ocasional de los mecheros en cabinas.

Así, al considerar el consumo de los 11 mecheros que componen el segundo grupo queda definida la  $D_s$  de la manera siguiente:

$$\begin{aligned} D_s &= N_{ps} * D_u * f_{sps} \\ D_s &= 11 * 2354,38 * 0,3 \\ D_s &= 7.769,45 \text{ BTU/h} = 1.957,90 \text{ KCal/h} \end{aligned} \quad (3)$$

Donde:

$D_s$ : Demanda secundaria (kcal/h)

$N_{ps}$ : Número de puestos auxiliares

$f_{spa}$ : Factor de simultaneidad de puestos secundarios

Finalmente, la Potencia nominal  $P_n$  que deberá entregar el sistema para satisfacer la demanda en todos los puestos del Laboratorio más el consumo de la caldera se determinó por la expresión:

$$\begin{aligned} P_n &= D_p + D_s + D_c \\ P_n &= 15.698,82 + 1.957,90 + 108.178,56 \\ P_n &= 125.835,28 \text{ kcal/h} \end{aligned} \quad (4)$$

Donde:

$P_n$ : Potencia nominal requerida (kcal/h)

$D_c$ : Demanda de la caldera (kcal/h)

El caudal nominal estimado de flujo de GLP ( $Qn$ ) se determina al dividir la  $Pn$  entre el Poder Calorífico Superior para el GLP comercial:

$$Qn = \frac{Pn}{PCS} = \frac{125.835,28}{12.052} = 10,44 \text{ Kg/h} \quad (5)$$

Donde:

$Qn$ : Caudal nominal (Kg/h)

$Pn$ : Potencia nominal (kcal/h)

$PCS$ : Poder calorífico superior, para el propano comercial: 12.052 Kcal/Kg

$$Qv = \frac{Qn}{\rho} \quad (6)$$

$$Qv = \frac{10,44}{2} = 5,22 \text{ m}^3/\text{h}$$

Donde:

$Qv$ : Caudal volumétrico (Gasto) en estado gaseoso ( $\text{m}^3/\text{h}$ )

$\rho$ : Masa volumétrica (densidad) del GLP en estado gaseoso en condiciones de temperatura ambiente 10°C - (2 Kg/m<sup>3</sup>)

Se conoce que el gas licuado de petróleo en estado líquido con una mezcla propano 80% y butano 20%, tiene la capacidad de producir por cada litro en fase líquida, 262 litros de vapor.

El consumo de propano en estado líquido  $Qvl$  se determina de la manera siguiente:

$$Qvl = \frac{5220}{262} = 19,92 \text{ l/h} = 0.0199 \text{ m}^3/\text{h} \quad (7)$$

Donde:

$Qvl$ : Gasto de propano en estado líquido ( $\text{m}^3/\text{h}$ )

Relación: 1 litro de propano líquido = 262 litros de vapor de propano

### 2.3 Cálculo del consumo nominal de GLP

El consumo nominal de GLP de la instalación se determina al multiplicar el  $Qn$  por la cantidad de horas que se prevé funcionen los laboratorios, puestos auxiliares y la caldera. Se ha considerado que todas las fuentes de consumo funcionen en jornadas de 5 horas diarias. Se deberá estimar también la autonomía del sistema centralizados de GLP. Estos sistemas se diseñan con una autonomía promedio de al menos una semana, determinados por motivos de rentabilidad del servicio de recarga. En el presente proyecto se asumirá una autonomía de la instalación de 6 días hábiles. Así, el consumo nominal de GLP del laboratorio para 6 días hábiles, se determina por la expresión siguiente:

$$Cn = Qn * To * A \quad (8)$$

$$Cn = 10,44 * 5 * 6$$

$$Cn = 313,2 \text{ kg}$$

Donde:

$Cn$ : Consumo nominal de GLP en estado gaseoso (kg)

$To$ : Tiempo de operación de la instalación diariamente, incluyendo la caldera (h)

$A$ : Autonomía de servicio del laboratorio (6 días)

El consumo nominal equivalente de combustible en estado gaseoso en unidades volumétricas es:

$$Cvg = \frac{Cn}{\rho} \quad (9)$$

$$Cvg = \frac{313,2}{2} = 156,6 \text{ m}^3$$

El valor equivalente del consumo volumétrico de combustible  $Cvg$  en estado líquido es:

$$Cvl = \frac{156600}{262} = 597,71 \text{ l} = 0.597 \text{ m}^3 \quad (10)$$

## 2.4 Cálculo de la capacidad total y volumen del tanque

El tanque por norma de seguridad solo debe llenarse hasta el 85% de su capacidad nominal, y la mínima cantidad de GLP en el tanque deberá ser de un 20% de su capacidad nominal (Panchi, A., David, B., León, T., & Javier, W., 2016). Así, del contenido de GLP, el 65% constituye precisamente la cantidad útil de GLP, que deberá corresponder al valor de la Potencia nominal  $Pn$  solicitada al sistema y ser aprovechada en su totalidad para asegurar una vaporización eficiente. Elegir un nivel mínimo de GLP en el tanque superior al 20% atenta contra la autonomía del sistema.

El diseño y construcción del tanque debe cumplir con las especificaciones de la norma (NTE INEN 2 261, 2010) y tener la certificación de conformidad con la norma. Con estas premisas, a partir del valor requerido de consumo volumétrico de combustible  $Cvl$  y conociendo que solo se aprovechará el 65 % de su capacidad nominal, se tiene:

$$\begin{aligned} CT &= Cvl + (k * Cvl) \\ CT &= 0.597 + (0.35 * 0.597) \\ CT &= 0,806 \text{ m}^3 \end{aligned} \quad (11)$$

Donde:

$CT$ : Capacidad total requerida del tanque ( $\text{m}^3$ )

$Cvl$ : Consumo volumétrico de combustible GLP en estado líquido ( $\text{m}^3$ )

$k$ : Coeficiente que considera la parte del volumen del tanque no utilizable (35%)

### Selección del tanque:

Según el valor determinado de la capacidad total requerida del tanque  $CT$ , éste clasifica en la categoría AA (NTE INEN 2 260-2010-01, 2010), a la que pertenecen las instalaciones con una carga igual o inferior a  $1 \text{ m}^3$ . Se seleccionaron dos tanques de GLP con capacidad  $0,454 \text{ m}^3$  cada uno que aseguran un volumen de  $0,908 \text{ m}^3$  superior al volumen requerido  $CT = 0,806 \text{ m}^3$ .

El tanque tiene una presión de diseño de  $1,72 \text{ MPa}$  (249,46 psi) y una presión de prueba de  $2,2 \text{ MPa}$  (319,08 psi), de espesor  $5,2 \text{ mm}$ , diámetro  $0,7\text{m}$ , altura entre tapas de  $1.00\text{m}$ . Incluye material de soporte, válvula de llenado, válvula fase líquida, válvula de seguridad, nivel magnético, multiválvula y conexión a tierra.

## 2.5 Composición y distribución del sistema de redes de GLP para el laboratorio

El sistema de redes de GLP del laboratorio de Petroquímica lo conforman básicamente: La red de alimentación, para el llenado de los tanques de depósito, y las redes de servicio de media (5-20psi) y baja presión (1psi). A continuación se trata las consideraciones del diseño de ambas redes.

*Red de alimentación, para el llenado de los tanques.*

La edificación del Laboratorio de Petroquímica está construida en dos pisos, y es preciso conducir el GLP desde el camión cisterna al nivel del terreno, hasta los dos tanques ubicados en la azotea de la edificación. En la figura 1 se muestra una imagen de la trayectoria de dicha red desde la planta baja hasta la azotea, indicada por las saetas de color blanco.



Figura1: Imagen de la trayectoria de la red de alimentación para el llenado de los tanques

En la figura 2 se muestra una sección del plano de la azotea dibujado en AutoCAD en 2D, donde se aprecia la red de tubería de alimentación indicada en doble trazo de color naranja, desde la zona A a la B, de material hierro negro de  $1\frac{1}{4}$ ".

*Red de servicio de media y baja presión.*

En la misma figura 2 de observa una sección de la red de servicio de media presión, indicada con un solo trazo de color naranja, que se distribuye desde la zona B, donde están los tanques, hasta la zona C por donde penetra al interior de la instalación civil.

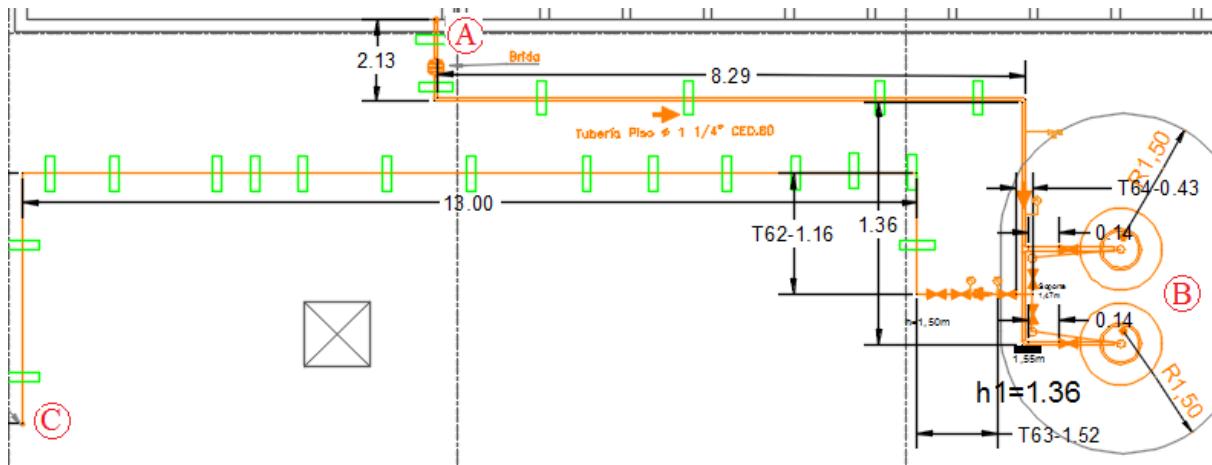


Figura 2: Plano en AutoCAD en 2D de la red de alimentación en la azotea

En la figura 3 en representación isométrica, se observa una vista de la red de servicio de mediana presión que sale de los tanques llevando el servicio hacia los puntos de entrega. El resultado mostrado en dicha figura fue obtenido al calcular la red con la ayuda del software de simulación “Pipe Flow Express v5.12”. Como se observa los dos tanques ubicados en la azotea se conectan a la red de servicio de mediana presión. En el tramo que une los nodos N6 y N7 se ubica la VRP de 1ra. Etapa, mediante la cual se regula la presión de 100-30 psi, al bajar verticalmente la altura de 1,5 m entre los nodos N7 y N8, se alcanza la altura de la azotea y se despliega un tramo horizontal de longitud 13 m hasta el nodo N9, luego se gira 90° a la izquierda para bajar posteriormente desde el nodo N10 hasta el 2do. piso donde se deriva la red, llevándose el servicio a los laboratorios L5: análisis químico-instrumental y L6: investigaciones así como, a los puestos auxiliares del piso. El tramo que viene desde la azotea continua hasta el 1er. Piso para distribuir el servicio a los restantes laboratorios y puestos auxiliares del piso.

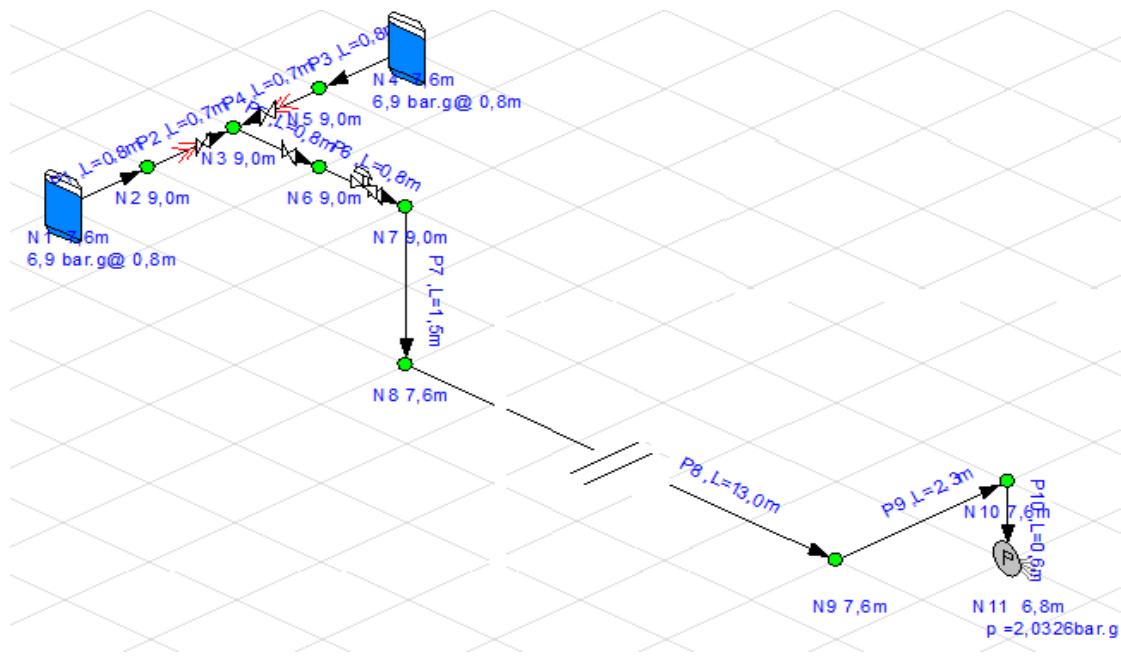


Figura 3: Sección de la red de servicio de mediana presión al 2do. piso.

Un proceso similar se siguió para el trazado y cálculo del resto de la red de servicio de media presión y las de baja presión cercanas a los puntos de servicio. En las Figuras 4 y 5 que presentan estas redes en los pisos 2do. y 1ro. respectivamente.

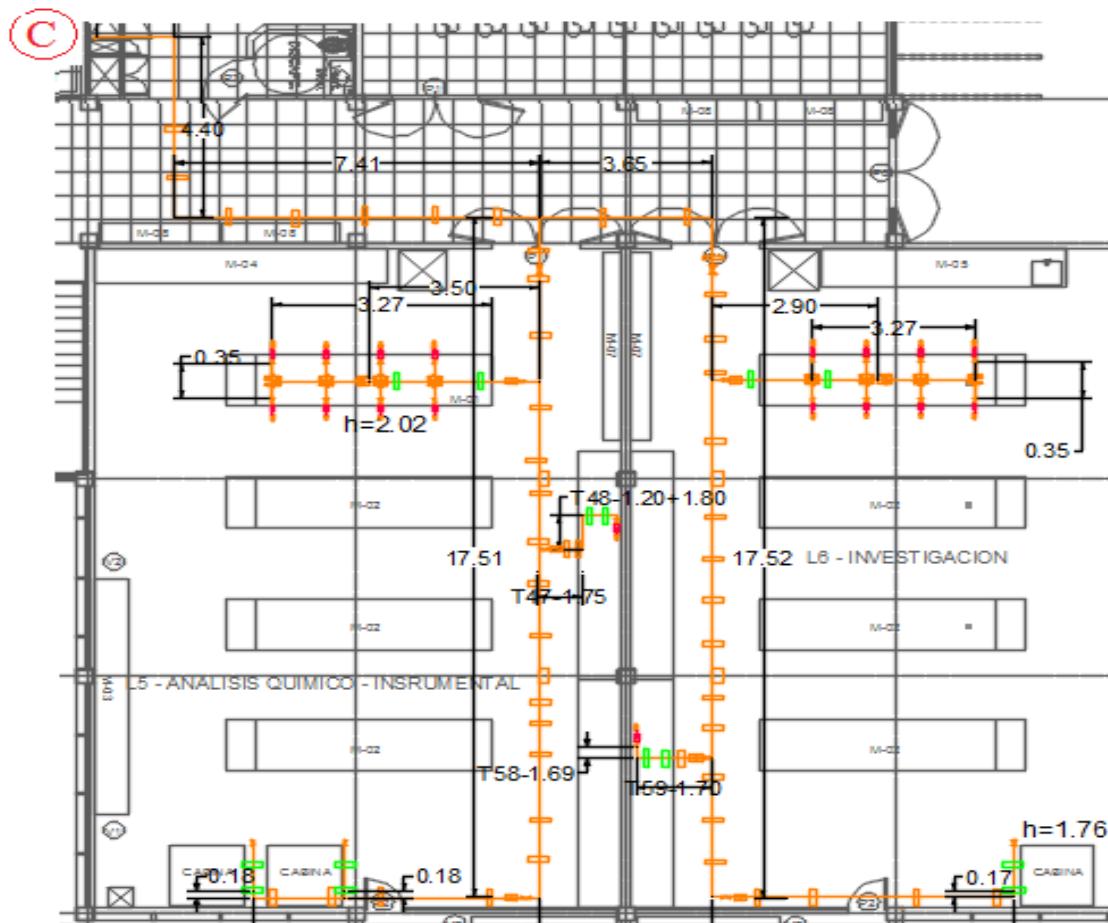


Figura 4: Representación de la red de servicio de mediana y baja presión del 2do. piso

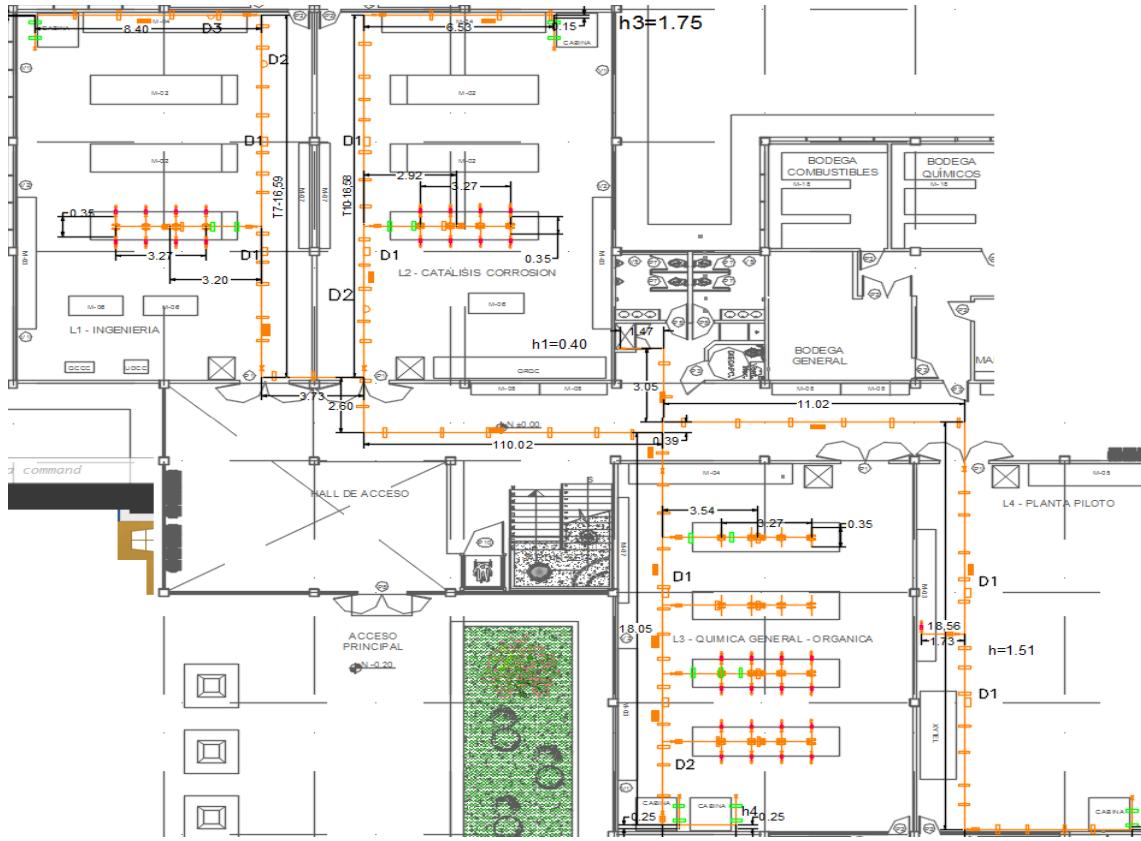


Figura 5: Representación de la red de servicio de mediana y baja presión del 1er. piso

### 3. Resultados y Discusión

La tabla 1 recoge el resultado de los cálculos de diámetros y longitudes de tuberías, así como el listado de los accesorios utilizados en todo el sistema. Las tuberías y accesorios utilizados aseguran el nivel de presiones y carga calorífica indispensable para un servicio eficiente del sistema.

La Válvula de Regulación de Presión (VRP) de la Primera Etapa, reduce la presión de salida de los tanques de 100 a 30 psi. Asegurando la velocidad de 1.198 m/s a la entrada del servicio a los pisos, la velocidad límite para este tipo de servicio es de 15 m/s, lo que asegura un régimen laminar durante la circulación del fluido de GLP.

La Válvula de Regulación de Presión (VRP) de la Segunda Etapa, reduce la presión en puntos cercanos a los puestos de consumo de 30 a 1 psi. Lo que asegura una buena evaporación en los puntos de entrega del servicio.

La simulación del comportamiento del fluido con el Software Pipe Flow Express v5.12 permitió validar los resultados alcanzados, y constituye una herramienta de gran ayuda en el proceso de toma de decisiones de diseño, dada la posibilidad de evaluar diversas propuestas de solución y sugerir acciones de corrección de errores.

El tipo de tuberías y los accesorios han sido seleccionados en conformidad con la norma NTE INEN 2 260, que establece los requisitos técnicos y las medidas de seguridad que deben cumplirse para las instalaciones de GLP, y se encuentran disponibles en la red comercial de país.

Tabla 1: Listado de materiales de la instalación GLP del Laboratorio de Petroquímica

EQUIPOS			
1	TANQUE ESTACIONARIO DE GLP DE 0,5 m3	1	U
2	MANOMETRO DE GLICERINA DE 300 PSI	3	U
VÁLVULAS			
3	VÁLVULA REGULADORA DE PRESIÓN DE PRIMERA ETAPA	1	U
4	VÁLVULA REGULADORA DE PRESIÓN DE SEGUNDA ETAPA	17	U
5	VÁLVULA DE BOLA 1/4"	2	U
6	VÁLVULA DE BOLA 1 1/4"	3	U
7	VÁLVULA DE BOLA 1/2"	115	U
8	TOMA DE CARGA GLP DOBLE VÁLVULA ACCIONADA POR RESORTE DE CIERRE RÁPIDO	1	U
9	VALVULA DE SEGURIDAD DE 1/4" DE 250 PSI	1	U
10	VALVULA DE DESCARGA DE GLP DE 1"	2	U
TUBERÍA			
11	TUBERÍA DE HIERRO NEGRO 1 1/4" SCH 80	43,03	m
12	TUBERÍA DE COBRE TIPO L 1/2"	300,94	m
13	ACOPLE PARA MANGUERA	67	u
14	MANGUERA GLP	41,4	m
15	SOPORTE TIPO COLUMPIO. CHANNEL 40*3. VARILLA ROS CADA 3/8"	177	U
16	SOPORTE TIPO CHANNEL PARED	56	U
17	SOPORTE TIPO ABRAZADERA DE COBRE	72	U

#### **4. Conclusiones y recomendaciones**

1. En la presente investigación se ha realizado el análisis de las deficiencias presentadas por el anterior sistema de Gas Licuado del Petróleo (GLP) para el Laboratorio de Petroquímica de la ESPE extensión Latacunga y se establecieron los requisitos que debía cumplir el nuevo sistema de GLP.
2. Se definió y aplicó un procedimiento para el diseño de la nueva instalación de GLP, conforme a lo estipulado en la norma NTE INEN 2 260-2010-01 “Instalaciones de gases combustible para uso residencial, comercial e industrial. Requisitos”.
3. Se mostró la red de suministro de GLP, desde la toma del camión cisterna hasta los tanques de depósito de combustibles situados en la azotea de la instalación así como, los planos de las redes de servicio de media y baja presión.
4. Se realizó la simulación de los parámetros del fluido en cada punto característico de la instalación con el Software Pipe Flow Express v5.12, lo que posibilitó la validación de las decisiones de diseño adoptadas.

#### **Bibliografía**

1. Cepeda Morales, C. A. (2016). Dimensionamiento de sistema centralizado de almacenamiento y distribución de gas licuado de petróleo para planta metalúrgica (Bachelor's thesis, Espol).
2. NTE INEN 2 260-2010-01 (2010). “Instalaciones de gases combustible para uso residencial, comercial e industrial. Requisitos”
3. Panchi, A., David, B., León, T., & Javier, W. (2016). Rediseño de la instalación centralizada de gas licuado de petróleo (GLP) de la empresa textil San Pedro según la norma NTE INEN 2260, e implementación de un plan de mantenimiento para el cumplimiento del registro oficial 313 y 435 (Bachelor's thesis, Quito, 2016.).
4. Rojas, F. J., Jiménez, F. O., Ramos, B. G., & Alván, R. (2017). Análisis Experimental del Rendimiento Térmico, Potencia y Emisiones de Cocinas Anafe a GLP para Altitudes entre 2200 Y 4200 metros. Información tecnológica, 28(4), 179-190.
5. RTE INEN 008 (2008). “Tanques y cilindros de acero soldados para gas licuado del petróleo (GLP) y sus conjuntos técnicos”
6. William B. Jensen (2005). Journal of Chemical Educations. The Origin of the Bunsen Burner. Department of Chemistry, University of Cincinnati, Cincinnati, OH 45221-0172. J. Chem. Educ., 2005, 82 (4), p 518 DOI: 10.1021/ed082p518.

## TEMA: INFORMÁTICA APLICADA A LA INGENIERÍA

---

# IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO DE COMUNICACIÓN INDUSTRIAL MODBUS RTU / TCP PARA EL MONITOREO Y CONTROL DE VARIABLES FÍSICAS

## *IMPLEMENTATION OF A MODBUS RTU / TCP INDUSTRIAL COMMUNICATION TRAINING MODULE FOR MONITORING AND CONTROLLING PHYSICAL VARIABLES*

**Wilson Sánchez Ocaña<sup>1a\*</sup>, Roberto López Salazar<sup>1b</sup>, Erik Mora Ledesma<sup>1c</sup>**

<sup>1</sup>Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga, Departamento de Eléctrica-Electrónica, Ecuador

<sup>a\*</sup>[wesanchez@espe.edu.ec](mailto:wesanchez@espe.edu.ec), <sup>b</sup>[rc24lopez@gmail.com](mailto:rc24lopez@gmail.com), <sup>c</sup>[eriksao@hotmail.com](mailto:eriksao@hotmail.com)

### **Resumen:**

Con la finalidad de comunicarse en forma industrial diferentes dispositivos de campo I/O, controladores y sistemas de supervisión y adquisición de datos de diferentes marcas y procedencias, se implementa un módulo de entrenamiento para una red de Comunicación industrial mediante protocolo abierto Modbus RTU /TCP como una alternativa a los tipos de comunicación convencional industrial, que combina dos tipos diferentes de redes, una serial RS-485 (RTU) y otra Ethernet Industrial (TCP / IP); estas se interconectan mediante un convertidor Modbus RTU a Modbus TCP / IP, que envía la información de los diferentes dispositivos de campo y la convierte en información adecuada para la supervisión y control a través de un Servidor de red Modbus TCP / IP que a su vez intercambia información con otros clientes Modbus TCP / IP, y con control local desde las pantallas HMI; un Servidor de Comunicación OPC (DAServer) permite el monitoreo y control de variables físicas, que serán gestionadas en el Sistema SCADA desde una PC Convencional; logrando comunicar en forma industrial los tres niveles operativos de la pirámide de automatización (campo, control y supervisión) fortaleciendo las competencias tanto para estudiantes y profesionales afines al área de automatización industrial.

**Palabras claves:** Comunicación Industrial, Modbus RTU, Modbus TCP, Maestro – Esclavo, Cliente - Servidor

### **Abstract:**

In order to communicate industrially different I/O field devices, controllers and monitoring and data acquisition systems of different brands and sources, a training module is implemented for an industrial communication network using open protocol Modbus RTU /TCP as an alternative to conventional industrial communication types, which combines two different types of networks, a serial RS-485 (RTU) and another Industrial Ethernet (TCP / IP); these are interconnected by means of a converter. Key Words: Industrial communication, Modbus RTU, Modbus TCP/IP, Master-Slave, Client – Server, which sends the information from the different field devices and converts it into information suitable for supervision and control through a Modbus TCP/IP Network Server that in

turn exchanges information with other Modbus TCP/IP clients, and with local control from the HMI screens; an OPC Communication Server (DAServer) allows the monitoring and control of physical variables, which will be managed in the SCADA System from a conventional PC; managing to communicate in an industrial way the three operational levels of the automation pyramid (field, control and supervision) strengthening the competences both for students and professionals related to the industrial automation area.

**Keywords:** Industrial Communication, Modbus RTU, Modbus TCP, Master - Slave, Client – Server

## 1. Introducción

En la industria, la automatización de procesos ha sido un pilar fundamental para la mejora continua de la eficiencia y rendimiento de la producción (Manuel, Oliveros, 2006) los dispositivos de campo utilizan diferentes formas de comunicación entre controladores y dispositivos de entradas y salidas (Universidad de Valencia, 2003). La necesidad de analizar e interpretar la información para mejorar el rendimiento y eficiencia de los procesos productivos en la industria moderna (Gozález, 2003), lo que lleva al uso de redes industriales para la comunicación y conexión en red de dispositivos de campo y elementos de control que actualmente son exhaustivos en todas las empresas del sector industrial, de forma que se pueden establecer las comunicaciones en forma industrial (Antonio Ruiz C., 2017) como el área de tecnología que estudia la transmisión de información entre circuitos y sistemas electrónicos utilizados para llevar a cabo las tareas de control y gestión del ciclo de vida de los sistemas de los productos industriales.

Con el fin de impulsar las tecnologías modernas en la industria ecuatoriana hacia su evolución y su vinculación con sistemas ciber-físicos, industria y productos inteligentes, hiperconectividad en lo que se enfoca la Industria 4.0 (Mas Ingenieros, 2017) que pretende la puesta en marcha de fábricas inteligentes las cuales tengan la capacidad de adaptarse a las necesidades y a los procesos de producción con un manejo eficaz de los recursos.

Con estas características los sistemas de comunicación industrial demostraron ser una herramienta muy eficiente y eficaz en los procesos de automatización (MAVAL, 2017) y es por ello que través de este proyecto, utilizando esta tecnología, se busca integrar todos los equipos con un protocolo de comunicación abierto y brinde soporte a docentes, estudiantes y profesionales afines a ésta área del conocimiento a mejores sus competencias técnicas.

Las aplicaciones industriales a las que se enfocará este proyecto son la interconexión de elementos para administrar de forma local variables físicas y su posterior control remoto mediante InTouch (Wonderware, 2017). Esto se logra mediante la implementación de un módulo didáctico para una red de comunicación industrial utilizando protocolo abierto MODBUS RTU – TCP/IP, (figura 1); para lo cual se requiere determinar las características de funcionamiento de la trama del protocolo Modbus (medio, enlace, registros), algo importante a destacar en este tipo de red es la interconexión de elementos en varias marcas, se vincula dos tipos de protocolo (Modbus RTU y Modbus TCP) mediante un convertidor el cual dará paso a intercambio de información entre dispositivos de campo (Serie) con un controlador (Ethernet).

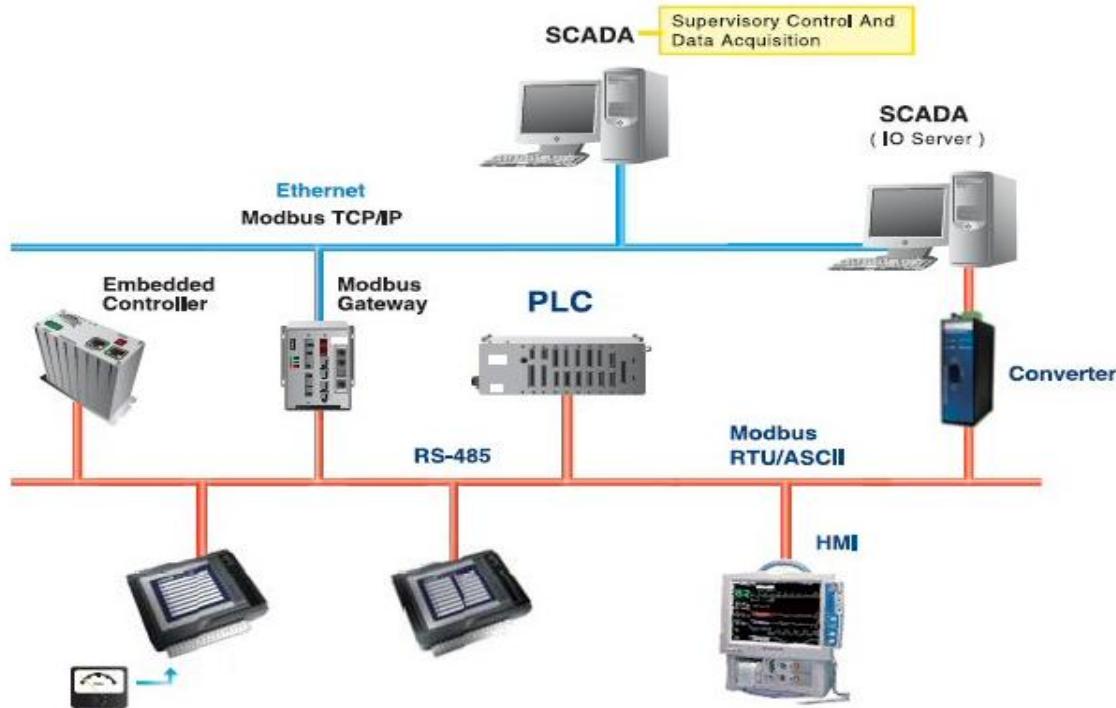


Figura 1: Modbus TCP/IP – Modbus RTU/ASCII

Fuente: <http://www.elec-intro.com/cms/plus/view.php?aid>

## 2. Metodología

La metodología de investigación utilizada en este proyecto es el DSR (Design Science Research) Ref Biblio (Vijay Vaishnavi, 2017), con la finalidad de profundizar el conocimiento y comprensión del Modelo OSI para las comunicaciones Industriales, se construye e implementa el entorno físico, se configura la capa de enlace en cada dispositivo y se diseña el HMI como parte de la capa de Aplicación del Protocolo Modbus RTU y Modbus TCP/IP (Modbus, 2017). Con la implementación de esta metodología, como resultado de la investigación se logró diseñar y construir un módulo didáctico de formación con fines experimentales para fortalecer el conocimiento sobre Redes de Comunicación industrial.

### 2.1. Materiales y Diseño

El módulo es un sistema didáctico enfocado a la enseñanza y práctica de sistemas de instrumentación y automatización industrial, el control sobre los procesos industriales, que contiene varios componentes que incluyen sensores, transductores y actuadores, a través de los cuales el operador puede ajustar diferentes controles de acuerdo a los bucles variables que operan: caudal, presión, nivel y temperatura.

La red industrial implementada Modbus se puede ver en el diagrama de la Figura 2, consta de dos partes, la primera parte fue la configuración de los dispositivos seriales tales como los convertidores de frecuencia Delta VFD007E23A (Electronics, 2017), el inversor de frecuencia Schneider ATV12H075M2 (schneider, 2017), y controlador de temperatura Delta DTB4848 (Delta Electronics, 2015), en la parte intermedia el convertidor Modbus RTU/Modbus TCP/IP Delta IFD (Delta Electronics, 2009), y en la segunda parte la configuración de los dispositivos

en la red Modbus TCP-IP, tales como el PLC Modicon TM221CE24R (Schneider Electric, 2014), un PLC AB micro 850 (Rockwell Automation, 2012), un medidor de energía Siemens SENTRON PAC3200 (Siemens, 2009), pantallas HMI Delta DOP-B03E211 (Delta Electronics, 2009) y la configuración del servidor OPC software SCM (Luque, 2017) con el DAServer de los clientes Modbus TCP-IP.

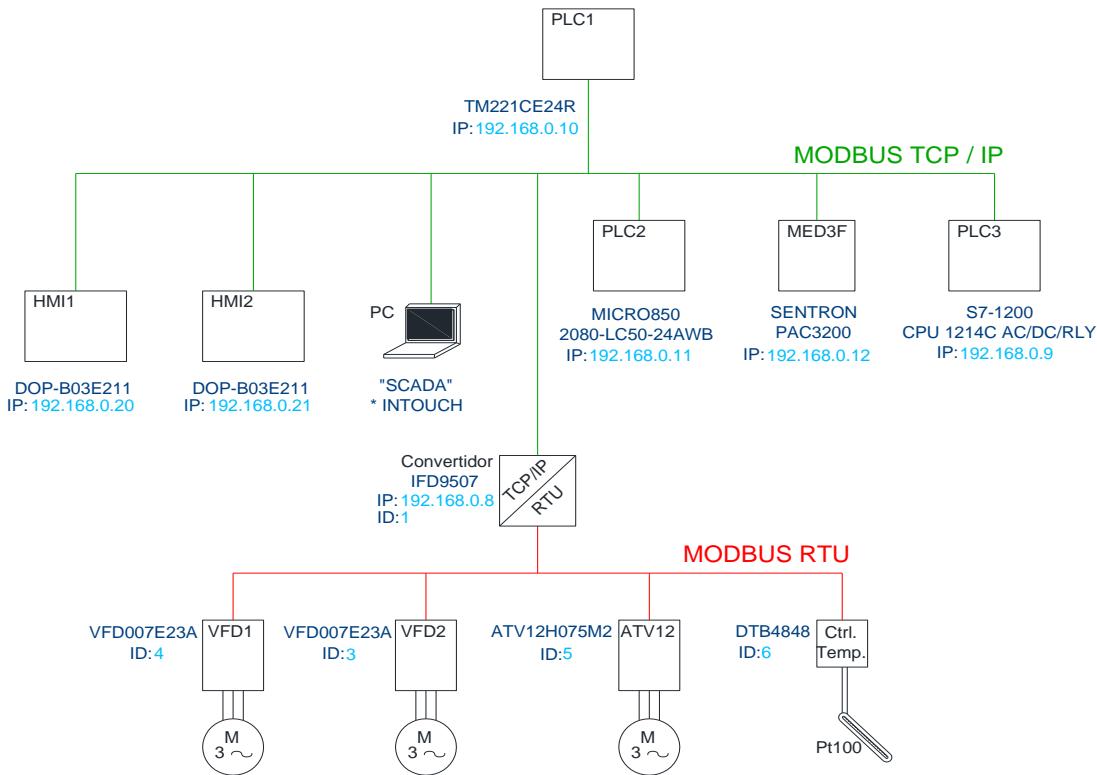


Figura 2: Implementación del esquema de red de comunicaciones Modbus implementado.

Fuente: Autores

### 3. Resultados y Discusión

#### 3.1 Resultados

Se implementó una Red de comunicación Industrial RS-485 / Modbus RTU, conformada de tres variadores de frecuencia y un controlador de temperatura, multi-marcas; la conexión de los dispositivos seriales implementados en el proyecto, se interconectan al Servidor Modbus TCP/IP mediante un Convertidor IFD9507 de Modbus RTU a TCP/IP (figura 3), logrando vincular un protocolo de características seriales industriales (dispositivos de campo) a un protocolo Ethernet Industrial (Controladores, medidores de energía y sistemas Scada).

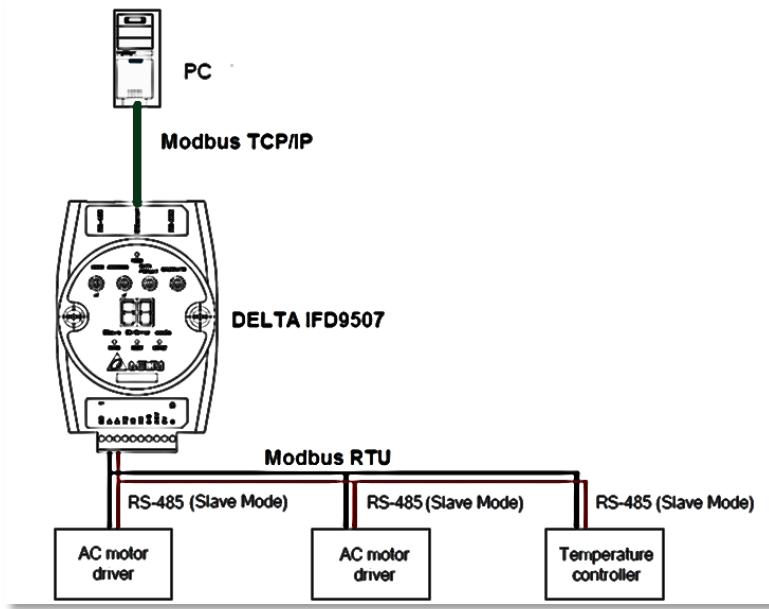


Figura 3: Vinculación de protocolos Modbus RTU y TCP/IP.  
Fuente: Autores

Como resultado de la propuesta, se controló y monitoreó procesos industriales, mediante una red de comunicación de manera local, a través de dos pantallas HMI Delta y en forma remota mediante un sistema SCADA.

### 3.2 Discusión

La red de comunicación Modbus RTU-TCP/IP implementada, mejora la eficiencia y el rendimiento de procesos industriales debido a su sencilla interconexión de equipos y dispositivos, lo cual se comprobó mediante pruebas realizadas en una estación de multivariables físicas con lo cual impulsamos las tecnologías industriales a nivel local y se pretende adaptarnos al cambio tecnológico en redes industriales.

Dentro de la pirámide de automatización industrial, este trabajo se direccionó a los tres niveles: nivel de campo (sensores y actuadores), nivel de control (controladores) y nivel de supervisión (SCADA), lo cual demuestra que el protocolo Modbus permite un control fiable en procesos industriales automáticos, ya que los dos primeros niveles (control local) son utilizados en la mayoría de protocolos de comunicación, pero su integración con SCADA (control remoto) le confiere fortaleza al protocolo Modbus; además este protocolo ofrece una ventaja destacable sobre otros, al integrar varios equipos de diferentes marcas en una misma red, la cual además puede ser operada tanto local como de manera remota.

## 4. Conclusiones y Recomendaciones

### 4.1 Conclusiones

- Se implementó un módulo didáctico para una red de comunicación industrial utilizando protocolo abierto MODBUS RTU – TCP/IP para monitoreo, control local y remoto con dos controladores lógicos programables (PLC), un equipo de medición de energía, un convertidor de protocolo RTU-TCP/IP y dos pantallas HMI y en la parte RTU tres variadores de

frecuencia, un controlador de temperatura en un bus Modbus RTU; todos ellos de diferentes casas comerciales.

- La configuración adecuada de la capa de enlace del modelo OSI Industrial, en cada uno de los dispositivos tanto de campo, como controladores, es fundamental; para evitar problemas en la comunicación tanto en la parte serial (RTU) como en el lado de Ethernet Industrial (TCP/IP), y garantizar un control fiable tanto local como remoto.
- Se controló y monitoreó procesos industriales multivariables, mediante una red de comunicación industrial, de manera local a través de dos pantallas HMI Delta y en forma remota a través de un sistema SCADA.

#### 4.2 Recomendaciones

- Al realizar la comunicación desde los HMI o sistemas Scada hacia los dispositivos de campo, se puede generar errores en la trama Modbus, debido al desplazamiento de los registros provocados por la presencia de elementos convertidores y concentradores en la red.
- Implementar sistemas Scada de procesos industriales de Redes de Comunicación como Control Net o Device Net conjuntamente con Modbus RTU mediante una tarjeta ProSoft.
- Implementar un sistema MES/ERP en la Red Industrial Modbus RTU-TCP/IP, con el propósito de incorporar los niveles de gestión y planificación de un proceso industrial.
- Implementar pruebas de vulnerabilidad en la red industrial para garantizar la fiabilidad en su funcionamiento.

#### Bibliografía

1. Delta Electronics. (Abril de 2009). Obtenido de DELTA\_IA-IFS\_IFD9507: [http://www.deltaww.com/filecenter/Products/download/06/060305/Manual/DELTA\\_IA-IFS\\_IFD9507\\_OM\\_EN\\_20090422.pdf](http://www.deltaww.com/filecenter/Products/download/06/060305/Manual/DELTA_IA-IFS_IFD9507_OM_EN_20090422.pdf)
2. Delta Electronics. (Junio de 2009). Obtenido de HMI\_DOP-B03S211.pdf: [http://www.technideal.com/uploads/Products/product\\_647/HMI\\_DOP-B03S211.pdf](http://www.technideal.com/uploads/Products/product_647/HMI_DOP-B03S211.pdf)
3. Delta Electronics. (Julio de 2015). Obtenido de DELTA temperature Controller- DTB Series: <http://www.bb-elec.com/Products/Manuals/DTB48-TempController-Manual1-3-06.pdf>
4. Delta Electronics. (Junio de 2016). Obtenido de Data exchange between the Delta DVP12-SE PLC and Other PLC via Ethernet: <https://delta-ia-tips.com/2016/06/14/data-exchange-between-the-delta-dvp12-se-plc-and-other-plc-via-ethernet/>
5. Electronics, D. (26 de Julio de 2017). [www.mecmod.com/pdf/delta-vfd-e.pdf](http://www.mecmod.com/pdf/delta-vfd-e.pdf). Obtenido de [https://mecmod.com/pdf/delta-vfd-e.pdf](http://www.mecmod.com/pdf/delta-vfd-e.pdf)
6. Gozález, D. A. (2003). Formación basada en las tecnologías de la Información y Comunicación. Tarragona: Universidad Rovira Virgili.
7. Luque, J. M. (17 de Octubre de 2017). Intouch - Configuracion DASMBTCP. Obtenido de plc-hmi-scadas: [http://plc-hmi-scadas.com/Intouch\\_DASMBTCP.php](http://plc-hmi-scadas.com/Intouch_DASMBTCP.php)
8. Más Ingenieros. (2017). Obtenido de masingenieros: <http://www.masingenieros.com/portfolio/el-nuevo-reto-la-industria-4-0/>
9. MAVAL. (Enero de 2017). Obtenido de MAVAL: <http://www.maval.es/actividades/automatizacion-de-procesos-industriales/>
10. Modbus. (2017 de Octubre de 2017). Modbus Technical Resources. Obtenido de <http://www.modbus.org/tech.php>
11. Oliveros, Manuel (2006). INTRODUCCIÓN A LA INGENIERÍA INDUSTRIAL. En O. Manuel, INTRODUCCIÓN A LA INGENIERÍA INDUSTRIAL (pág. 101). Bogotá: Universidad Nacional Abierta y a Distancia.

12. Ruiz C. Antonio (17 de Octubre de 2017). Automatización y telecontrol de sistemas de riego. Obtenido de Automatización y telecontrol de sistemas de riego: <https://books.google.com.ec/books?id=Kq4NiqtcelwC&pg>
13. Rockwell Automation. (Septiembre de 2012). Obtenido de Controladores programables de 24 puntos Micro850: [http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/in/2080-in007\\_-es-p.pdf](http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/in/2080-in007_-es-p.pdf)
14. Schneider. (17 de Octubre de 2017). [www.schneider-electric.es](http://www.schneider-electric.es). Obtenido de <https://www.schneider-electric.es/es/product-range/2253-altivar-12/>
15. Schneider Electric. (Agosto de 2014). Obtenido de Modicon\_M221\_TM221CE24R: <https://www.alliedelec.com/m/d/8d9494a7fb64f288b172ce38fa799514.pdf>
16. Schneider Electric. (Noviembre de 2014). Obtenido de SOMACHINE Guia de Funcionamiento: <https://www.technical.cat/PDF/Schneider/PLC/SOFTWARE/EIO000000135703SOFT.pdf>
17. Siemens. (Agosto de 2009). Obtenido de e20001-a112-l300-x-7800: <https://www.automation.siemens.com/cd-static/material/info/e20001-a112-l300-x-7800.pdf>
18. Universidad de Valencia. (22 de abril de 2003). Obtenido de ApuntesARosado.PDF - Capitulo3\_rev0.pdf: [https://www.uv.es/rosado/courses/sid/Capitulo3\\_rev0.pdf](https://www.uv.es/rosado/courses/sid/Capitulo3_rev0.pdf)
19. Vijay Vaishnavi. (10 de 08 de 2017). Design Science Research in Information. Obtenido de business: <http://www.business.unr.edu/faculty/kuechler/toc.htm>
20. Wonderware. (Agosto de 2017). Obtenido de HMI Softwae - Wonderware In Touch: <https://www.wonderware.com/hmi-scada/intouch/>

# **DESARROLLO DE ÓRTESIS (FÉRULA) DE TOBILLO Y PIE OBTENIDO MEDIANTE TÉCNICA DE ESCANEO, ANÁLISIS CAD/CAE Y PROTOTIPADO RÁPIDO EN 3D**

## ***DEVELOPMENT OF ORTHOSIS (SPLINT) OF ANKLE AND FOOT OBTAINED BY SCANNING TECHNIQUE, CAD/CAE ANALYSIS AND RAPID PROTOTYPING IN 3D***

**Xavier Arízaga Cordero<sup>1a\*</sup>, Alexis Cordovés García<sup>2b</sup>**

<sup>1</sup>Universidad de las Fuerzas Armadas, ESPE, Ecuador

<sup>2</sup>Universidad Tecnológica Equinoccial, Santo Domingo, Ecuador

<sup>a\*</sup>[xavierarizaga@gmail.com](mailto:xavierarizaga@gmail.com) <sup>b</sup>[alexis.cordoves@ute.edu.ec](mailto:alexis.cordoves@ute.edu.ec)

### **Resumen:**

En el Ecuador existen muchas personas con problemas anatómicos en las extremidades inferiores provocados por diversas enfermedades, las casas fabricantes de órtesis existentes en el país proveen una gran variedad de modelos, para mejorar su ergonomía, estética y ajuste de medidas utilizan técnicas de moldeo mediante yeso, no se aplican técnicas de escaneo 3D y posterior desarrollo CAD/CAM/CAE. El objetivo es obtener un prototipo de órtesis de tobillo y pie aplicando técnicas de escaneo 3D, tecnología CAD/CAE y prototipado rápido en plástico ABS y PLA. Mediante el escaneo 3D se digitalizan las imágenes en formatos (\*.obj, \*.stl, \*.ply), aplicando software Solidworks 2016 con su complemento Scanto3d creamos una geometría de órtesis que se ajusta a la medida de la persona, posteriormente realizamos el análisis mecánico lo que nos permite garantizar que el plástico PLA y ABS soporta cargas de 620N y 774.99N que son las fuerzas del cuerpo sobre la órtesis, tomando en cuenta que el software Solidworks no permite un análisis biomecánico completo. Además de esto hemos logrado diseñar una órtesis con los requerimientos y forma geométrica deseada por el paciente. Los archivos (\*.stl) fueron corregidos con el software Netfabb previo a la impresión 3D. Los tiempos de obtención y desarrollo de órtesis son cortos, si tenemos varias órdenes de producción los costos se reducen lo que permite entregar calidad. Para la impresión 3D de elementos ortésicos se debe considerar el tipo de impresora 3D a utilizar por las medidas físicas, los materiales externos para el acabado y la preparación del mismo.

**Palabras clave:** Escáner 3D; impresora 3D; órtesis; CAD/CAE, cama caliente.

### **Abstract:**

In Ecuador there are many people with anatomical problems in the lower limbs caused by various diseases, the orthosis manufacturers existing in the country provide a great variety of models, to improve their ergonomics, aesthetics and adjustment of measures using plaster molding techniques, 3D scanning techniques and subsequent CAD / CAM / CAE development are not applied. The goal is to obtain a prototype of ankle and foot orthosis using 3D scanning techniques, CAD / CAE technology and rapid prototyping in ABS and PLA plastic. By means of the 3D scan the images are formatted (\*.obj, \*.stl, \*.ply), by applying software Solidworks 2016 with its Scanto3d add-on we create an orthotic geometry that fits the person's measure, then we perform the analysis mechanical, which allows us to guarantee that PLA and ABS plastic supports loads of 620N and 774.99N which are the forces of the body on the orthosis, taking into account that Solidworks software does not allow a complete biomechanical analysis. In addition to this we have been able to design an orthosis with the requirements and geometric form desired by the patient. The files (\*.stl) were corrected with Netfabb software prior to 3D printing. The times of obtaining and development of ortesis are short, if we have several orders of production the costs are reduced what allows to deliver quality. For 3D printing of ortesic elements, consider the type of 3D printer to be used by the physical measurements, the external materials for the finishing and the preparation of the same.

**Keywords:** 3D Scan; 3D printer; orthosis; CAD/CAE; heatbed.

## **1. Introducción**

Las órtesis de pie y tobillo permiten la corrección de ciertas deformaciones provocadas por enfermedades y lesiones por actividad física. Deben ser cuidadosamente diseñadas y elaboradas con parámetros, materiales y técnicas recomendadas por especialistas, por los potenciales clientes y las casas fabricantes. Pese a que existen muchas investigaciones, no se puede mejorar con precisión ciertas dolencias del cuerpo humano como la deformación en el tobillo y pie. Por más que se tengan materiales como silicona, plástico y contengan varias articulaciones; neumáticas o hidráulicas con microprocesadores, no es suficiente.

La evolución de materiales en la era espacial y nuevas tecnologías han permitido que en la actualidad se pueda devolver al paciente la oportunidad de vivir una vida plena lo más cercana a la normalidad. (HOSPITALALCIVAR. 2017).

Las principales causas de deformación de tobillo y pie las podemos ver en el cuadro siguiente:



Figura 1. Causas de deformación de pie y tobillo (González, R.,2016)

Existen datos acerca de la construcción de órtesis (férulas) desde la edad media, en la actualidad en el Ecuador se ha tratado de potenciar este campo. En el año 2011 el gobierno hizo una inversión mediante la misión Manuela Espejo y la Vicepresidencia de la república en la cual se contaba con 110 millones de dólares de presupuesto y parte de este iba destinado a la creación tres fábricas de ortesis y prótesis en Cuenca, Loja y Quito.(LAHORA. 2016)

En el campo del diseño y construcción de órtesis de tobillo y pie, se aplican diferentes configuraciones, algunas pueden ser de partes metálicas con yeso, otras de plástico inyectado también con componentes de metal; que pueden ser costosas dependiendo del proceso de fabricación, materiales y costos de importación. (Aldaz, V., 2016).

Los materiales a utilizar para el diseño y construcción del prototipo de ortesis son el plástico ABS y PLA, ya que estos dominan el 95% del mercado de materiales para impresión 3D. Según investigaciones el plástico PLA no emite gases nocivos y hay un rango más amplio de colores (fluorescente, transparente, semitransparente, etc) Mientras que el plástico ABS desprende gases que en concentraciones altas pueden ser nocivos. Se puede utilizar sin problemas en casa o en la oficina con ventilación adecuada. Ambos plásticos son fáciles de

mecanizar, pulir, lijar, limar, agujerear, pintar, pegar etc., con extrema facilidad, y el acabado sigue siendo bueno. Además, son resistentes dependiendo la configuración del espesor de malla y poseen flexibilidad. Los precios de los dos materiales son bastante económicos y se recomiendan para usos domésticos e industriales.

La duración de la ótesis de tobillo y pie fabricada en plástico ABS o PLA dependerá de los factores de uso y el ambiente al que estén sometidas. Con el paso del tiempo puede que los componentes que son de metal para proveer movilidad se deterioren, debido a la acción de las fuerzas, falta de mantenimiento y esfuerzos a las que están sometidas. La corrosión es otro de los factores que influyen en su deterioro, en la mayoría de los casos los diseñadores de estos sistemas no tienen otras alternativas de materiales.

Dentro de las investigaciones realizadas se observó que se han realizado estudios con herramientas CAD/CAM y entre ellos se destaca el: “*Modelado de un Implante Ortopédico tipo Prótesis para Amputación Parcial del Pie*” que parte de la toma de medidas manualmente con calibrador y flexómetro, y un análisis biomecánico. No se consideran materiales de impresión 3D, aplican técnicas de construcción con maquinaria CNC con material Nylon Nitanyl. También en el estudio “*Utilización de las Nuevas Tecnologías en el Diseño de un Dispositivo Ortopédico*” se utilizaron herramientas CAD/CAE partiendo de la toma de medidas físicas y análisis biomecánico. En dicho estudio el material analizado es de caucho y utilizan un software llamado SolidCAM para diseño y simulación. En ambos casos se limitan a análisis mecánico, pero no se construye ningún prototipo.

El objetivo de la presente investigación es obtener un prototipo de ótesis de tobillo y pie aplicando técnicas de escaneo 3D, tecnologías CAD/CAE, y prototipado rápido en plástico ABS y PLA, el cual cumpla las características de medidas anatómicas mejorando la ergonomía y calidad de vida del paciente, además de proporcionar la resistencia, lograr la prevención de contracturas y deformidades protegiendo los músculos débiles. (Cunha da Silva, J., 2014)

## **2. Metodología**

Se tomó medidas del tobillo y pie de la persona voluntaria, mediante un escáner 3D con el software XYX Scan se obtuvo las imágenes tridimensionales, para corrección de imágenes, modificaciones geométricas, creación el diseño y análisis mecánico se utilizó la herramienta CAD/CAE Solidworks 2016, la geometría finalizada se corrigió utilizando el software Netfabb,

se procedió a imprimir el modelo geométrico configurando el software cura 15.04 y la impresora Anycubic en material PLA. (Cunha da Silva, J., 2014)

Posteriormente, al prototipo impreso se le añadió cinta velcro y esponja para sujeción mejorando la ergonomía. Se realizaron pruebas en el pie de la persona obteniendo buenos resultados y observaciones para realizar mejoras. Con los datos obtenidos se realizó un modelo de factibilidad técnico-económica del proceso para satisfacer los requerimientos de una industria local en una producción de pequeñas series.

### 3. Resultados

La órtesis diseñada es estática, según la biomecánica analizada vemos que la única fuerza que se ejerce sobre ésta es la que el cuerpo realiza en forma vertical, se tomó en cuenta su peso. Para ello, se realizó el siguiente diagrama de cuerpo libre:

Altura de la persona = 1.60m

Masa de la persona = 63.21 Kg

Gravedad =  $9.81 \text{ m/s}^2$

$$Fy = m * g$$

$$Fy = 63.21 \text{ Kg} * 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$Fy = 620 \text{ N}$$

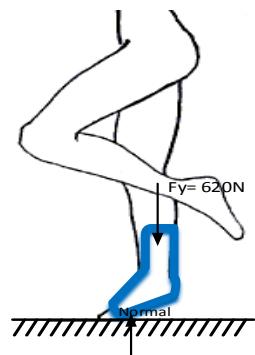


Figura 2. Diagrama de cuerpo libre con fuerza de 620N

$$\sum Fx = 0 \quad (1)$$

$$\sum Fy = 0$$

$$-Fy + N = 0$$

$$-63.21Kg * \frac{9.81m}{s^2} + N = 0$$

$$N = 620N$$

Es importante diseñar el material para que soporte pesos superiores con lo cual se trabaja con un factor de seguridad mayor a 1 lo que garantiza que la órtesis no se romperá. De la siguiente tabla se tomaron los valores de masa corporal.

Tabla 1. Características de masa corporal y estatura en personas

<http://hospitalmetropolitano.org/es/base.php?ref=17%3A0%2C54%3A0%2C90%3A0>

PESO IDEAL

Peso ideal para hombre				Peso ideal para Mujer			
Altura	Bajo	Medio	Alto	Altura	Bajo	Medio	Alto
1.52 mts	58 kgs	61 kgs	65 kgs	1.42 mts	35 kgs	38 kgs	41 kgs
1.55 mts	60 kgs	63 kgs	66 kgs	1.45 mts	37 kgs	40 kgs	43 kgs
1.57 mts	61 kgs	64 kgs	67 kgs	1.47 mts	39 kgs	42 kgs	44 kgs
1.60 mts	63 kgs	65 kgs	69 kgs	1.50 mts	41 kgs	43 kgs	46 kgs
1.63 mts	64 kgs	67 kgs	70 kgs	1.52 mts	43 kgs	45 kgs	48 kgs
1.65 mts	65 kgs	68 kgs	72 kgs	1.55 mts	44 kgs	47 kgs	50 kgs
1.68 mts	67 kgs	69 kgs	73 kgs	1.57 mts	46 kgs	49 kgs	52 kgs
1.70 mts	68 kgs	71 kgs	74 kgs	1.60 mts	48 kgs	51 kgs	53 kgs
1.73 mts	69 kgs	72 kgs	76 kgs	1.63 mts	50 kgs	53 kgs	55 kgs
1.75 mts	71 kgs	73 kgs	77 kgs	1.65 mts	52 kgs	54 kgs	57 kgs
1.78 mts	72 kgs	75 kgs	78 kgs	1.68 mts	53 kgs	56 kgs	59 kgs
1.80 mts	73 kgs	76 kgs	80 kgs	1.70 mts	55 kgs	58 kgs	61 kgs
1.83 mts	74 kgs	77 kgs	81 kgs	1.73 mts	57 kgs	60 kgs	63 kgs
1.85 mts	76 kgs	79 kgs	82 kgs	1.75 mts	59 kgs	62 kgs	64 kgs

Según la tabla anterior se consideró una persona de 1.85m de altura que tiene una masa promedio de 79kg.

Altura = 1.85m

Masa de la persona = 79 Kg

Gravedad = 9.81 m/s<sup>2</sup>

$$Fy = m * g \quad Fy = 79Kg * 9.81m/s^2 \quad Fy = 774.99N \quad (2)$$

$$\sum Fx = 0$$

$$\sum Fy = 0 \quad -Fy + N = 0 \quad -774.99 + N = 0 \quad N = 774.99N$$

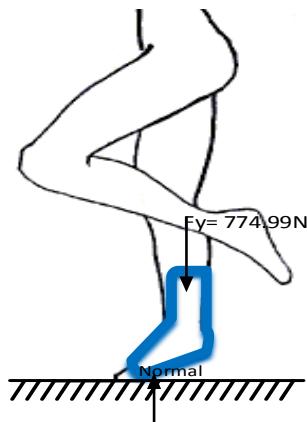


Figura 3. Diagrama de cuerpo libre con fuerza de 774.99N

#### Resultados para la aplicación de fuerzas de 620N y 774.99N en plástico ABS:

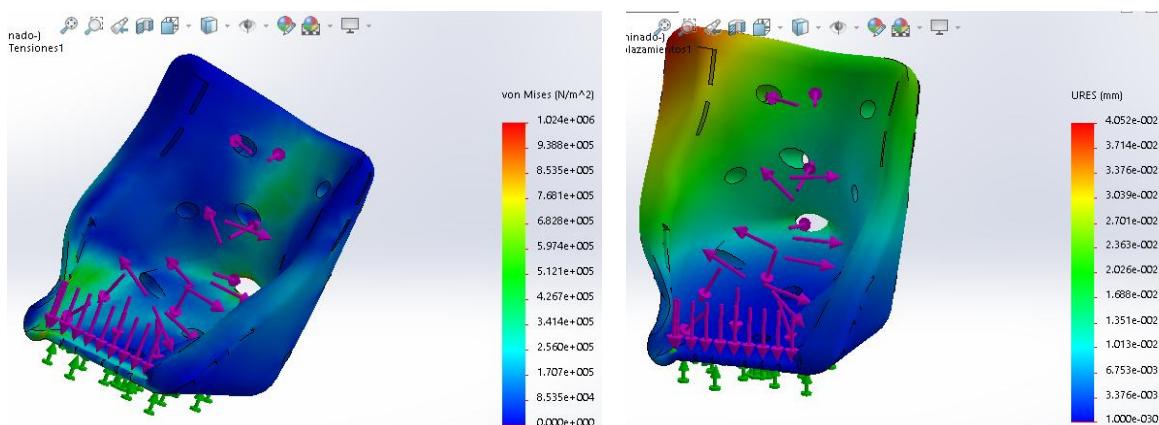


Figura 4. Simulación de tensiones (Von Misses) con carga de 620N

Figura 5. Simulación de desplazamiento (Resistencia) con carga de 620N

Como se aprecia en la figura 4 con la fuerza de 620N, los valores de tensión Von Misses varían desde 0N/m<sup>2</sup> hasta 6.828e+005 N/m<sup>2</sup>, excluyendo valores mayores.

Como se aprecia en la figura 5 con la fuerza de 620N, los valores de desplazamiento varían desde 1.000e-030mm hasta 2.701e-002mm donde no se tienen grandes deformaciones. Se alcanzan deformaciones algo superiores con valores desde 2.701e-002mm hasta 4.052e-002mm en el extremo superior derecho de la órtesis. En sí, la pieza no se llega a deformar considerablemente.

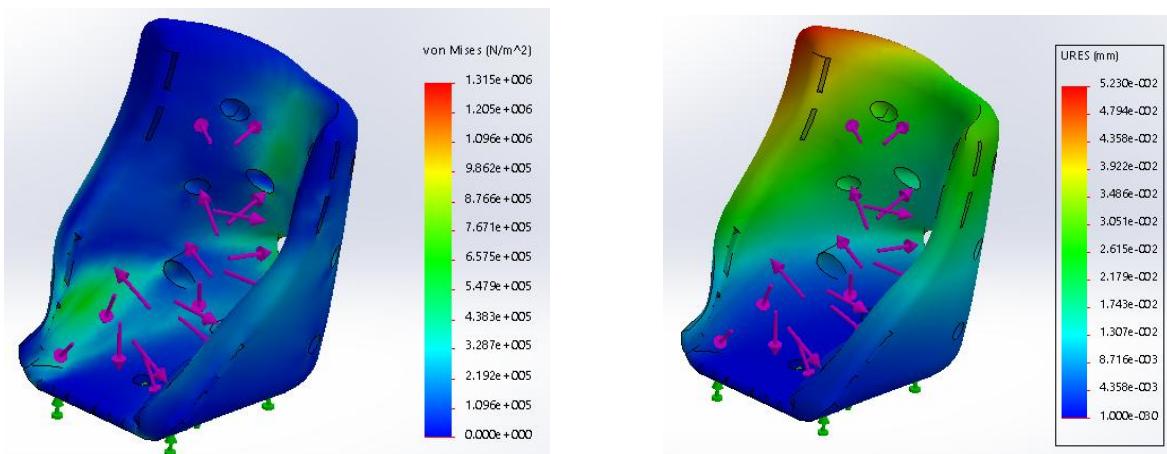


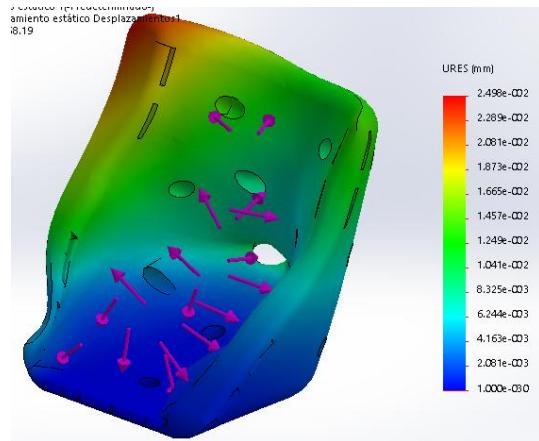
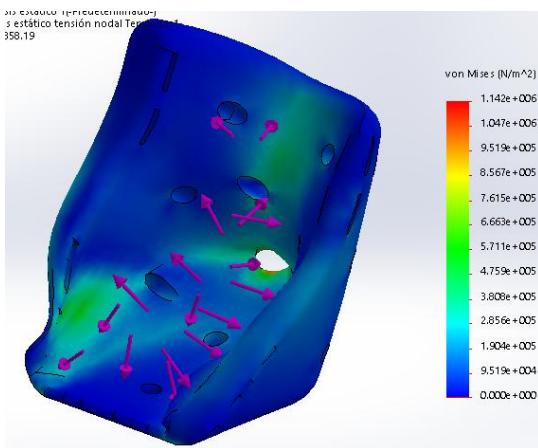
Figura 6. Simulación de tensiones (Von Misses) con carga de 774.99N

Figura 7. Simulación de desplazamiento (Resistencia) con carga de 774.99N

Como se aprecia en la figura 6 con la fuerza de 774.99N, los valores de tensión Von Misses varían desde 0N/m<sup>2</sup> hasta 8.766e+005N/m<sup>2</sup>, excluyendo valores mayores.

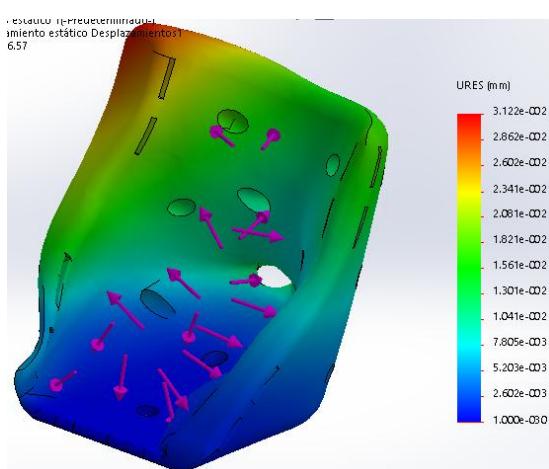
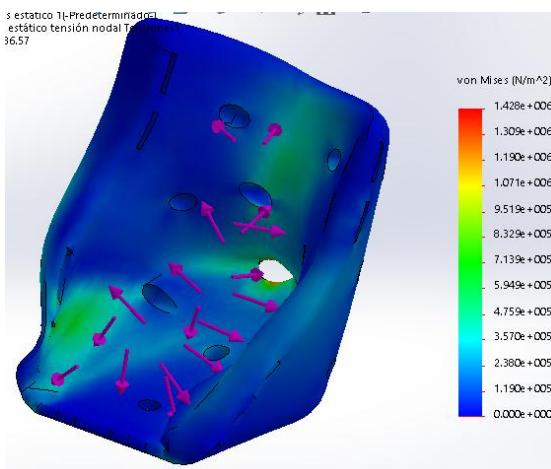
Como se aprecia en la figura 7 con la fuerza de 774.99N, los valores de desplazamiento varían desde 1.000e-030mm hasta 3.486e-002mm donde no se tiene deformaciones significativas, desde valores de 3.486e-002mm hasta 5.230e-002mm existen deformaciones en el extremo superior derecho de la órtesis. En si la pieza no se llega a deformar considerablemente.

## Resultados para aplicación de fuerzas de 620N y 774.99N en plástico PLA:



Como se aprecia en la figura 8 con la fuerza de 620N, los valores de tensión Von Misses varían desde 0N/m<sup>2</sup> hasta 6.663e+005N/m<sup>2</sup>, excluyendo valores mayores.

Como se aprecia en la figura 9 con la fuerza de 620N, los valores de desplazamiento varían desde 1.000e-030mm hasta 1.665e-002mm donde no se tiene deformaciones significativas. Desde valores de 1.665e-002mm hasta 2.498e-002mm de igual manera que el análisis para plástico ABS, existen deformaciones en el extremo superior derecho de la ortesis. En si la pieza no se llega a deformar considerablemente.



con carga de 774.99N

(Resistencia) con carga de 774.99N

Como se aprecia en la figura 10 con la fuerza de 774.99N, los valores de tensión Von Misses varían desde 0N/m<sup>2</sup> hasta 9.519e+005N/m<sup>2</sup>, excluyendo valores mayores.

Como se aprecia en la figura 11 con la fuerza de 774.99N, los valores de desplazamiento varían desde 1.000e-030mm hasta 2.081e-002mm donde no se tiene deformaciones significativas. Desde valores de 2.081e-002mm hasta 3.122e-002mm de igual manera que en el análisis para plástico ABS, existen deformaciones en el extremo superior derecho de la órtesis. En si la pieza no se llega a deformar considerablemente.

#### Producto Final para impresión

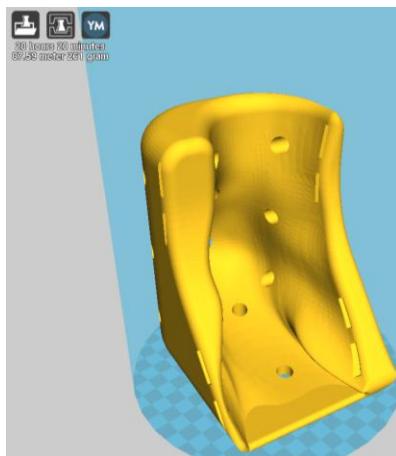


Figura 12. Impresión de prototipo de órtesis en plástico PLA

#### 4. Discusión

Con la primera simulación mecánica con el plástico ABS, al aplicar una fuerza de 620N se obtuvieron bajos valores de tensiones equivalentes de Von Misses en la planta del pie, en la pared posterior que soporta la pantorrilla y en las paredes laterales que soportan el tobillo. El valor de las tensiones máximas alcanzadas fue de 6,828e+005 N/m<sup>2</sup> o sea, 0.682 MPa. Al aumentar la carga a 774.99, equivalente a la de una persona de la mayor estatura registrada en la Tabla 1; de 1.85 m con masa corporal media de 79 Kg para el mismo material, se observó que las tensiones equivalentes de Von Misses resultaron ligeramente más altas. La planta del pie, la pared posterior que soporta la pantorrilla y las paredes laterales que soportan el tobillo alcanzaron valores de tensiones máximas de 8,766e+005 N/m<sup>2</sup>, 0,876 MPa, en ambos casos

muy por debajo del límite elástico del material de 26 MPa, y de rotura del material de 28 MPa. Lo que permitió comprobar una buena resistencia del plástico ABS para los dos estados tensionales analizados en la órtesis.

Se observaron desplazamientos mínimos para ese material con ambas cargas (Ver figuras 5 y 7). La mayor deformación se ubicó en la zona de la esquina superior izquierda con valores máximos de 4,052e-002mm y de 5,230e-002mm respectivamente. Estos valores de desplazamiento alcanzados son aún pequeños, muy por debajo del límite de elongación elástica (1%) y a rotura del material (2%), lo que asegura el adecuado funcionamiento del prototipo.

Al realizar la simulación mecánica con el plástico PLA se pudo apreciar que las tensiones equivalentes de Von Misses con la aplicación de una fuerza de 620N generan esfuerzos en la planta del pie, en la pared posterior que soporta la pantorrilla y en las paredes laterales que soportan el tobillo, equivalentes a 7,615e+005 N/m<sup>2</sup> o sea, 0.761 MPa. Al aumentar la carga a 774.99N se obtuvo en esta zona una tensión equivalente a 9.519e+005 N/m<sup>2</sup>, 0.952 MPa, lo que la hace ligeramente mayor. En ambos casos igualmente muy por debajo del límite elástico del material de 49.5MPa y de rotura del material de 45,6 MPa. Lo que permitió comprobar una buena resistencia del plástico PLA para los dos estados tensionales analizados en la órtesis.

Se observaron desplazamientos superiores para el material PLA con ambas cargas (Ver figuras 9 y 11) respecto al ABS. La mayor deformación se ubicó en la zona de la esquina superior izquierda con valores máximos de 2.498e-002mm y de 3.122e-002mm respectivamente. Estos valores de desplazamiento alcanzados son aún pequeños, muy por debajo del límite de elongación elástica (3,3%) y a rotura del material (5,2%), lo que asegura el adecuado funcionamiento del prototipo.

## 5. Conclusiones y recomendaciones

Como conclusiones de la presente investigación se destacan las siguientes:

1. Las técnicas de escaneo 3D aplicadas son nuevas dentro del medio, y su integración con técnicas *CAD/CAE* y de *Prototipado Rápido en 3D*, pueden ofrecer un excelente futuro para la creación de órtesis para tobillo y pie en personas que sufren de pie caído provocado por Varices, Espolón Calcáneo y Pie de Charcot mediante prototipado rápido.
2. La aplicación de estas tecnologías en la obtención de órtesis de pie y tobillo posibilitará obtener modelos con un mejor ajuste a la ergonomía y a las preferencias estéticas acorde al gusto del paciente.

3. Ambos materiales estudiados tuvieron una buena respuesta al estado tensional al que fueron sometidos.
4. Según los resultados del análisis mecánico de la órtesis de plástico ABS al aplicar fuerzas de 620N y 744.99 N, se observó que los esfuerzos que se generan en este material son menores pero el desplazamiento es mayor, mientras que en el plástico PLA los esfuerzos son ligeramente mayores y el desplazamiento es menor. Se sugiere utilizar el PLA como material para construir la órtesis partiendo de las ventajas que reporta el uso del PLA sobre el ABS desde el punto de vista de los menores costos de adquisición y que es biodegradable después de 10 años con las características climáticas adecuadas.

### **Recomendaciones**

- Para desarrollar procesos de datos con imágenes en 2D y 3D que contienen altos niveles de pixelado y su posterior mallado es necesario la adquisición de una computadora que tenga características de sexta generación en adelante con una memoria RAM mínima de 16Gb.
- Cuando se imprime la órtesis con el plástico PLA es importante que el cuarto se mantenga a una temperatura equilibrada, si hay variaciones bruscas de temperatura dicho plástico tiende a despegarse de la cama caliente de la impresora lo que dañará el modelo y el proceso de impresión.

## Bibliografía

- [1] Aldaz, V. (2016). "Modelado de un Implante Ortopédico tipo Prótesis para Amputación Parcial del Pie con Técnicas CAD-CAM" en Escuela Superior Politécnica del Chimborazo. Riobamba-Ecuador.
- [2] Borjas, R., Flores, W. (2015). "Fabricación de una Prótesis Humana utilizando una impresora 3D en Honduras" en Trigésima Quinta Convención de Centroamérica y Panamá del IEEE, CONCAPAN XXXV. Ortopedia.
- [3] Cunha da Silva, J., Freitas Gomes, G., Monteiro, M. (2014). "Ensaios Mecânicos em Elastômeros Termoplásticos Utilizados em Impressoras 3d para a Construção de Próteses de Mão" en Intercambio de cuidado médico panamericanos. Ortopedia.
- [4] Font-Llagunes, J., Arroyo, G., Alonso, F., Vinagre, B. (2014). "Diseño de una ortesis activa para ayuda a la marcha de lesionados medulares" en XVII Congreso Nacional de Ingeniería Mecánica. Ortopedia.
- [5] González, R., García, E., Campos, Y., Abreu, K. (2016). "Utilización de las Nuevas Tecnologías en el Diseño de un Dispositivo Ortopédico." en Sociedad Cubana de Bioingeniería. Bioingeniería y Física Médica Cubana, 24-30.
- [6] HOSPITALALCIVAR. (2017). Servicio de Traumatología y Ortopedia. Recuperado de <https://hospitalalcivar.com/index.php/servicios-medicos/servicio-de-traumatologia-y-ortopedia/especialidades-2/Pie-y-tobillo> (accedido el 20/05/2017).
- [7] LAHORA. (2016). Fábricas de Ortesis en Ecuador. Recuperado de [http://lahora.com.ec/index.php/noticias/show/1101085980/-1/Construir%C3%A1n\\_tres\\_f%C3%A1bricas\\_para\\_ortesis\\_y\\_pr%C3%B3tesis.html#.WT85-pA182w](http://lahora.com.ec/index.php/noticias/show/1101085980/-1/Construir%C3%A1n_tres_f%C3%A1bricas_para_ortesis_y_pr%C3%B3tesis.html#.WT85-pA182w) (accedido el 20/05/2017).
- [8] Olivar, A., Broche, L., Díaz, C., Garlobo, L., Sagaró, Z. (2011). "Análisis de la Funcionabilidad de Prótesis Ortopédicas Transfemorales" en Revista Cubana de Ortopedia y Traumatología. Ortopedia y Traumatología, 25(2), 102-116.

# **SISTEMA PARA EL CÁLCULO Y REPRESENTACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DINÁMICO Y CINEMÁTICO DE LA TRANSMISIÓN DE POTENCIA DEL AUTOMÓVIL**

## **SYSTEM FOR CALCULATION AND REPRESENTATION OF DYNAMIC AND KINEMATIC BEHAVIOR OF AUTOMOTIVE POWER TRANSMISSION**

**Arlys Michel Lastre Aleaga<sup>1a\*</sup>, José Remberto Rodríguez Crespo<sup>1b</sup>, Cristhian Alexander Guano Calvache<sup>2c</sup>**

Universidad Tecnológica Equinoccial, Santo Domingo – Ecuador

<sup>2</sup>EMPROMOTOR KIA, Santo Domingo – Ecuador

<sup>a\*</sup>[arlys.lastre@ute.edu.ec](mailto:arlys.lastre@ute.edu.ec) , <sup>b</sup>[remberto.rodriguez@ute.edu.ec](mailto:remberto.rodriguez@ute.edu.ec) <sup>c</sup>[c.guano@hotmail.com](mailto:c.guano@hotmail.com)

### **Resumen:**

Los continuos avances de la tecnología han propiciado el desarrollado de diferentes plataformas, aplicaciones y software's encaminadas a favorecer la comprensión, análisis, cálculo, predicción y simulación de disímiles fenómenos y procesos en diferentes áreas de las ciencias de la ingeniería e informática. Es notable el empleo y desarrollo de nuevas plataformas informáticas de trabajo práctico, analítico y técnico, como el Software MatLab. MatLab contribuye al análisis exhaustivo de modelos y procesos, a través de sus módulos especializados e interfaces como "Simulink", "GUIDE", "App Designer", entre otros. El objetivo fundamental de la presente investigación consiste en presentar a MatLab como la herramienta que permite el simular numérica y gráficamente comportamientos dinámicos y cinemáticos del campo automotriz, a partir de la variación controlada de características basadas en algoritmos y lenguaje de programación. Para ello se propuso el estudio conceptual del sistema que fue desarrollado en la plataforma "GUIDE" de MatLab R2011b, con la finalidad de mejorar la comprensión del proceso que conlleva la programación informática de la plataforma MatLab.

**Palabras clave:** MatLab; algoritmo; programación; diseño; estudio.

### **Abstract:**

The continuous advances in technology have led to the development of different platforms, applications and software aimed at promoting the understanding, analysis, calculation, prediction and simulation of different phenomena and processes in different areas of engineering and computer science. The use and development of new computer platforms for practical, analytical and technical work, such as MatLab Software, is notable. MatLab contributes to the exhaustive analysis of models and processes, through its specialized modules and interfaces such as "Simulink", "GUIDE", "App Designer", among others. The main objective of the present research is to present MatLab as the tool that allows to simulate numerically and graphically dynamic and kinematic behavior of the automotive field, based on the controlled variation of characteristics based on algorithms and programming language. For this purpose, the conceptual study of the system was developed in the "GUIDE" platform of MatLab R2011b, in order to improve the understanding of the process that entails the computer programming of the MatLab platform.

**Keywords:** MatLab; algorithm; programming; design; study.

## 1. Introducción

Se observado que el problema principal en las Universidades, especialmente en el área de mecánica automotriz, está dado por el uso ineficiente de herramientas informáticas que ayuden a comprender los conceptos teóricos-prácticos que adquiere el alumno en el aula y en el lugar de prácticas (taller, laboratorio, entre otros), y teniendo en cuenta que los avances en la tecnología del vehículo han ido en un crecimiento continuo siempre buscando desarrollar y mejorar las prestaciones del mismo, basado en el diseño y mejoras no solo de estructura (chasis y carrocería), sino también en su sistema de transmisión de potencia (motor, caja de velocidades, diferencial y ruedas). Se presenta como justificación la simulación del comportamiento dinámico y cinemático del sistema de transmisión de potencia del automóvil mediante MatLab el cual ayuda al estudiante a evaluar los cambios que se producen a la salida del sistema de transmisión de potencia al modificar los parámetros que entrega el motor (potencia, momento torsor y revoluciones por minuto) así como, al variar las características específicas de los restantes elementos de la cadena cinemática (caja de velocidades, diferencial y ruedas motrices).

El simulador permitirá presentar la preparación metodológica y desarrollo computacional sobre la plataforma MatLab y así demostrar el apoyo que ésta tiene para impartir los contenidos prácticos de asignaturas relacionadas con la mecánica automotriz. Dicha aplicación informática permitirá:

- Demostrar que la programación realizada en MatLab permite simular numérica y gráficamente el comportamiento de los parámetros de torque y número de revoluciones que se alcanzan en el último eslabón de la cadena cinemática (ruedas motrices), a partir de la variación controlada de las características dinámicas relacionadas con la cinemática del movimiento del motor, la caja de velocidad, el diferencial y las dimensiones diametrales de las ruedas motrices.
- Desarrollar un sistema de cálculo basado en lenguaje "M" permite modificar prototipos de elementos intermedios de la cadena cinemática, a los que se le podrán cambiar sus características dimensionales así como, la definición de las condiciones de servicio específicamente el tipo de vehículo, relaciones de transmisión y cambios de velocidad.
- Para cumplir con el alcance descrito se define como objetivo general el explicar cómo se desarrolló un simulador de comportamiento cinemático y dinámico del sistema de transmisión de potencia del automóvil mediante el software MatLab; siendo los objetivos específicos:
  - Conceptuar los puntos estratégicos para desarrollar una plataforma de cálculo mediante MatLab.
  - Definir la conceptualización metodológica y algorítmica del simulador.
  - Mostrar los resultados obtenidos en la interfaz a partir del ingreso de datos correspondientes de los elementos que conforman la transmisión de potencia.
  - Operacionalizar mediante la variación numérica y gráfica las características dinámicas relacionadas con la cinemática de la transmisión de potencia generada en el motor, caja de velocidad, diferencial y dimensiones de los neumáticos.

Todo este proyecto técnico basado en la siguiente hipótesis:

Simular el comportamiento dinámico y cinemático del sistema de transmisión de potencia de un automóvil mediante el software MatLab permitirá demostrar que el estudiante pueda complementar su estudio adquirido en la teoría en base a simuladores, plataformas de cálculo y/o interfaces.

**MATLAB** o también llamado laboratorio de matrices, es un software matemático de desarrollo integrado con un lenguaje de programación llamado lenguaje M. Las prestaciones básicas de MATLAB son:

- Manipular matrices.
- Representar datos y/o funciones.
- Implementar algoritmos.
- Crear interfaces de usuario.
- Comunicar programas en otros lenguajes y hardware.
- Programar directamente procesadores digitales de señal.
- Crear códigos VHDL.

Además, dispone de dos herramientas que expanden sus prestaciones, como son:

- *Simulink* o plataforma de simulación multidominio y
- *GUIDE* o editor de interfaces de usuario.

Sus capacidades se pueden ampliar con:

- Toolboxes.
- Blocksets.

Es importante mencionar que actualmente es un software utilizado en universidades y centros de investigación.

## **2. Metodología**

Todo desarrollo de una plataforma informática se basa en tres etapas: el qué y por qué se desea obtener, cómo se lo debe hacer y a través de qué medio se lo hará. En este caso se desea presentar MatLab como contribuyó al desarrollo una plataforma de cálculo que permita al estudiante entender el sistema de transmisión de potencia del automóvil.

A continuación se muestran las etapas que permitieron el diseño del Simulador:

- **Conceptualización**

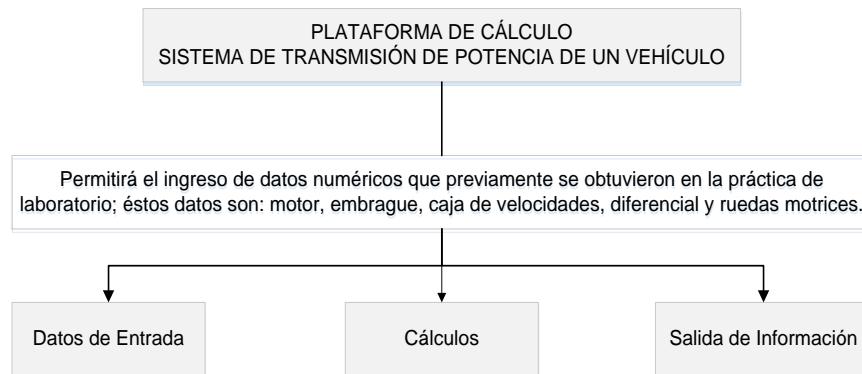


Figura 1: Esquema conceptual de la Plataforma de Cálculo propuesta

Los datos de entrada corresponden a los parámetros técnicos que se obtienen en la práctica de taller. Los parámetros son los siguientes:

- Nº cilindros del motor
- Diámetro x Carrera (cm)
- Cámara de compresión (cm<sup>3</sup>)
- Radio de la muñequilla del cigüeñal (m)
- Fuerza tangencial (N)
- Número de resortes del embrague
- Fuerza de cada resorte (N)
- Coeficiente de rozamiento de la guarnición
- Diámetro exterior e interior de la guarnición (mm)
- Número de dientes de la rueda motriz (tren fijo) y arrastrada (rueda secundaria) de la caja de velocidades
- Número de dientes del piñón y corona del diferencial
- Número de revoluciones del piñón (1/min)
- Par del piñón (N)
- Radio dinámico del neumático (mm)

Los cálculos que internamente realiza el simulador corresponden a fórmulas ya estipuladas dentro del campo automotriz. Entre estos cálculos se expone los siguientes:

#### **En el motor**

- Par motor

$$M_M = F_t * r \quad (1)$$

- Potencia

$$P = \frac{M_M * n_M}{9.55} \quad (2)$$

#### **En el embrague**

- Par de embrague

$$M_E = (F_{rot} * r_m) * 2 \quad (3)$$

### **En la caja de velocidades**

- Relación de transmisión por el número de dientes

$$i = \frac{z_2}{z_1} \quad (4.)$$

### **En el diferencial**

- Relación de transmisión total

$$i_t = i_{caja} * i_{puente} \quad (5)$$

### **En el neumático**

- Velocidad con que se desplaza el vehículo en cada una de sus marchas

$$V_V (I, II, III, IV, R) = \frac{2 * R_{din} * \pi * n_M * 3,6}{i_t (I, II, III, IV, V, R) * 60 * 1000} \quad (6)$$

La salida de información corresponde a los parámetros técnicos que se obtienen en los cálculos.

Por ejemplo:

#### **A obtener en el motor**

- $a$  = Relación carrera – diámetro
- $VH$  = Volumen o cilindrada total
- $MM$  = Par motor
- $P$  = Potencia

#### **A obtener en el embrague**

- $Frot$  = Fuerza de rotación
- $rm$  = Radio efectivo del embrague
- $ME$  = Par de embrague

#### **A obtener en la caja de velocidades**

- $i_{marcha}$  = Relación de transmisión por el número de dientes, en cada una de sus marchas  
A obtener en el diferencial
- $i_{dif}$  = Relación de transmisión en el puente por el número de dientes
- $i_{tmarcha}$  = Relación de transmisión total en cada marcha  
A obtener en la rueda
- $Vcmarcharp$  = Velocidad con que se desplaza el vehículo a diferentes rpm

## Diagrama de Flujo General de la Plataforma de Cálculo

A continuación se presenta el algoritmo de la plataforma de cálculo:

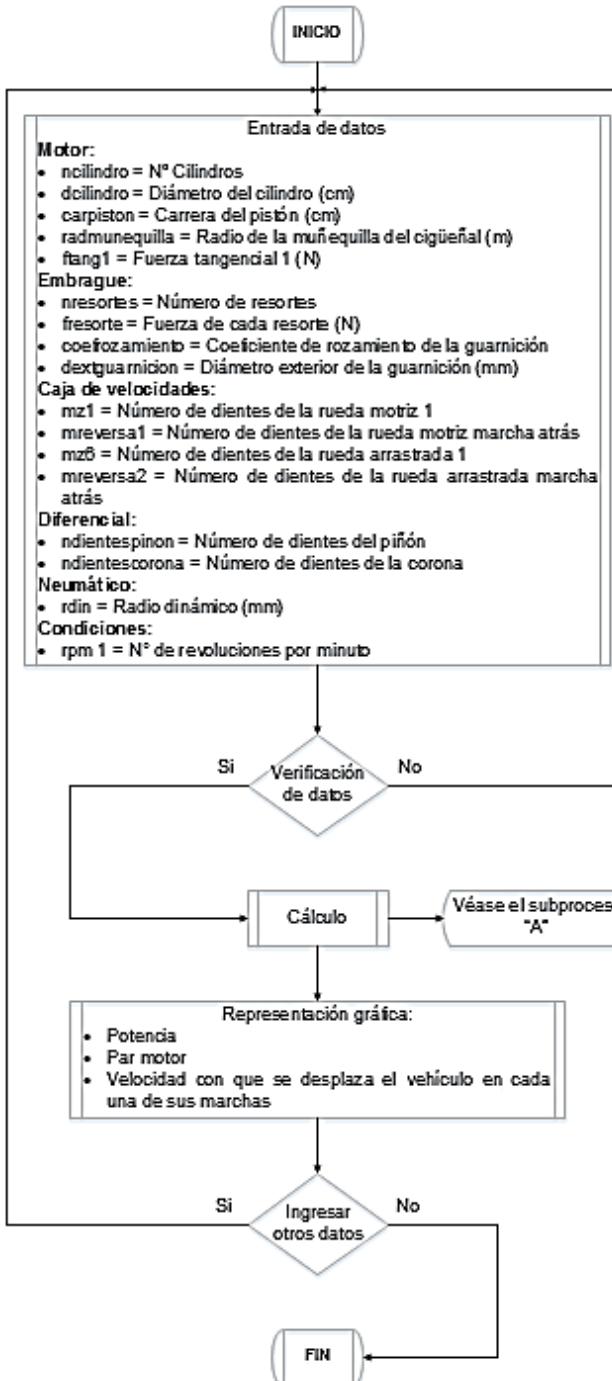


Figura 2: Diagrama de Flujo General de la Plataforma Cálculo

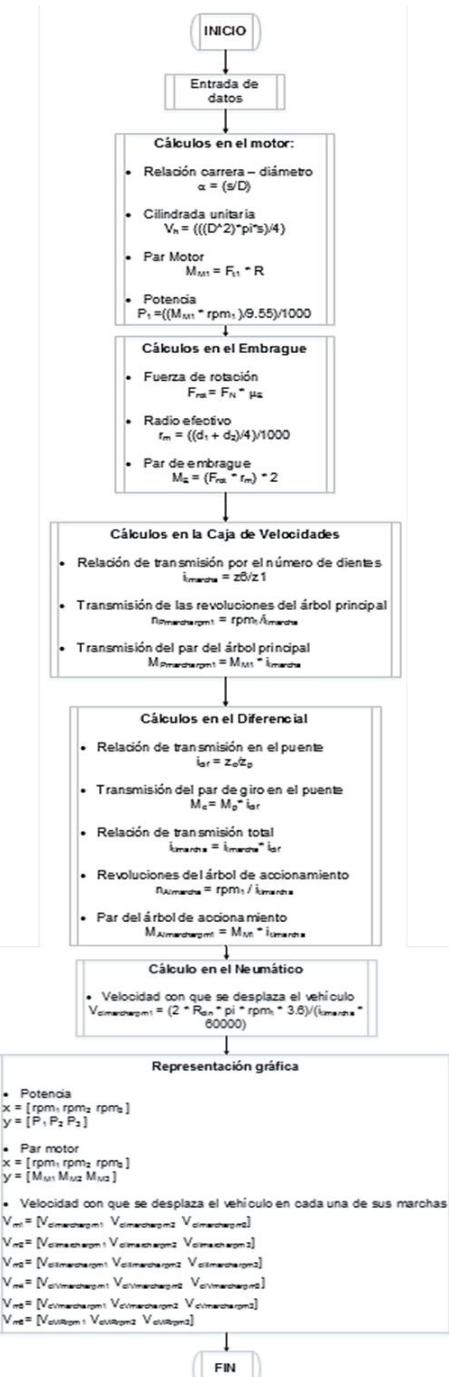


Figura 3: Diagrama Subproceso "A" de la Plataforma

- **Desarrollo de cálculos mediante MatLab R2011b**

**Ingreso de los parámetros y resultados a obtener:** Los datos con los que se cuenta se proceden a ingresar mediante simbología en el “Editor – Untitled” de MatLab (Fig. 4). En el caso de las fórmulas se las definirá mediante simbología (Fig. 5).

```

1 %Datos a ingresar del MCI
2 i=[4]; %Número de cilindros
3 D=[84]; %Diámetro del cilindro (mm)
4 s=[90]; %Carrera del pistón (mm)
5 Vc=[63.134]; %Volumen de la cámara de compresión (cm3)
6 Ft1=[2028.6]; %Fuerza tangencial a 1500(N)
7 Ft2=[1989.4]; %Fuerza tangencial a 4000(N)
8 Ft3=[1950.2]; %Fuerza tangencial a 7000(N)
9 r=[0.0900]; %Radio de la muñequilla del cigüeñal (mm)
10
11 %Datos a ingresar del embrague
12 FN=[600]; %Fuerza de cada resorte (N)
13 n=[6]; %Número de resortes
14 UE=[0.3]; %Coeficiente de rozamiento de la garnición
15 d1=[200]; %Diámetro exterior de la garnición (mm)
16 d2=[145]; %Diámetro interior de la garnición (mm)
17
18 %Datos a ingresar de la caja de cambios
19 z1=[11]; %Número de dientes de la rueda motriz 1
20 z2=[23]; %Número de dientes de la rueda motriz 2
21 z3=[25]; %Número de dientes de la rueda motriz 3
22 z4=[39]; %Número de dientes de la rueda motriz 4
23 z5=[44]; %Número de dientes de la rueda motriz 5
24 MR1=[12]; %Número de dientes de la rueda motriz marcha atrás
25 z6=[38]; %Número de dientes de la rueda arrastrada 1
26 z7=[43]; %Número de dientes de la rueda arrastrada 2
27 z8=[34]; %Número de dientes de la rueda arrastrada 3
28 z9=[41]; %Número de dientes de la rueda arrastrada 4
29 z10=[35]; %Número de dientes de la rueda arrastrada 5
30 MR2=[40]; %Número de dientes de la rueda arrastrada marcha atrás
31
32 %Datos a ingresar del diferencial

```

Figura 4: Ingreso de Variables de Caso de Estudio

```

45 %Cálculos motor
46
47 %Relación carrera - diámetro
48 a=(s/D)
49
50 %Volumen o cilindrada unitaria
51 Vh=((D^2)*pi*s)/4
52
53 %Volumen o cilindrada total
54 VH=Vh*i
55
56 %Relación de compresión
57 E=((Vh+Vc)/Vc)
58
59 %Par motor
60 MM1=Ft1*r
61 MM2=Ft2*r
62 MM3=Ft3*r
63
64 %Potencia
65 P1=((MM1*rpm1)/9.55)/1000
66 P2=((MM2*rpm2)/9.55)/1000
67 P3=((MM3*rpm3)/9.55)/1000
68
69

```

Figura 5: Ingreso de Fórmulas para el Caso de Estudio

**Ingreso de los parámetros para obtener las gráficas:** Los datos de las RPM y datos de respuesta de la Potencia, Par Motor y Velocidad Resultante serán cada una de las variables para las Gráficas. Para ello se define las coordenadas “x”, “y1” y “y2”. En cada uno de los siguientes casos:

Gráfica de la Potencia: se selecciona las coordenadas “x” y “y1” y se define la gráfica mediante el comando “figure” y “plot” (Figura 6).

Gráficas características (Potencia y Par Motor): se selecciona las coordenadas “x” “y1” y “y2” y se define la gráfica mediante el comando “figure” y “plotyy” (Figura 7).

```
File Edit Text Go Cell Tools Debug  
:         
:             
:  - 1.0 + ÷ 1.1    
1 x=[rpm1 rpm2 rpm3];  
2 y1=[P1 P2 P3];  
3  
4 figure  
5 plot(x,y1)  
6  
7  
8
```

Figura 6: Ingreso de Parámetros para graficar la Potencia mediante los resultados obtenidos.

Figura 7: Ingreso de Parámetros para graficar la Potencia mediante los resultados obtenidos.

### **3. Resultados y Discusión**

En base a la programación que se realizó en MatLab en su Editor se obtuvo como resultado la interfaz que se muestra en la Figura 9, y en base a la programación que se realizó en la herramienta de “App Designer” se obtuvo como resultado la Figura 10.

Interfaz del Sistema de Transmisión de Potencia											
ABRIR			AYUDA								
<b>Motor</b>											
Nº Cilindros	4										
Diámetro Cilindro (cm)	8.4										
Camera del Platón (cm)	9.0										
Vol. Cámara Comp.(cm³)	63.134										
Fuerza Tangencial 1 (N)	2028.8										
Fuerza Tangencial 2 (N)	1889.4										
Fuerza Tangencial 3 (N)	1950.2										
Radio Mafequilla (m)	0.0900										
<b>Embrague</b>											
Fuerza de Cadena Resorte (N)	600										
Nº. Resortes	6										
Coef. de Rozamiento	0.3										
D. Ext. Guarnición (mm)	200										
D. Int. Guarnición (mm)	145										
<b>Caja de Velocidades</b>											
Nº. Dientes R. Motriz	11										
Nº. Dientes R. Anarrasada	38										
z1	z5										
z2	z7										
z3	z8										
z4	z9										
z5	z10										
MR 1	12										
MR 2	40										
<b>Diferencial</b>											
Nº. Dientes Corona	79										
Nº. Dientes Piñón	19										
Nº. Rev. Piñón	800										
Par del Piñón (N)	750										
<b>Neumático</b>											
Radio dinámico (mm)	354										
<b>Condiciones</b>											
RPM 1	1500										
RPM 2	4000										
RPM 3	7000										
<b>Gráficas</b>											
<b>Respuetas</b>	<b>Respuetas a RPM 1</b>										
<b>Gráficas</b>	<b>Gráficas</b>										
a 1.0714	i III Marcha	1.36	:1	MP II Marcha	341.33	Nm	it IV Marcha	4.3711	:1	MA III Marcha	1032.40 Nm
Vh 498.75 cm³	i IV Marcha	1.0513	:1	MP III Marcha	248.30	Nm	it V Marcha	3.3074	:1	MA IV Marcha	798.052 Nm
VH 1995.0 cm³	i Marcha	0.7954	:1	MP IV Marcha	191.93	Nm	it MR	13.8596	:1	MA V Marcha	603.848 Nm
E 8.9	i MR	3.3333	:1	MP V Marcha	145.22	Nm	na I Marcha	104.430	1/min	MA MR	2530.41 Nm
MM 182.57 Nm	nP I Marcha	434.21	1/min	MP MR	608.58	Nm	na II Marcha	192.964	1/min	Vt I Marcha	13.9367 Km/h
P 28.676 kW	nP II Marcha	802.32	1/min	i diff	:1	:1	na III Marcha	265.264	1/min	Vt II Marcha	27.575 Km/h
Frot 1080 N	nP III Marcha	1102.9	1/min	nA	192.40	1/min	na IV Marcha	343.161	1/min	Vt III Marcha	35.4008 Km/h
rm 0.0862 m	nP IV Marcha	1426.8	1/min	Mc	3118.4	Nm	na V Marcha	453.526	1/min	Vt IV Marcha	45.7966 Km/h
ME 186.3 Nm	nP V Marcha	1885.7	1/min	it I Marcha	14.363	:1	na MR	108.227	1/min	Vt V Marcha	60.5253 Km/h
i I Marcha 3.4545 :1	nP MR	450	1/min	it II Marcha	7.7735	:1	MA I Marcha	2622.42	Km/h	Vt MR	14.4435 Km/h
i II Marcha 1.8696 :1	MP I Marcha	630.710	Nm	it III Marcha	5.6547	:1	MA II Marcha	1419.23	Km/h		

Figura 8: Simulador de Cálculos del Sistema de Transmisión de Potencia  
(Ventana de entrada de datos y visualización de resultados numéricos)

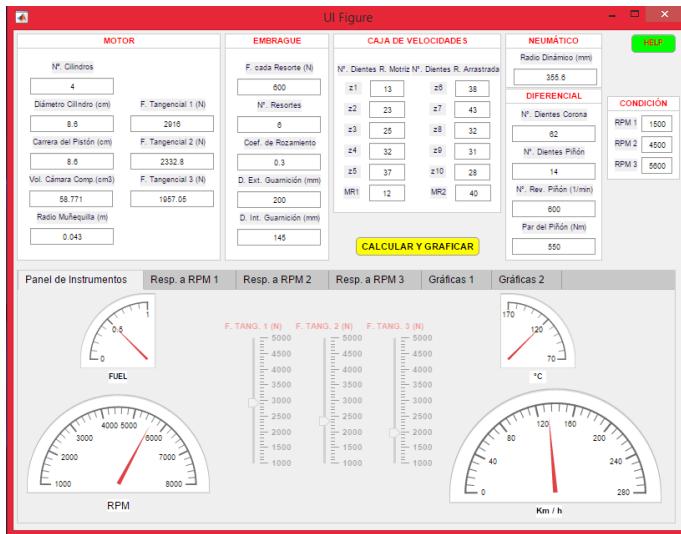


Figura 9: Simulador de Cálculos del Sistema de Transmisión de Potencia  
(Ventana de entrada de datos y visualización de resultados numéricos)

La Interfaz elaborada mediante “GUIDE” de MatLab R2011b permite al alumno observar todo el ambiente de trabajo sin necesidad de mover controles de desplazamiento en la ventana, y además incluye menús de ayuda y complemento del estudio teórico. En cuanto al análisis de las gráficas resultantes se permite una lectura entre puntos adecuada para un estudio de caso.

La Aplicación elaborada mediante “App Designer” de MatLab R2016a además de permitir observar los resultados y gráficas de forma independiente, agrega una simulación del movimiento de las agujas en el tacómetro y el velocímetro del panel de instrumentos de un vehículo; y al igual que la Interfaz incluye su menú de ayuda.

#### 4. Conclusiones y Recomendaciones

- Se explicó el desarrollo del simulador de comportamiento cinemático y dinámico del sistema de transmisión de potencia del automóvil mediante el software MatLab.
- Se conceptuó los puntos estratégicos para desarrollar una plataforma de cálculo mediante MatLab.
- Se definió la conceptualización metodológica y algorítmica del simulador mediante los resultados obtenidos en la interfaz a partir del ingreso de datos correspondientes de los elementos que conforman la transmisión de potencia de un automóvil.
- De acuerdo a las conclusiones obtenidas basado en el Software MatLab resulta oportuno el divulgar de manera abierta su uso técnico ya que ayudará a complementar las clases teóricas que se reciben en las aulas de clase.

## Bibliografía

1. Borrell, G., & Nogueras. (2013). Matemáticas en Ingeniería con Matlab y Octave (0.1ra ed.). Free Software Foundation.
2. Domínguez, E. J., & Ferrer, J. (2008, 23 de Abril). La transmisión en los vehículos. Recuperado de [http://www.editexebooks.es/AdjuntosLibros/Sist\\_Transm-Frenado\\_Ud01.pdf](http://www.editexebooks.es/AdjuntosLibros/Sist_Transm-Frenado_Ud01.pdf)
3. Kindler, H. (1986). Matemática aplicada a la técnica del automóvil (8º ed.). Barcelona: REVERTE.
4. Orduz, M. (2013, 13 de Junio). Los últimos adelantos tecnológicos en carros - Archivo Digital de Noticias de Colombia y el Mundo desde 1990 – El Tiempo.com. Recuperado de <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-12865657>
5. The MathWorks, Inc. (n.d.). Learn More About Automotive Solutions. Recuperado de [https://es.mathworks.com/solutions/automotive/index.html?s\\_tid=gn\\_loc\\_drop](https://es.mathworks.com/solutions/automotive/index.html?s_tid=gn_loc_drop)
6. The MathWorks, Inc. (n.d.). Delphi Diesel Systems Ensures Software Reliability and Reduces Time to Market. Recuperado de [https://es.mathworks.com/company/user\\_stories/delphi-diesel-systems-ensures-software-reliability-and-reduces-time-to-market.html](https://es.mathworks.com/company/user_stories/delphi-diesel-systems-ensures-software-reliability-and-reduces-time-to-market.html)
7. The MathWorks, Inc. (n.d.). Analytically Calibrate Powertrain Controllers to Meet Emission Requirements. Recuperado de <https://es.mathworks.com/solutions/automotive/commercial-off-highway-vehicles.html>
8. Timon, J. (2008, 28 de Marzo). Características de los motores. Recuperado de [http://automocion.bligoo.es/media/users/21/1066192/files/273640/CARACTERISTICAS\\_DE\\_LOS\\_MOTORES.pdf](http://automocion.bligoo.es/media/users/21/1066192/files/273640/CARACTERISTICAS_DE_LOS_MOTORES.pdf)

## TEMA: NUEVAS TECNOLOGÍAS

---

# RECUPERACIÓN DE RUTAS TECNOLÓGICAS DE PIEZAS ROTACIONALMENTE SIMÉTRICAS MEDIANTE RAZONAMIENTO BASADO EN CASOS

## *RETRIEVAL OF TECHNOLOGICAL ROUTES OF AXISYMMETRIC PARTS THROUGH CASE-BASED REASONING*

***Jhony Polibio Pozo Chaves<sup>1a\*</sup>, Alexis Cordovés García<sup>2b</sup>***

<sup>1</sup>Universidad de las Fuerzas Armadas, ESPE, Ecuador

<sup>2</sup>Universidad Tecnológica Equinoccial, Santo Domingo, Ecuador

<sup>a\*</sup>[jhonypzo@hotmail.com](mailto:jhonypzo@hotmail.com) , <sup>b</sup>[alexis.cordoves@ute.edu.ec](mailto:alexis.cordoves@ute.edu.ec)

### **Resumen:**

Pese a que la generación de la ruta tecnológica para la elaboración mecánica de piezas no es un problema nuevo, la laboriosidad y necesaria experticia de los profesionales de manufactura complejizan la tarea. La presente investigación se centra en la recuperación de rutas tecnológicas de maquinado para piezas rotacionalmente simétricas bajo el enfoque del Razonamiento Basado en Casos, conocido por las palabras en inglés Case Based Reasoning (CBR). Dentro de estas piezas se incluyen las de tipo árbol, buje y disco, por ser de uso frecuente en la industria metalmecánica. Con este fin, se determinaron las características fundamentales de las piezas considerando atributos de tipo geométrico y tecnológico, y se determinaron los Rasgos de Semejanza que permiten establecer la comparación entre dos piezas mediante Inteligencia Artificial (IA). Se definió una función de Semejanza Métrica Global que permite recuperar el caso más relevante de los existentes en una base de datos de piezas, en la que la pieza recuperada sea la más similar a la nueva pieza cuya ruta tecnológica de fabricación deberá ser definida. En la “base de casos”, un caso está constituido por el modelo 3D de la pieza y su correspondiente ruta tecnológica de fabricación.

**Palabras Claves:** Manufactura, Ruta Tecnológica, Razonamiento Basado en Casos, Inteligencia Artificial

### **Abstract:**

Although the generation of the technological route for the mechanical processing of parts is not a new problem, the laborious and necessary expertise of the manufacturing professionals complicate the task. The present research focuses on the retrieval of technological routes during the planning of machining processes for rotationally symmetrical parts under the approach of Case Based Reasoning (CBR). These pieces include tree, bushing and disk, as they are frequently used in the metalworking industry. For this purpose, the fundamental characteristics of the pieces were determined considering attributes of geometric and technological type, and the similarity traits were determined that allow to establish the comparison between two pieces by means of Artificial Intelligence (IA). A Global Metric Similarity function was defined that allows to recover the most relevant case from those in a parts database, in which the recovered part is the most similar to the new part whose technological route of manufacture must be

defined. In the "case base", a case is constituted by the 3D model of the piece and its corresponding technological route of manufacture.

**Keywords:** Manufacturing, Technology Route, Case Based Reasoning, Artificial Intelligence

## 1. Introducción

El razonamiento basado en casos es una manera de razonar haciendo analogías. Resuelve problemas nuevos mediante la adaptación de soluciones previas usadas para resolver problemas similares (Bergmann, 2000). Diferentes tipos de conocimiento dan lugar a diferentes tipos de sistemas basados en el conocimiento, entre ellos los sistemas basados en reglas (Peng, 2011), los sistemas basados en probabilidades (Castillo, et al., 1997), sistemas expertos o redes expertas (Hilera, et al., 1995) y los sistemas basados en casos (CBS, Case-Based Systems), (Naranje, 2014), (Naranje, 2017).

La presente investigación está encaminada a la formalización del conocimiento del RBC aplicado a la manufactura de productos, dentro del dominio de las piezas rotacionalmente simétricas. Se identifican, definen y establecen los rasgos de semejanza de la pieza que conforma un "caso", y se establece una metodología para la recuperación de la ruta tecnológica de maquinado dentro de la concepción de un sistema de planificación de procesos asistido por computadoras CAPP para piezas rotacionalmente simétricas.

La geometría de las piezas, con independencia a su complejidad, puede ser definidas a partir de la unión de elementos de formas primitivas (EFP) que constituyen elementos geométricos básicos que se pueden obtener al menos mediante un paso tecnológico de maquinado, generalmente comprenden más de un paso (Irani, S.A; Koo. H.Y. e Raman, S., 1995), (Ji, W., Wang, L., Haghghi, A., Givehchi, M., & Liu, X., 2016).

Para las piezas rotacionalmente simétricas pueden ser definidas como elementos de forma básicos los siguientes: escalones cilíndricos, cónicos o de forma irregular, con los cuales se puede modelar una pieza o producto y que se le puede adicionar información de diseño y de manufactura (Acosta, G., & Ávila, R., 2008). Forman parte del objeto de la presente investigación las piezas rotacionalmente simétricas tipo árbol, buje y disco por ser de uso frecuente en la industria metalmecánica.

## 2. Metodología

La manufactura del producto siempre parte de su diseño original, el que contiene todas las especificaciones de carácter geométrico y dimensional que requiere el producto para el cumplimiento de su función o destino de servicio. Para realizar su fabricación se tomará en cuenta las especificaciones de diseño, las condiciones tecnológicas en la que se llevará a cabo su producción, tipo de tecnología (convencional o de punta), accesorios tecnológicos, tipo de pieza en bruto a partir de la cual se fabricará la pieza, entre otras consideraciones tecnológicas y organizativas. Entonces, necesariamente para la concepción de la etapa de recuperación de la pieza más semejante a la nueva pieza en una base de casos se tendrá que procesar información de diseño y tecnológica.

### 2.1. Estructura para la representación del caso en el sistema de RBC

Un caso consiste en la descripción de un problema y su solución (S. M. Seyedhosseini, A. Makui, M. Ghadami, 2011). En la presente investigación, un caso es la descripción geométrica y dimensional de una pieza rotacionalmente simétrica y su ruta tecnología de maquinado. Por lo que, su representación deberá abarcar las tres funciones indicadas en la figura 2.1



Figura 2.1: Estructura para la representación de un caso en la base de casos

### La función pieza

Las piezas serán modeladas paramétricamente, mediante los elementos de forma, asignándoles un único código denominado *código del elemento de forma primitivo (EFP)*. A cada elemento de forma que compone la geometría del producto, le corresponde los datos siguientes: dimensiones geométricas, tolerancia y acabado superficial (Ver figura 2.2). Para lograrlo se necesitará tener una librería de elementos de forma paramétricos que permita la representación de la pieza terminada. En la figura 2.3 se muestra una síntesis de la biblioteca de Elementos de Forma Primitivos con superficies exteriores e interiores en piezas rotacionalmente simétricas. El código EC11 representa a un Escalón Cilíndrico biselado.

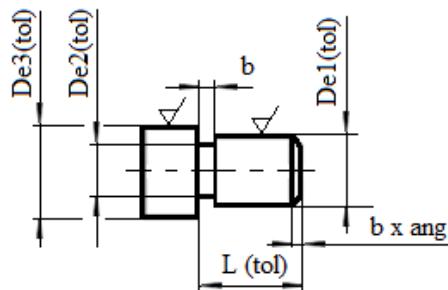


Figura 2.2: Representación paramétrica de un elemento de forma primitivo (EFP)

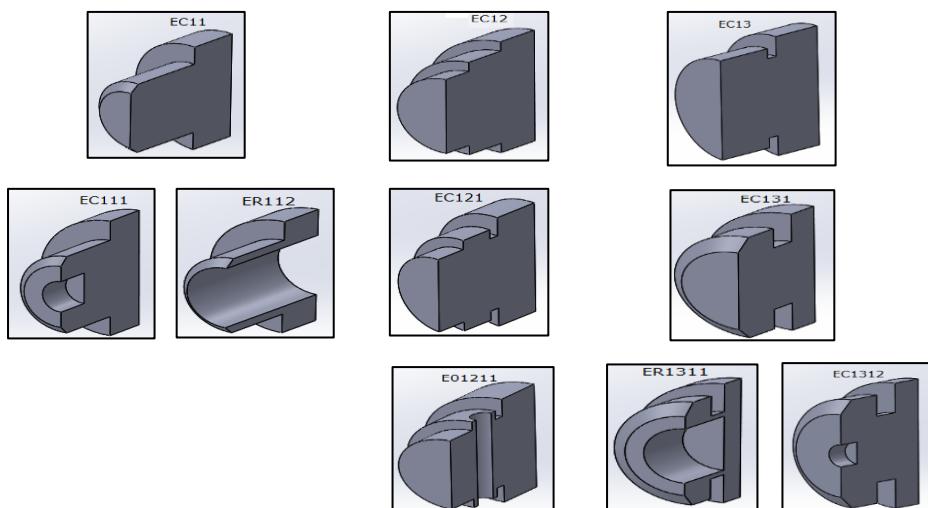


Figura 2.3: Biblioteca de Elementos de Forma Primitivos de superficies exteriores e interiores en piezas rotacionalmente simétricas.

### **La función operación tecnológica**

Las operaciones de corte son consideradas como el conjunto de acciones sucesivas de eliminación de material a un elemento de forma (EFP). Son suficientemente básicas y reciben un único código llamado **código de operación (CO)**. En la figura 2.4 se muestra la operación básica de cilindrado identificada con el código CO1.

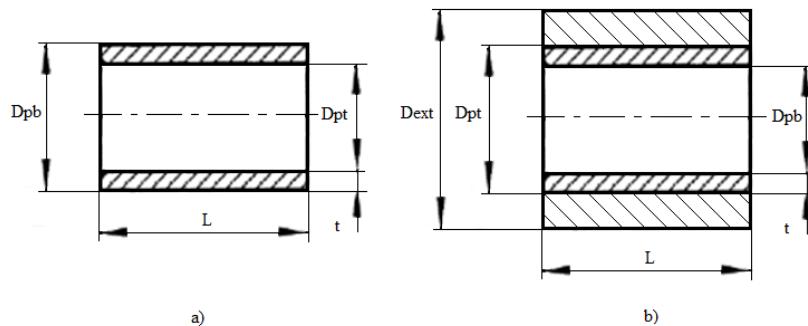


Figura 2.4: Código de la operación de corte periférico

- a) Superficie exterior
- b) Superficie interior

En la figura 2.5 se representa, en la primera fila, las operaciones simples que se realizan en las superficies exteriores de las piezas con simetría axial, y en la segunda fila, las correspondientes a las elaboraciones interiores a este tipo de piezas.

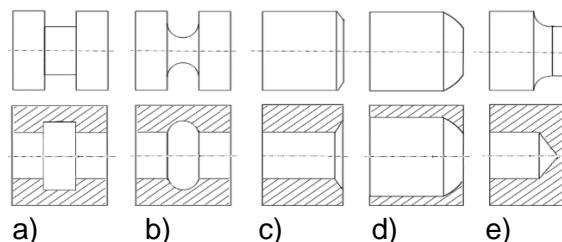


Figura 2.5: Códigos de operaciones. a) CO2 (ranura), b) CO3 (ranura con arco), c) CO4 (bisel), d) CO6 (radios de redondeo) e) CO5 (radio de acuerdo y perforado)

También es codificada la forma de colocación y fijación, ésta no comprenden arranque de material (Ver Tabla1 simplificada). El cambio de colocación se indicará al especificar una nueva forma de colocación.

Tabla 1. Codificación de la colocación de las piezas

Formas de colocación	Código de colocación
Al plato	F01
Entre plato y punto	F02
Entre plato y luneta	F03
.....	

### **La función proceso**

Mediante el código de EFP se puede representar simbólicamente, cada estado intermedio del proceso, unido a los **códigos de operación** y a las condiciones de colocación. Cada paso

en el proceso de corte se compone de una pieza antecedente, una operación de corte, su colocación y una pieza descendente (Ver Figura 2.6).

En esta estructura se representa el proceso de corte de una sección de barra laminada fijada en el plato de la máquina herramienta, que constituye el nodo padre o inicial (EC5) al que le son practicadas operaciones de corte sucesivas identificadas por su correspondiente *Código de operación*, hasta obtener el estado final del EFP o nodo hijo (EC931).

En la figura 2.6 se observa que antes de producirse la primera operación de corte, la pieza en bruto representada en este caso por el Código EC5 es el punto de partida para alcanzar el estado intermedio EC9. De esta forma a EC5 se le aplica la operación de corte (CP01) para alcanzar el elemento EC9. A su vez sobre éste se aplica la operación de corte CP02 de ranurado para alcanzar el estado intermedio EC93 y luego la operación de corte CP04, de biselado, para llegar al estado último del elemento de forma EC931. Siguiendo un recorrido inverso (ascendente), al eliminar cada vez el último dígito del EFP se llega al estado anterior de la operación tecnológica, pudiéndose conocer así el estado de elaboración del elemento en cada etapa de tránsito hasta el estado inicial de la pieza en bruto. Este aspecto es esencial al realizar la actualización de la ruta tecnológica recuperada de la base de casos y su adaptación para la nueva pieza.

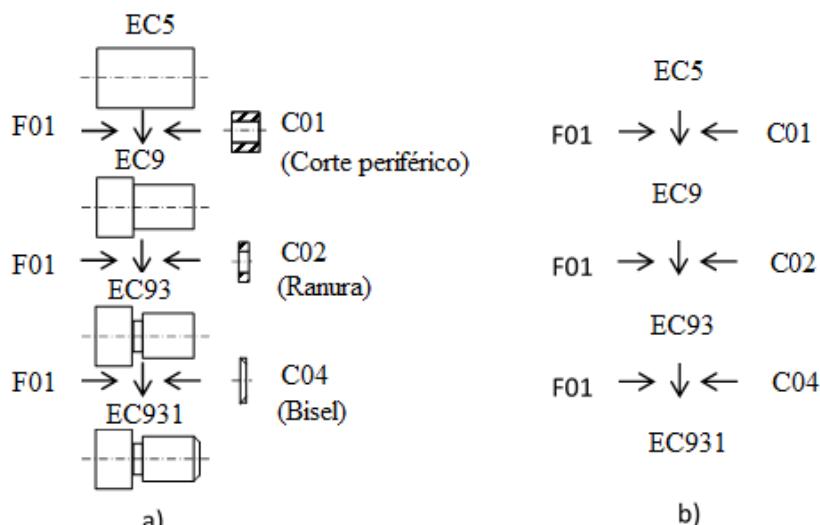


Figura 2.6. Representación de proceso de corte con los pasos intermedios

Como se puede observar, cada una de las tres funciones que soportan la estructura de representación de un caso, ha sido modelada para brindar la información precisa correspondiente a cada momento del procesamiento de las piezas.

## 2.2. Determinación de los rasgos de semejanza para piezas rotacionalmente simétricas

Al concebir un sistema de RBC una de las tareas a resolver es determinar cuáles son los rasgos de semejanza entre los casos, llamados también atributos de relevancia. En esta investigación fueron definidos, en calidad de rasgos de semejanza de las piezas rotacionalmente simétricas, los siguientes:

1. Semejanza geométrica de los elementos de forma que componen el modelo de la pieza. La similitud de dos EFP, perteneciente a dos piezas distintas, dependerá del grado de dificultad de transformar una forma, en la correspondiente de la otra pieza.
2. Descripción dimensional: Abarca la definición de las dimensiones de cada EFP con las tolerancias lineales, diametrales, y las de forma y posición así como, el valor de la rugosidad superficial.

3. Dimensiones y forma de la pieza en bruto: No resultará la misma ruta si la pieza se obtiene a partir de una barra laminada o de una sección de la barra, de una pieza en bruto forjada o de una fundida.
4. Material: El tipo de material y su dureza (HB) influye en la selección de las herramientas y en los regímenes de corte.
5. Tratamiento térmico: Influye en el orden del proceso de maquinado, se ubica convenientemente en el proceso con anterioridad a las operaciones de acabado.

### **2.3. Concepción del proceso de captura, en la base de casos, de la pieza prototipo más semejante a un nuevo caso**

Los sistemas RBC solo recuperan un caso similar de acuerdo a los atributos de la descripción del problema, o sea los rasgos de semejanza. La calidad de la aproximación mejora en la medida en que se incorpore la mayor cantidad de conocimiento posible. Las similitudes locales se ordenaron en cuatro clases:

1. De tipo numérico
2. De tipo independiente
3. De tipo rango de valores
4. De tipo dependiente

#### **De tipo numérico:**

$$Sim(x, y) = \frac{1}{1+|x-y|} \quad (1)$$

Pertenecen a esta clasificación: La dureza del material (HD) y la rugosidad superficial.

#### **De tipo independiente:**

$$Sim(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{si } x = y \\ 0 & \text{si } x \neq y \end{cases} \quad (2)$$

Son booleano: Tipo de material de la pieza en bruto, configuración de la pieza en bruto, la relación diámetro/longitud de la pieza en bruto y el tipo de tratamiento térmico.

**De tipo rango de valores:** Los atributos de rango de valores son aquellos en que dos valores diferentes tienen una misma similitud local y se define por:

$$Sim(x, y) = f(x, y) \quad (3)$$

**Donde**  $f(x, y)$  es una función enumerada específica de acuerdo a las características de un atributo, en este caso se encuentra la Tolerancia

$$Sim(x, y) = 1 - \frac{|x-y|}{M} \quad (4)$$

**De tipo dependiente:** Estos son atributos que tienen similitudes locales relevantes no solo para sus propios valores, sino también para los valores de los otros atributos, en otras palabras, este tipo de similitud afecta la solución del caso junto con otros atributos. Este tipo de similitud local se define como:

$$Sim(x, y) = f(x, y, x_1, y_1, x_2, y_2, \dots, x_n, y_n) \quad (5)$$

**Donde:**  $f(x, y, x_1, y_1, x_2, y_2, \dots, x_n, y_n)$  es una función enumerada de un atributo y de sus atributos dependientes. En este tipo de similitud local se encuentra la semejanza geométrica que incluye la forma geométrica, rugosidad superficial ( $R_a$ ).

## Similitud Global

La función de semejanza global en un sistema de RBC integra los rasgos de similitud local que describen la tarea específica para la cual ha sido creado dicho sistema. En el caso del sistema RBC para la Planificación de Procesos (CAPP) que se presenta, los rasgos de semejanza locales fueron ordenados en dos grupos. El primero, caracteriza la similitud local geométrica de los elementos de forma primitivos (EFP) de la pieza y su precisión, mientras que el segundo, agrupa los factores que caracterizan el material utilizado, su tratamiento térmico y la pieza en bruto a partir de la que se obtiene la pieza terminada. Hsin-chi Chang and Wen F. Lu (1998), plantearon una función de similitud local geométrica entre dos elementos de forma primitivos que relaciona la rugosidad superficial, la clase de exactitud y su forma geométrica:

$$Simg (EF_{pi}, EF_{ni}) = \frac{Sim_{Rz} + Sim_{IT}}{2} * Sim_{fg} \quad (6)$$

**Donde:**

$Sim_{Rz}$  : Similitud local de rugosidad superficial entre dos EFP.

$Sim_{IT}$  : Similitud local de tolerancia entre dos EFP.

$Sim_{fg}$  : Similitud local de forma geométrica entre dos EFP.

La similitud local de forma geométrica  $Sim_{fg}$  entre dos EFP, tendrá en cuenta las operaciones de maquinado que se han de realizar, y cómo se eliminan o se adicionan las operaciones de maquinado para poder convertir una pieza prototipo en la nueva pieza. Así:

$$Sim_{fg} = W_p \frac{(T_p - L_p)}{T_p} + W_n \frac{(T_n - L_n)}{T_n} + Cf \quad (7)$$

**Donde:**

El primer término  $W_p \frac{(T_p - L_p)}{T_p}$  describe las operaciones de eliminación.

El segundo término  $W_n \frac{(T_n - L_n)}{T_n}$  describe las operaciones de adición.

$W_p$  y  $W_n$  : son los factores de “peso” correspondientes a las operaciones de eliminación y adición en la pieza prototipo y en la nueva pieza, se asume en este caso que  $W_n < W_p$  porque eliminar operaciones de corte, de un caso recuperado, es mucho más fácil que adicionar uno de otro caso que se encuentre en la base de casos.

$T_p$ : es el número total de elementos de forma, que componen el índice de forma geométrica, de la pieza prototipo.

$T_n$ : es el número total de elementos de forma que componen el índice de forma geométrica de la nueva pieza.

$L_p$ : es el número de operaciones de corte que deben ser eliminadas en la pieza prototipo.

$L_n$ : es el número de operaciones de corte que deben ser añadidas en la nueva pieza.

$Cf$ : Coeficiente de forma: Considera el tipo de piezas que se comparan (Ej: dos piezas tipo árbol o tipo buje), se asigna el valor de “0,1” a las piezas de un mismo tipo, caso contrario el valor “0”, favoreciéndose así a las piezas de igual tipo.

La ecuación (7), muestra que a menor eliminación o adición de procesos de corte aplicados, mayor será la medida de semejanza. Estos valores de semejanza geométrica, serán guardados para ser usados en la fase de modificación.

Finalmente, la semejanza global quedará determinada por un valor inferior a “1”, por la expresión siguiente:

$$Semejanza = Wf \frac{\sum_{i=1}^k Simg(EFpi, EFni)}{(EFp+EFn)/2} + Wm \frac{\sum Simm(Mtt, HB, Tm, Fm, Dm)}{\sum Mm} \quad (8)$$

### Donde:

$Wf$  y  $Wm$ : Factores de peso de la forma geométrica y el material, su suma debe ser = 1.

$\sum_{i=1}^k Simg(EFpi, EFni)$ : Similitud local geométrica,  $k$  es la cantidad de dígitos comunes.  $EFpi$  : es el elemento de forma  $i$  de la pieza prototipo.

$EFni$  : es el elemento de forma  $i$  de la nueva pieza.

$(EFp + EFn)/2$  : Número de elementos de las piezas que se comparan.

$\sum Simm(Mtt, HB, Tm, Fm, Dm)$ : Semejanza global de los atributos del material de la pieza en bruto. ( $Mtt$ ) tipo de Tratamiento Térmico, ( $HB$ ) la dureza, ( $T_m$ ) Tipo de material, ( $F_m$ ) las características de forma, ( $D_m$ ) dimensión de la pieza en bruto, expresada en la relación entre su longitud y el diámetro, L/D.

$\sum M_m$  : Número de propiedades del material que se analizan. Para este caso es igual a 5.

### 3. Resultados y Discusión

Como resultado del presente artículo se destaca la descripción matemática del proceso de recuperación del caso más semejante, a la nueva pieza a fabricar, de las contenidas en una base de casos de piezas rotacionalmente simétricas.

Se ha creado una biblioteca de Elementos de Formas Primitivos que abarca las configuraciones de piezas y los tipos de superficies de mayor presencia en el dominio de piezas en estudio. En la Figura 2.3 se muestra una representación de dichos EFP.

La representación del proceso de corte del escalón cilíndrico de la Figura 2.6, muestra el camino a seguir para recorrer los estados intermedios en el proceso de elaboración de las piezas, durante la comparación de la nueva pieza con las existentes en la base de casos al determinar su semejanza global  $Simg(EFpi, EFni)$  Ec.7. Al aplicar la función de semejanza global Ec. 8. Se obtendrá una serie de piezas semejantes a la nueva pieza, ordenada por el valor de semejanza global, finalmente el usuario decidirá el caso que se deberá recuperar.

La información generada podrá ser utilizada en la elaboración posterior del proceso tecnológico detallado de la pieza en máquinas herramienta convencionales o para la confección del programa pieza para máquinas herramienta CNC.

### 4. Conclusiones

Como conclusiones del trabajo se destacan las siguientes:

1. Se ha mostrado un procedimiento para la recuperación de piezas rotacionalmente simétricas desde una base de datos mediante técnicas de Inteligencia Artificial (IA)
2. La concepción de la etapa de recuperación dentro de un sistema de RBC orientado a la manufactura, tendrá necesariamente que soportarse sobre el procesamiento de información de diseño y de la tecnología de fabricación de las piezas contenidas en la base de casos.
3. Los resultados alcanzados reafirman las potencialidades de la integración del método de RBC con formas eficientes de representación y almacenamiento de información como son los EFP en los sistemas de manufactura.
4. Han sido creadas las bases conceptuales que permitirán el desarrollo ulterior de una aplicación informática que contribuya a la recuperación, desde una base de casos, del caso más semejante a la nueva pieza que se va a fabricar.

### Bibliografía

1. Acosta, G., & Ávila, R. (2008). Sistema CAPP para la generación de tecnologías de maquinado. *Revista trimestral, Ciencias Holguín*.
2. Bergmann, R; Muñoz, H; Veloso, M. (2000). General-Purpose Case-Based Planning: Methods and Systems. University of Kaiserslautern, Germany, and Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA, USA.
3. Castillo, E; J. M. Gutiérrez, et al. (1997) "Expert Systems and Probabilistic Network Models." Springer, New York. Versión Española editada por la Academia Española de Ingeniería.
4. Fletcher, C., Ritchie, J., Lim, T., & Sung, R. (2013). The development of an integrated haptic VR machining environment for the automatic generation of process plans. *Computers in Industry*, 64(8), 1045-1060.
5. Hilera, J; V. Martínez. (1995). "Redes Neuronales Artificiales: Fundamentos, modelos y aplicaciones." Addison-Wesley.
6. Hsin-chi C., Wen F. L., and Xiaoqing F. L.: "Intelligent Case Retrieval and Modification for Machining Process Planning of Axisymmetric Parts". Proceedings of the Artificial Intelligence and Manufacturing, 1998
7. Ji, W., Wang, L., Haghghi, A., Givehchi, M., & Liu, X. (2016). A reachability based approach for machining feature sequencing. *Journal of Manufacturing Systems*, 40, 96-104
8. Naranje, V., & Kumar, S. (2014). A knowledge based system for automated design of deep drawing die for axisymmetric parts. *Expert Systems with Applications*, 41(4), 1419-1431.
9. Naranje, V., & Kumar, S. (2017). Knowledge-Based System for Design of Deep Drawing Die for Axisymmetric Parts. In *AI Applications in Sheet Metal Forming* (pp. 93-119). Springer Singapore.
10. Pawan Sharma, Mahendra Sharma. "Artificial Intelligence in Advance Manufacturing Technology-A Review Paper on Current Application". International Journal of Engineering, Management & Sciences (IJEMS) ISSN-2348 –3733, Volume-1, Issue-1, January 2014.
11. Peng, G., Chen, G., Wu, C., Xin, H., & Jiang, Y. (2011). Applying RBR and CBR to develop a VR based integrated system for machining fixture design. *Expert Systems with Applications*, 38(1), 26-38.
12. S. M. Seyedhosseini, A. Makui, M. Ghadami "Applying Case-Based Reasoning in Supporting Strategy Decisions" World Academy of Science, Engineering and Technology, Vol: 5, 2011

# **ANÁLISIS DE CIRCUNSTANCIAS Y TÉCNICAS DE CONDUCCIÓN VEHICULAR PARA OPTIMIZAR EL RENDIMIENTO DEL COMBUSTIBLE EN UN 10%**

## ***ANALYSIS OF CIRCUMSTANCES AND VEHICLE DRIVING TECHNIQUES TO OPTIMIZE FUEL EFFICIENCY BY 10%***

**Luis Xavier Orbea Hinojosa<sup>1a\*</sup>, Cristhian Alexander Guano Calvache<sup>2b</sup>, Elvis Patricio Gualotuña Quishpe<sup>3c</sup>, Mirian del Carmen Orbea Hinojosa<sup>4d</sup>,**

Universidad Tecnológica Equinoccial, Santo Domingo – Ecuador

<sup>2</sup>EMPROMOTOR KIA, Santo Domingo – Ecuador

<sup>3</sup>Universidad Tecnológica Equinoccial, Santo Domingo – Ecuador

<sup>4</sup> LAOF S.A sucursal Ecuador.

<sup>a</sup>luis.orbea@ute.edu.ec, <sup>b</sup>c.guano@hotmail.com, <sup>c</sup>elvis.gualotuna@ute.edu.ec,  
<sup>d</sup>mirinao@hotmail.com

### **Resumen:**

En la actualidad se ha visto la necesidad del cuidado del medio ambiente dado la contaminación que es producida por los vehículos. Para lo cual existe varios métodos de preservación de los recursos energéticos tales como el petróleo (base de los combustibles automotrices actuales); otro método es la conducción eficiente, que según estudios realizados ha demostrado que se puede tener una reducción más eficaz de emisiones de gases en carretera. Las técnicas de conducción eficiente fueron desarrolladas para los vehículos a partir del año 1994 aproximadamente con el fin de que los vehículos a inyección electrónica generen la fuerza necesaria de la combustión para tener una potencia necesaria, con un consumo de carburante menor y así una menor contaminación ambiental. En países desarrollados como España se ha implementado para una conducción eficiente, la actitud del conductor y el protagonismo que éste genera, ya que él debe aprovechar y ejercer ciertas acciones tales como: mantener una velocidad uniforme, prever y anticipar su conducción y la de otros, conocer su vehículo, utilizar de manera racional los accesorios, mantener en óptimas condiciones el vehículo, entre otros, y de esta manera optimizar el rendimiento del combustible. Para lo cual el objetivo fundamental de la presente investigación consiste en identificar las técnicas de conducción vehicular para optimizar el rendimiento del combustible. Para ello será necesario el análisis de las circunstancias y factores externos e internos del conductor versus a la conducción del vehículo con el fin de que se pueda optimizar el consumo de combustible.

**Palabras clave:** Conducción eficiente; medio ambiente; sistema de inyección; optimización.

### **Abstract:**

At present the need for environmental care has been seen given the pollution that is produced by the vehicles. For which there are several methods of preservation of energy resources such as oil (the basis of current automotive fuels); another method is efficient driving, which studies have shown that you can have a more effective reduction of road gas emissions. The efficient driving techniques were developed for vehicles from the year 1994 approximately in order that the vehicle electronic injection generate the force necessary combustion for a required power, with the least fuel consumption and thus reduced pollution environmental. In developed countries such as Spain, the attitude of the driver and the protagonism that he generates has been implemented for efficient driving, since he must take advantage of and exercise certain actions such as:

maintaining a uniform speed, anticipating and anticipating his driving and that of others, know your vehicle, use the accessories in a rational way, keep the vehicle in optimum conditions, among others, and in this way optimize the fuel efficiency. For this purpose, the main objective of this research is to identify vehicle driving techniques to optimize fuel efficiency. This will require the analysis of the external and internal factors and factors of the driver versus the driving of the vehicle in order to be able to optimize the fuel consumption

**Keywords:** Efficient driving; environment; injection system; optimization.

## 1. Introducción

El dar a conocer las ventajas existentes del sistema de inyección OBD II sobre el sistema a inyección contribuye a identificar los errores que cometen las personas al conducir un vehículo, de tal manera que se podrá dar a conocer los procedimientos correctos al momento de conducir con el fin de maximizar el consumo de combustible mediante la asociación de técnicas de conducción correctas para maximizar la vida útil del motor de un vehículo.

El Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDEA – España) menciona que el automóvil consume un 15% de la energía total consumida en el país. El 40% de las emisiones totales de CO<sub>2</sub> originadas por el consumo de energía proviene del transporte por carretera.

En cuanto a la eficiencia energética en el motor podemos mencionar que de la energía contenida en 1Lt de gasolina el 62% se pierde por fricción y calor en el motor; en conducción urbana se pierde un 17% por marcha en vacío o ralentí a causa del tiempo que se pierde en las paradas, por tanto sólo alrededor de un 21% de la energía en la gasolina llega al embrague.

Las pérdidas en la transmisión son de otro 6%, dejando sólo un 15% para mover el vehículo.

Se puede considerar que la conducción eficiente se desarrolla en tres tareas:

- De control: mantener el vehículo un trayecto predeterminado.
- Táctico o de maniobra: el cómo conducir en carretera.
- Estratégico o de planificación: mantenimiento mecánico del vehículo (preventivo, predictivo y correctivo) y determinación de trayecto por el cual se va a conducir.

## 2. Metodología

### Sistema OBD II

Los primeros vehículos que adaptaron el cambio de carburador a inyección de combustible solían ser sistema muy rustico el cual no contaba con ningún tipo de control de emisiones, con esto la única restricción de consumo de combustible la tenía el conductor. Actualmente los vehículos cuentan con sistemas de control de emisiones que contribuyen a la reducción del consumo de combustible y que minimizan la salida de gases contaminantes.

Los vehículos con sistemas de inyección poseen una central electrónica que recepta las señales de los sensores, ubicados estratégicamente por todo el vehículo, y determinando las acciones correctas para satisfacer las órdenes de conducción. Dicha central es llamada Unidad de Control Electrónico (ECU), el cual cuenta con el sistema de diagnóstico a bordo OBD II.

OBD II (On Board Diagnostics Second Generation / Diagnóstico a Bordo Segunda Generación), es un sistema que brinda diagnóstico electrónico del vehículo con la

capacidad de supervisar y evaluar las funciones del motor con el fin de evitar exceso de emisiones contaminantes al ambiente. A través de los sensores la lógica del sistema OBDII tiene la capacidad de responder de diversas formas dependiendo del estado de conducción, clima, temperatura, etc. (ANDRADE, 2015)

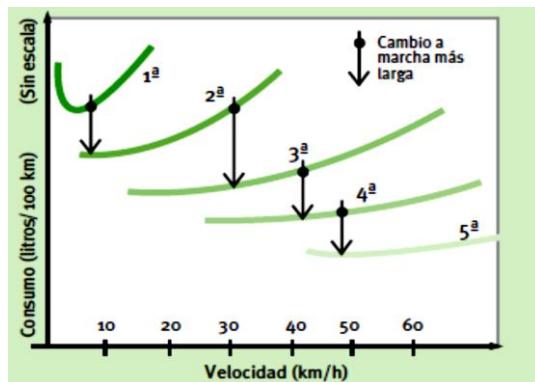


Figura 1: Consumo en función de la velocidad para las diferentes marchas

Fuente: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDEA, 2007). El motor: variables relevantes en el consumo. Manual de conducción eficiente para vehículos turismo, pág. 10.

### Errores al momento de conducir un vehículo

Presión ejercida sobre los neumáticos: los neumáticos son los únicos que está en contacto entre el vehículo y la superficie en que se encuentra el mismo. Por medio de ellos se aplica la fricción necesaria para mover o detener el vehículo, por cuanto la presión que tienen estos neumáticos marcará una gran diferencia entre el punto adecuado y no del mismo.

En los neumáticos tenemos tres estados de presión, uno ideal o normal y dos "no ideales". El estado normal se refiere a la presión necesaria recomendada por el fabricante para el uso adecuado del neumático, mientras que los otros dos estados son cuando los neumáticos presentan una alta presión o poca presión.

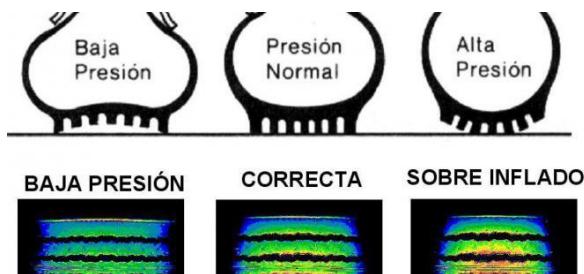


Figura 2: Tipos de presión ejercida en los neumáticos

Fuente: <http://foroev.com/index.php?topic=1670.0>

Los neumáticos con menos presión de lo normal tiene más influencia en el consumo de combustible, Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE, 2005). Por eso se recomienda por lo menos un chequeo mensual de la presión de los neumáticos.

En países de la Unión Europea se ha implementado las etiquetas energéticas que son dispositivos por lo general electrónicos que permiten al conductor una lectura real del consumo de vehículo por kilómetro recorrido. Por otra parte, en Ecuador no se aplica las etiquetas energéticas ya que no se cuenta con una jerarquización oficial de los vehículos.

**Arrancar sin pisar el acelerador:** la costumbre implementada en los vehículos a carburador de arrancar el vehículo pisando el acelerador es común, pero al hablar de inyección electrónica este hábito no es necesario puesto que el vehículo cuenta con encendido controlado por medio de la ECU, por lo tanto el arrancar pisando el acelerador nos proporcionara un consumo de combustible y un desajuste en el medio electrónico.

### **Velocidad uniforme y constante**

Una velocidad uniforme aprovecha la energía de propulsión y una velocidad constante hace que se entregue las distintas relaciones de marcha de una forma correcta.

### **Conducción en carretera o ciudad:**

#### **Inercia**

Al momento de reducir la velocidad o detenerse (semáforo, zonas de "Pare") se recomienda levantar el pie del acelerador y dejar que el vehículo ruede por su propia inercia.

#### **Subidas y bajadas**

En las subidas se es necesario la reducción del cambio de marchas sin llegar a pisar el acelerador a fondo y en las bajadas con las marchas más largas aprovechando la inercia del vehículo evitando pisar el acelerador.

#### **Paradas**

El consumo de combustible de un motor moderno durante el ralentí es de 0.5-0.7 Lt/H, dependiendo del tipo de motor. Según Julián Estévez, "no hay que frenar cuando quedan dos metros, sino aprovechar la inercia y frenar suave.

#### **Curvas**

El frenar bruscamente en curvas gasta combustible al acelerar y aumenta el riesgo de conducción.

### **Ventajas de conducir un vehículo de manera eficiente**

La conducción eficiente representa un ahorro considerable de combustible ya sea en condiciones de tráfico o en condiciones de carretera sin tráfico. Datos del Programa Europeo de Cambio Climático (PECC) calcula que en 2001 un potencial de reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> con la conducción eficiente de al menos 50 millones de toneladas métricas, equivalentes a las emisiones anuales de 15 millones de vehículos.

La condición eficiente cumple unos de los objetivos del protocolo de Kyoto con lo cual ayuda a cumplir con los objetivos con lo que están comprometido cada país que integran dicho protocolo.

## **3. Resultados y Discusión**

### **La conducción amigable con el medio ambiente mejora:**

- La seguridad vial
- La comodidad

### **Una conducción más segura es el resultado de:**

- Un estilo de conducción basado en la previsión y la anticipación
- El mantenimiento de una velocidad uniforme y moderada
- Menos adelantamientos y maniobras arriesgadas

- Menos estrés/agresividad

## Técnicas de la conducción eficiente con el medio ambiente

### Arranque en frío

Los motores a carburador se solía acelerarlos cuando se daba el encendido en frío hasta llegar a su temperatura de trabajo, pero actualmente los motores a inyección electrónica regulan la cantidad de combustible que ingresa a la cámara de combustión por medio de la ECU.

### La 1<sup>a</sup> relación de marcha

Se recomienda para poner en marcha el vehículo colocar la primera relación de transmisión y después de transcurrido 2 segundos o 6m recorridos colocar la segunda relación de transmisión.

### El no sobre revolucionar el motor antes de cambiar de marcha

Una de las técnicas que hay para disminuir el consumo de combustible y además del cuidar el motor del vehículo es hacer el cambio de marcha lo más pronto posible, para con ello sobre revolucionar el motor; una buena forma de hacerlo es prestando atención al cuentarrevoluciones sin descuidar el camino.

En los motores a diésel debido a que son más robustos que los motores a gasolina, por lo que se recomienda cambiar de marcha en los vehículos a diésel a las 2000 R.P.M. y a los vehículos a gasolina a las 2500 R.P.M.

Estos datos varían entre algunos vehículos, pero por lo general se aplican estos valores como dato general en motores diésel:

- 2do relación de transmisión a los 2 segundos o 6 metros recorridos.
- 3ra relación de transmisión a partir de 30Km/h aproximadamente.
- 4to relación de transmisión a partir de 40 Km/h a aproximadamente.
- 5to relación de transmisión a partir de 50 Km/h aproximadamente.

En caso de los motores a gasolina varía un poco estos valores:

- 2do relación de transmisión a los 2 segundos o 6 metros recorridos.
- 3ro relación de transmisión a partir de 40Km/h aproximadamente.
- 4do relación de transmisión a partir de 50 Km/h a aproximadamente.
- 5to relación de transmisión a partir de 60 Km/h aproximadamente.

Una buena conducción eficiente es planificar la ruta y salir con tiempo, cuidando la aerodinámica del vehículo tanto en el porta equipajes y bultos en el techo que pueden aumentar el consumo de combustible especialmente a altas velocidades, dado que produce una resistencia aerodinámica llegando a incrementar un 20% en carretera.

Cuando el neumático tiene menos aire de lo necesario exige más trabajo para poder mover y esto da como resultado un consumo de combustible de 3% más.

Las aceleraciones bruscas generan un consumo excesivo de combustible, por tanto un conductor que en usualmente acelera a fondo tendrá un gasto energético mucho mayor que uno que este moderado.

En carreteras se permite límites de velocidad de 60, 90 y/o hasta 100 km/H, se debe tener en cuenta que altas velocidades el rendimiento de combustible se reduce bastante a un 10%.

Un motor exigido una mayor revolución tendrá un mayor consumo de combustible es por ello que se recomienda mantener las revoluciones en rangos relativamente bajos.

Realizar los mantenimientos periódicos ayuda a mantener los niveles de líquidos y aceites, ahorra combustible y reduce las emisiones contaminantes. Mientras que detectar posibles fallos puede evitar averías graves.

#### **4. Conclusiones y Recomendaciones**

Como conclusión se puede mencionar las siguientes tecnologías actuales con las que cuenta los vehículos para la mejora de la conducción:

##### **a. Cámara y sensores de reversa / RearVision:**

Son dispositivos que se coloca en la placa posterior del automóvil; incorpora sensores infrarrojos para día y noche, 2 cámaras HD, procesador “Cortex-A5” y medidor de aceleración, que permiten mantener al conductor alerta contra posibles colisiones en la parte de atrás”.

Por ejemplo en Estados Unidos se exige que los autos fabricados desde 2018 cuenten ya con esta tecnología.

##### **b. “V2V”:**

Permite que los vehículos se comuniquen entre sí para compartir información sobre el clima, el tránsito, accidentes y otros datos de conducción en carretera.

##### **c. Tecnología de Mantenimiento de la Presión del Aire (AMT):**

Permite mantener la presión adecuada del neumático.

##### **d. Vehículos eléctricos, híbridos, ecológicos o de combustibles alternativos:**

Los vehículos eléctricos son impulsados por una o varias baterías que se recargan como un teléfono celular.

Los vehículos híbridos es una combinación del eléctrico con el motor de combustión interna (M.C.I.).

Los vehículos ecológicos son impulsados por celdas, pilas o motor de hidrógeno.

Los vehículos de combustibles alternativos son aquellos que funcionan con alcohol, metanol, etanol, derivados de gas natural, entre otros similares.

##### **e. Vehículos autónomos, robóticos o auto-conducido:**

Son capaces de percibir el medio en el que se encuentran a través de radares o sistemas de posicionamiento global y se desplazan en función del destino para el cual se los programe.

Como recomendación podemos citar el siguiente ejemplo práctico de la Ciudad de México, en el cual se cuenta con un sistema de rastreo de flotillas por GPS. Con esta tecnología es posible monitorear todos los vehículos de la flota, en tiempo real, y recibir alertas como cuando hay exceso de velocidad o cuando sale de su ruta autorizada. Con un software de administración de flotas es posible identificar a aquellos conductores que tienen malos hábitos de manejo y capacitarlos para lograr que conduzcan de manera más segura.

## **Bibliografía**

Amaro Egea Caparrós. (2001). *El comportamiento humano en conducción: factores perceptivos, cognitivos y de respuesta*. Universidad de Murcia.

ANDRADE, F. (Febrero de 2015). *UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL*. Obtenido de [http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/4841/1/59406\\_1.pdf](http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/4841/1/59406_1.pdf)

Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador. (2016). AEADE: Anuario digital 2017. Recuperado de <http://www.aeade.net/anuario-2016>

Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE). (Octubre de 2005). *CE TEATRICE*.

Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). (Enero, 2007). *El motor: variables relevantes en el consumo*. Manual de conducción eficiente para vehículos turismo, pág. 10.

# **IMPLEMENTACION DE UN DISPOSITIVO DE TRATAMIENTO DE EMISIONES DE FUENTES MOVILES CON PLASMA FRIO EN UN MOTOR HONDA GX200**

## ***IMPLEMENTATION OF A DEVICE FOR THE TREATMENT OF EMISSIONS OF MOBILE SOURCES WITH COLD PLASMA IN A HONDA GX200 ENGINE***

***Fernando Gómez Berrezueta<sup>1a\*</sup>***

<sup>1</sup>Universidad Internacional del Ecuador-Sede Guayaquil, Ecuador

<sup>a</sup>[magomezbe@uide.edu.ec](mailto:magomezbe@uide.edu.ec)

### **Resumen:**

El proyecto tiene por objetivo analizar las ventajas y desventajas, del uso de un sistema de tratamiento de emisiones de fuentes móviles con plasma frío, que ha sido probado previamente en el Laboratorio de Aplicaciones de Plasmas (LAP) del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ) y que será instalado en un motor de gasolina Honda GX200-196cm<sup>3</sup>, monitoreando y/o variando algunos parámetros como: la potencia, rpm, combustible y las emisiones al medioambiente. El proyecto se presenta como una innovación para los vehículos que utilizan los tradicionales sistemas de control de emisiones, como los convertidores catalíticos. Teniendo en cuenta la simulación y resultados obtenidos de la cinética química y tratamientos de mezclas automotrices en laboratorio con reactor de plasma frío con descarga de doble barrera dieléctrica determinada en estudios previos, se realizará una metodología experimental para establecer las condiciones óptimas de instalación, comprobación y evaluación del dispositivo en condiciones reales de funcionamiento del motor instalado en el banco dinamométrico, para luego realizar un análisis comparativo con respecto al dispositivo de control de emisiones original del motor y proponer algunas modificaciones y recomendaciones, para un mejor desempeño del dispositivo, considerando características técnicas influyentes en la implementación y funcionamiento del sistema.

**Palabras clave:** Plasma; Emisiones; Barrera Dieléctrica; Mezclas Automotrices; Reactor.

### **Abstract:**

This research project is to analyze the advantages and disadvantages of using a cold plasma mobile emission treatment system, which has been previously tested in the Laboratory of Plasma Applications (LAP) of the National Institute of Nuclear Research (ININ) and will be installed in a Honda GX200-196cm<sup>3</sup> gasoline engine, monitoring and / or varying some parameters such as: power, rpm, fuel and emissions to the environment. The project is presented as an innovation for vehicles using traditional emission control systems, such as catalytic converters. Considering the simulation and results obtained from the chemical kinetics and treatments of automotive mixtures in laboratory with a device for treating exhaust gases by non-thermal plasma in an internal combustion engine ignition determined in previous studies, an experimental methodology will be carried out to establish the optimal conditions of installation, verification and evaluation of the device in real conditions of operation of the engine installed in the dynamometric bench, then perform a comparative analysis with respect to the original emission control device of the engine and propose some modifications and recommendations, for a better

performance of the device, considering some technical characteristics influencing the implementation and operation of the system.

**Keywords:** Plasma; Emissions; Dielectric Barrier; Automotive Mixtures; Reactor.

## 1. Introducción

### 1.1 Contaminación Atmosférica

De acuerdo con el Fondo Mundial para la Naturaleza (2015), el cambio climático se consolida como la mayor amenaza ambiental para nuestro planeta. Esto ha dado lugar al aumento de los niveles de contaminación y el consecuente cambio climático. A partir de 1990 se han registrado los 10 años con temperaturas más altas, por eso la necesidad de buscar alternativas de solución a las fuentes de contaminación, en este caso las emisiones emanadas por los vehículos a gasolina.

Los gases contaminantes provenientes del motor varían en cuanto a su composición y toxicidad, y el tipo de motor utilizado (combustible) para su funcionamiento, siendo los más significativos el Monóxido de Carbono (CO), Óxidos de Nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) e Hidrocarburos no quemados (HC) en los motores Otto.

Hoy enfrentamos los efectos globales del cambio climático generado por la emisión atmosférica de los llamados gases de efecto invernadero (GEI) y otras moléculas agotadoras de la capa de ozono estratosférico (Jiménez, 2001)

Los vehículos actuales prácticamente en su totalidad se encuentran equipados con un dispositivo de control de emisiones en el tubo de escape del motor, es decir de tratamiento ulterior de los gases de escape. Por este motivo se requiere mayor conocimiento sobre los tipos de dispositivos, características, tipos, etc.

Debido a esto, se requieren establecer medidas integrales a fin de reducir las emisiones atmosféricas generadas por fuente móviles, que van desde las mejoras de combustibles y los cambios de hábitos de la población, hasta el desarrollo de nuevas tecnologías que permitan reducir emisiones por parte del parque vehicular.

De aquí la importancia de poder desarrollar un sistema de control que permita reducir y/o controlar las emisiones de contaminantes atmosféricos de la principal fuente emisora como son las móviles. El proyecto aquí descrito usa una descarga en reactor de doble barrera dieléctrica (2DBD) para generar plasma frío el cual genera radicales libres claves en el tratamiento de gases emitidos por automotores.

El dispositivo que hasta el momento ha sido utilizado con mayor frecuencia para el tratamiento de gases de escape en un vehículo con motores a gasolina, ha sido el convertidor catalítico de dos o tres vías, sin embargo, las normativas de emisiones más estrictas han obligado a explorar otros sistemas como el aquí analizado.

Respecto al aspecto técnico es importante destacar que los procesos de plasma son un método efectivo para inducir reacciones químicas para la degradación de contaminantes del aire, tales como óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ), dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) y compuestos orgánicos volátiles (COV's) (Blanco et al., 2005, Ekchian et al., 2001).

### 1.2. Fundamentos

El plasma de barrera dieléctrica (DBD) fue registrado por primera vez en 1857 por Werner Von Siemens. En un DBD el plasma se genera al aplicar una descarga eléctrica a un gas contenido entre dos electrodos, de los que al menos uno está aislado eléctricamente del gas por un material dieléctrico. Entre las aplicaciones de este tipo de descargas podemos

encontrar la modificación o limpieza de las superficies de los materiales, esterilización, tratamiento de agua, tratamiento de textiles, etc. (Boulous, 1994).

La tecnología de plasma es una opción tecnológicamente viable y eficiente para el tratamiento de los gases de escape de automóviles, Rajanikanth y Sushman en el 2006 determinaron eficiencias de Construcción y operación de un sistema anticontaminantes vehicular con tecnología de plasma acoplado a un lecho de nanoestructuras. 2016 64 degradación de 97% para NO y 38% para NO<sub>x</sub>, provenientes de un motor diésel (Peugeot, 2001), (Bahamonde, 2004).

Se han realizado muchos estudios, como referencia se tiene los realizados en el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares de México (ININ). En estudios previos con plasma 2DB efectuados en el LAP del ININ se cuentan con datos del reactor de 2DBD construido con vidrio Pyrex®, (Moreno, 2008), (Estrada, 2010), (Alva, 2012), el cual presenta buenos resultados experimentales en el tratamiento de gases; sin embargo, en el tratamiento conjunto de gases y de mayores flujos, la eficiencia se ve comprometida dado que se requiere suministrar una mayor energía (Estrada et al., 2009).

Para este trabajo se empleó el plasma fuera de equilibrio termodinámico local para el tratamiento de gases contaminantes emitidos por un motor de combustión interna. El plasma fuera de equilibrio termodinámico local también es conocido como plasma frío. En este tipo de plasma la energía es canalizada hacia los electrones, adquiriendo mayor energía cinética que los iones, en otras palabras, la temperatura de los electrones es mayor que la temperatura de las partículas pesadas ( $T_e > T_p$ ). La temperatura de translación de las partículas pesadas (iones y partículas neutras) es del orden de la temperatura ambiente (Kogelschatz, 2003).

Este tipo de plasma se caracteriza por:

- 1.- Bajas densidades electrónicas ( $10^9$ - $10^{13}$  cm<sup>-3</sup>)
- 2.- Elevada temperatura de electrones (2-20 eV)
- 3.- Trabaja a baja presión e incluso a presión atmosférica.
- 4.- La temperatura del plasma es similar a la temperatura ambiente.

El contenido innovador de la propuesta es la generación de tecnología mexicana, que con respecto a la tecnología extranjera presenta innovaciones que permiten la disminución del costo energético y aumento en los porcentajes de degradación de gases tóxicos. Si como un sistema construido con materiales económicos para que sea accesible a la mayoría de la población y con bajos consumos de energía (Blanco et al., 2005).

### **1.3 Plasma.**

La palabra plasma apareció impresa en un texto científico relacionado con el estudio de las descargas eléctricas en gases data de 1928. Irving Langmuir publicó su artículo. El interés en la tecnología a base de plasma comenzó en 1960. Se realizaron aplicaciones industriales: corte, soldadura, spray, síntesis de partículas ultra finas, esferodización, iluminación, por mencionar algunas. A partir de los noventa se aprecia un aumento considerable de las aplicaciones del plasma en otros campos como la óptica, la ciencia de materiales, la electricidad, la electrónica (Alva, 2012).

Los procesos de plasma frío son un método efectivo para inducir reacciones químicas para la degradación de contaminantes del aire, tales como óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), compuestos orgánicos volátiles (COV) y partículas. La técnica consiste en crear un medio ionizado mediante el establecimiento de un campo eléctrico impulsado a través de los gases que deben tratarse. En un sistema de plasma frío, los electrones tienen temperaturas altas debido a su masa pequeña. Un plasma no térmico es un gas parcialmente ionizado en el cual la energía de los electrones es considerablemente mayor

que la de los iones y las moléculas del gas, de tal forma que el gas se encuentra a temperatura y presión ambiente. El plasma no térmico (NTP) aplicado a los gases de escape, se ha estudiado como un método potencial para reducir las emisiones de NO<sub>x</sub> y PM en las emisiones de diésel (Pacheco et al., 2007).

## 2. Metodología

Se tuvieron algunas consideraciones:

- Determinación de la metodología experimental
- Se determinó cuales variables tienen efecto significativo sobre el desempeño de un sistema de emisiones de gases.
- Determinación de los factores principales, a analizar en el experimento.
- Caracterización de las variables de funcionamiento del motor a evaluar.
- Procedimiento a seguir para la toma de muestras.

Esta etapa está dividida en 4 fases.

- Pruebas con diferentes gases y mezclas de gases.
- Pruebas en el banco dinamométrico con motor.
- Pruebas en el Laboratorio de Plasma.
- Pruebas en el motor Honda GX200.

En primer lugar, se realizó la caracterización de emisiones del motor cuyas especificaciones se presentan en Tabla 1, considerando diferentes parámetros de funcionamiento.

A continuación, se efectúan las pruebas en el motor con el dispositivo original de control y se verifican las condiciones óptimas de diseño y montaje para el acoplamiento del dispositivo y la toma de muestras (Ver Figura 1).

Los experimentos se realizaron emulando el funcionamiento del motor al funcionamiento montado sobre un banco dinamométrico. El montaje para la experimentación está compuesto por dos salas

En la sala de pruebas se encuentra una estructura que trate de disminuir la vibración del motor, sobre la estructura está montado un motor Honda GX200.

En la sala de control, se encuentra el medidor de flujo de gases, el analizador de gases, la fuente de suministro de corriente y demás dispositivos de control los cuales se toman las lecturas de temperatura (°C), flujo de gases (l/min) y valores de emisiones de los gases de escape (%vol. ó ppm).



Figura 1: Disposición de la instrumentación para pruebas

Varias muestras se toman, tanto de la emisión de gases en el tubo de escape, antes y después del dispositivo.

Tabla 1: Especificaciones del motor HONDA

ESPECIFICACIÓN	VALOR
Tipo de Motor	4 tiempos / refrigerado por aire / (OHV)
Diámetro por Carrera	68 mm x 45 mm
Cilindrada	196 cm <sup>3</sup>
Potencia Neta al Eje	4,1 KW (5.5 HP) @ 3600 rpm
Torque Neto	12,4 Nm (1,26 Kgm) @ 2500 rpm
Rotación del Eje (PTO)	Antihorario (del lado del PTO)
Relación de compresión	8,5:1
Carburador	Horizontal a mariposa
Sistema de ignición	Transistorizado
Sistema de Arranque	Manual con retráctil
Sistema de Filtrado	Doble elemento
Capacidad de Combustible	3,1 L

Se controla la frecuencia y voltaje aplicado con el propósito de mantener el plasma, y el tratamiento de los gases; como se muestra en la Figura 2.

Con la mezcla de (helio, aire, vapor de agua, emisiones de motor) estable se inicia el proceso de degradación; luego se efectúa el análisis y/o caracterización de los gases a la salida del reactor con el analizador de gases PG-250.

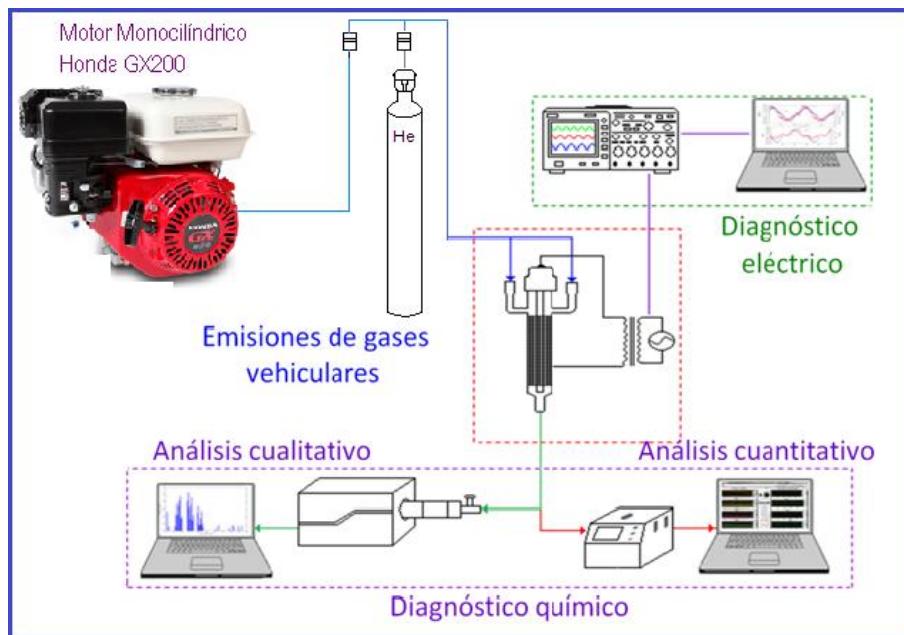


Figura 2: Sistema experimental para la degradación de emisiones de motor de combustión interna en reactor 2DBD.

Fuente: El autor

La formación del plasma a lo largo de toda la superficie del reactor fue realizada haciendo algunas modificaciones y consideraciones técnicas, utilizando un reactor que tiene las características indicadas en la Tabla 2.

Tabla 2: Especificaciones del reactor usado en el montaje experimental

ESPECIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN	VALOR
Reactor	Tipo	DBD
Flujo a tratar	Gases de escape	1 - 30 l/min de gas
Electrodo externo	Malla	152 mm de longitud
Electrodo central	Filamento de acero inoxidable	6.4 mm de diámetro
Dieléctrico de cuarzo	Oxido de Silicio ( $\text{SiO}_2$ )	1,0 mm de espesor
Pared dieléctrica	Tubo de cuarzo	212 mm de longitud 24,6 mm de diámetro interno 26,6 mm de diámetro externo

### 3. Resultados y Discusión

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de las pruebas realizadas, en la Figura 3 se puede observar que la degradación de los gases de escape en la composición de Óxidos de Nitrógeno, probado a diferentes revoluciones del motor tiene un porcentaje de degradación de 25% a 1500 rpm, de 44 % a 2000 rpm, 32,61% a 2500 rpm, 39,83% a 3000 rpm, 20% a 3200 rpm y 28 % a 3500 rpm.

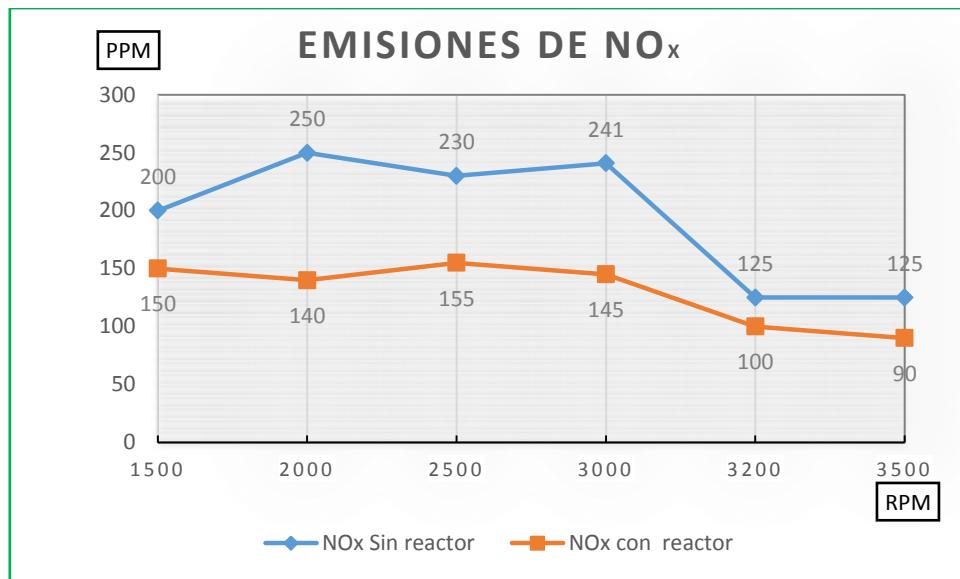


Figura 3: Datos obtenidos al analizar NO<sub>x</sub>

Existe un mayor porcentaje de degradación a bajas y altas revoluciones.

En la Figura 4 se puede observar que la degradación de los gases de escape en la composición de Material Particulado, probado a diferentes revoluciones del motor tiene un porcentaje de degradación de 14,98% a 1500 rpm, de 33,87 % a 2000 rpm, 33,38% a 2500 rpm, 13,32% a 3000 rpm, 20,35% a 3200 rpm y 59,23 % a 3500 rpm.

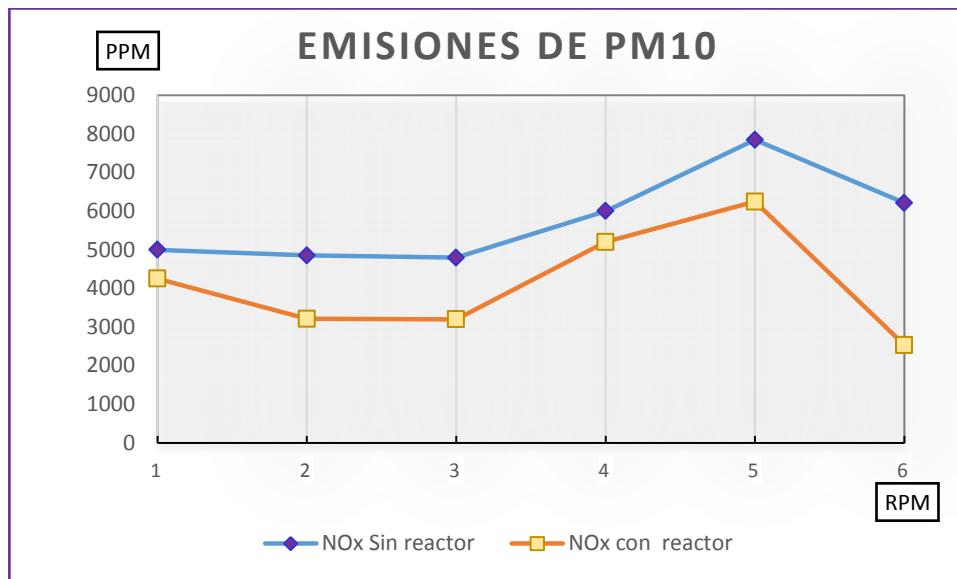


Figura 4: Datos obtenidos al analizar PM<sub>10</sub>

## 4. Conclusiones y Recomendaciones

### 4.1. Conclusiones

- Para que el reactor de plasma funcione adecuadamente se requiere que los componentes gaseosos que ingresen en éste tengan ciertas condiciones que son indispensables para el correcto funcionamiento del dispositivo.

- El principal inconveniente que impide que la tecnología de plasma para ser implementado a bordo es que el suministro de energía no se puede obtener fácilmente a partir de los gases de escape, dando lugar a valores de eficiencia menor que 100 %. En otras palabras, no hay ganancia de energía.
- El dispositivo de tratamiento de gases de escape por plasma puede trabajar bien a cualquier relación aire/combustible a diferencia de los catalizadores que generalmente se desempeñan mejor cerca de las relaciones estequiométricas.
- La mayoría de estos sistemas están siendo investigados como una solución para la reforma de la complejidad de a bordo de otros sistemas (alto peso del dispositivo, tiempo transitorio largo, el envenenamiento de los catalizadores, etc.).
- Durante la realización de los experimentos en el banco de pruebas de motores las condiciones experimentales de referencia se deben de controlar y verificar continuamente para que los datos obtenidos sean lo más fiables posibles y hacer algunas repeticiones.
- Para evaluar el efecto del reactor es necesario una aceleración controlada en el motor, por lo tanto, se comparó el comportamiento variando las revoluciones (aumentando el régimen de giro variando la posición del acelerador) y dejando el motor libre de carga a merced de las demás variables puedan sufrir cambios (ejemplo: el par aumenta levemente cuando se acelera).
- Con la metodología de pruebas desarrollada se puede evaluar cualquier tipo de reactor de plasma no térmico independientemente de las características del mismo.

## **4.2. Recomendaciones**

- Se recomienda ampliar el análisis de los reactores de plasma no térmicos.
- Se recomienda correlacionar la metodología de pruebas desarrollada.
- Siendo este un proyecto importante ya que aporta al desarrollo de metodologías para el control de las emisiones vehiculares, se recomienda que el mismo sea socializado con las organizaciones responsables del control de emisiones vehiculares y de control ambiental, tanto a nivel nacional como internacional.
- Realizar pruebas en un motor de las mismas características, de pequeña cilindrada a diésel, que nos permitirá evaluar de mejor manera las emisiones de NOx y PM.
- Simular dinámicamente los flujos de gases a la salida del motor, para determinar las características específicas del fluido que sale ya sea de manera directa o en derivación.

## **Bibliografía**

1. Alva, A. (2012). Tratamiento de emisiones de fuentes móviles con plasma frío. México, México: Universidad Autónoma de México.
2. Bahamonde A., 2004, “Eliminación de NOx en gases de combustión, reducción catalítica selectiva”, Reporte técnico, Instituto de Catálisis y Petroleoquímica, Madrid, 13–21.
3. Blanco J., Bahamonde A., Álvarez E., Ávila P., 2005. Advances in NOx/SOx. Reduction, ACS Symp., Vol. 42, No. 4, 818–822.  
Bosch, A. (2005). Manual de la Técnica del Automóvil. Cuarta edición.
4. Catecar S.A. (2014). The Swiss Green High Tech Urban Vehicle. Pleigne, Switzerland.
5. Chang, J. S. (2008). Physics and chemistry of plasma pollution control technology. Plasma Sources Science and Technology (Vol. 17). ISSN 0963-0252
6. EPA, U. E. (2005). Usando Plasma no Térmico para Controlar Contaminantes del Aire. EPA-456/R-05-006, Clean Air Technology Center (CATC),, North Carolina
7. Fridman, A. (2008). Plasma Chemistry, Cambridge University Press. Cambridge, USA: ISBN-13 978-0-521-84735-3.
8. Hammer, T. (1999). Applications of plasma technology in environmental techniques. Contributions to Plasma Physics. Vol. 39, No. 5, pp. 441-462, ISSN 0863-1042.
9. Hammer, T. (2014). Atmospheric Pressure Plasma Application for Pollution Control in Industrial Processes. Contributions to Plasma Physics. 187-201.

10. Heywood, J. B. (1988). Internal combustion engine fundamentals (Vol. 930). New York: McGraw-Hill.
11. Hoard, J. (2000). "Plasma Assisted Catalysis", SAE Diesel Engine TOPTEC. September 26-27,: Indianapolis, IN.
12. Inoue, Y., & Kikuchi, M. (2003). Present and future trends of stainless steel for automotive exhaust system. High-temperature, 950, 750.
13. International, S. (s.f.). "Engine Power Test Code-Spark Ignition and Compression Ignition Net Power Rating", . SAE J1349 2008.
14. Jiménez Cisneros Blanca E., 2001, La contaminación ambiental en México: causas, efectos y tecnología apropiada, Editorial LIMUSA, México D.F, 320–371, 321-322.
15. Khacefa, J.M. Cormiera. (s.f.). *Plasma –Catalyst System for NO Remediation in NOx*. France: Laboratoire GREMI.
16. Kogelschatz, U. (2003). Dielectric-barrier discharges: their history, discharge physics, and industrial applications. . Plasma chemistry and plasma processing, 23(1), 1-46.
17. M. Pacheco, J. Pacheco, H. Moreno, A. Mercado, Diaz, M. Youssi, 2007, DBDCorona Discharge for degradation of toxic gases, Plasma Science and Technology, Vol.9, No.6, pp 682-685.
18. N. Estrada, M. Pacheco, J. Pacheco, R. Valdivia, 2009. Double and single dielectric barrier discharge for toxic gas removal, International Conference on Phenomena in Ionized Gases, July.
19. Petipasa, G. (2007). A comparative study of non-thermal plasma assisted reforming technologies. International Journal of Hydrogen Energy 32, 2848 - 2867.
20. PSA. (2001). "Tres vehículos de demostración", Reporte técnico de colaboración técnica.
21. Rezaei, M., Taeb, A., & Habibi, N. (s.f.). NON-THERMAL PLASMA TREATMENT OF AUTOMOTIVE EXHAUST GASES. University Of Science and Thechnology, Tehran, Iran.
22. Shimizu, K., & Oda, T. . (1999). De NOx process in flue gas combined with nonthermal plasma and catalyst. Industry Applications, IEEE Transactions on. 35(6), 1311-1317.

# **ANÁLISIS COMPARATIVO MEDIANTE PARÁMETROS DE EFICIENCIA MECÁNICA, ENERGÉTICA Y DE EMISIONES ENTRE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS Y DE COMBUSTIÓN INTERNA EN EL ECUADOR**

## ***COMPARATIVE ANALYSIS THROUGH MECHANICAL, ENERGETIC EFFICIENCY AND EMISSIONS BETWEEN ELECTRIC AND INTERNAL COMBUSTION VEHICLES IN ECUADOR***

***Luis Xavier Orbea Hinojosa<sup>1a\*</sup>, Rodríguez Rodríguez José Adrián<sup>1b</sup>, Vega Peñafiel Jorge Patricio<sup>1c</sup>, Cristhian Alexander Guano Calvache<sup>2d</sup>***

Universidad Tecnológica Equinoccial, Santo Domingo – Ecuador

<sup>2</sup>EMPROMOTOR KIA, Santo Domingo – Ecuador

<sup>a\*</sup>[luis.orbea@ute.edu.ec](mailto:luis.orbea@ute.edu.ec), <sup>b</sup>[remberto.rodriguez@ute.edu.ec](mailto:remberto.rodriguez@ute.edu.ec), <sup>c</sup>[vpjp505692@ute.edu.ec](mailto:vpjp505692@ute.edu.ec),  
<sup>d</sup>[c.guano@hotmail.com](mailto:c.guano@hotmail.com)

### **Resumen:**

El presente trabajo es un análisis comparativo entre vehículos cien por ciento eléctricos (V.E) y de combustión interna (M.C.I), para ello se toma como referencia 6 variables que son ponderadas de forma simétrica y con que el objetivo de que las nuevas tecnologías contribuyan a disminuir el nivel de emisiones contaminantes. Las variables consideradas para hacer este estudio son: contaminación, autonomía, recarga, gasto de energía, ruido y costos. Como datos específicos se toma el precio del KWH estandarizado, así como también del combustible en Ecuador, el consumo energético y potencial de dos vehículos en 100Km de recorrido, los porcentajes de contaminación, entre otros. Los datos obtenidos en condiciones normales de operación tanto del EV como del M.C.I, una vez evaluados estos datos, se diseñan tablas comparativas que permiten encontrar sus ventajas y desventajas, las cuales pueden dar a conocer un campo más amplio del mantenimiento mecánico y eficiencia mecánica, energética y de emisiones contaminantes.

**Palabras clave:** Vehículo eléctrico; Contaminación; Eficiencia energética; Motor de combustión interna.

### **Abstract:**

In this paper we present a comparative analysis between 100% electric (VE) and internal combustion vehicles (MCI), we take as a reference 6 variables that are weighted symmetrically and of great importance with the goal that new technologies contribute to reducing the level of pollutant emissions. The variables considered to make this study are pollution, autonomy, recharge, energy expenditure, noise and costs. As specific data, the price of the standardized KWH, as well as the fuel in Ecuador, the energy and potential consumption of the two vehicles in 100Km of course, the pollution percentages, among others, were taken. The data obtained in normal operating conditions of both EV and MCI, once these data are evaluated, comparative tables are designed that allow to find their advantages and disadvantages, which can allow to know a broader field of mechanical maintenance and mechanical efficiency , energy and pollutant emissions.

**Keywords:** Electric vehicle; Pollution; Energy Efficiency; Internal combustion engine.

## **1. Introducción**

En la actualidad las emisiones producidas por los vehículos son uno de los factores más importantes en el diseño de un M.C.I, por cuanto los vehículos eléctricos han sido una solución a este problema, sin embargo en Ecuador el aumento del parque automotor ha crecido considerablemente los V.C.I., ya que en nuestro país no existe la suficiente información de las ventajas y desventajas que nos ofrece un VE respecto a un V.C.I. Según el Instituto Nacional de Censos (INEC), hasta diciembre del 2015 se matricularon 1'925.368 V.C.I (Telégrafo, El parque automotor sube el 57% en Ecuador, 2016) marcando un contraste muy significativo con la venta y matriculación de los VE ya que hasta finales del 2016 circulan aproximadamente en el país 109 (Universo, 2017), por ende la presente investigación hace un análisis comparativo mediante parámetros de eficiencia mecánica, energética, y de emisiones entre VE y V.C.I en el Ecuador.

Cabe resaltar que los conductores de automóviles al momento de optar por adquirir un vehículo anteponen algunas variables que consideran “importantes” y las mismas se reflejan de forma cuantitativa, de forma tal que se ponderara de forma simétrica algunas de estas variables de forma cualitativa.

Tabla 1. Variables cuantitativas y cualitativas al momento de elegir un vehículo

<b>CUANTITATIVOS</b>	<b>CUALITATIVOS</b>
Autonomía	Contaminación
Recarga y repostaje	Gasto en energía
Costos	Ruido
	Eficiencia

El cambio de un V.C.I a un VE tiene beneficios monetarios, además de generar un menor impacto ambiental. El costo de la energía eléctrica es menor al de la gasolina subsidiada en las mismas distancias. No obstante estos beneficios, se debe considerar que los vehículos eléctricos son más costosos que los de gasolina y requieren además un cambio de batería cada cierto tiempo, cuyo costo es relevante. (Comercio, 2015)

## **2. Metodología**

Se muestra de forma objetiva y detallada las variables cuantitativas y cualitativas, a través de una evaluación para el análisis comparativo entre VE y M.C.I en el Ecuador en forma generalizada para luego seleccionar y puntualizar en dos vehículos que estén en circulación en el país para compararlos técnica y mecánicamente a cada uno, y el aporte que han contribuido al sector automotriz para reducir las preocupaciones y falencias que existen en torno al mismo en la actualidad.

La primera variable que se analiza es la contaminación, en el caso de los VE están constituidos mecánicamente para ayudar a la conservación medioambiental, a diferencia de los vehículos de M.C.I que emiten gases contaminantes en altas cantidades.

“Entre las emisiones contaminantes de los vehículos se encuentran el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), hidrocarburos no quemados (HC), compuestos de plomo, anhídrido sulfuroso y partículas sólidas.” (González, 2012)

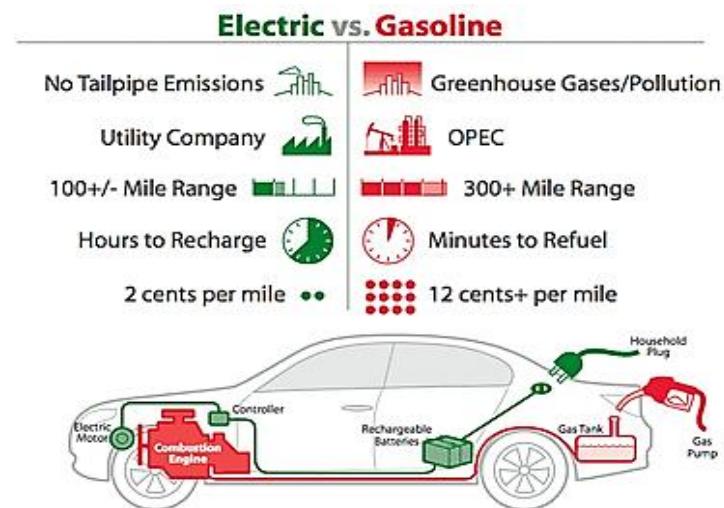


Figura 1: Ventajas y desventajas cualitativas y cuantitativas entre un vehículo eléctrico y uno de combustión interna

Fuente: <http://blog.sustainability.uic.edu/2011/02/chicago-auto-show-electric.html>

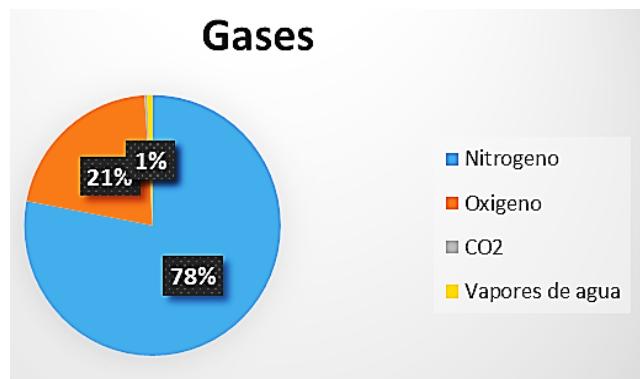


Figura 2: Porcentaje gases que conforma el aire

Fuente: Autor

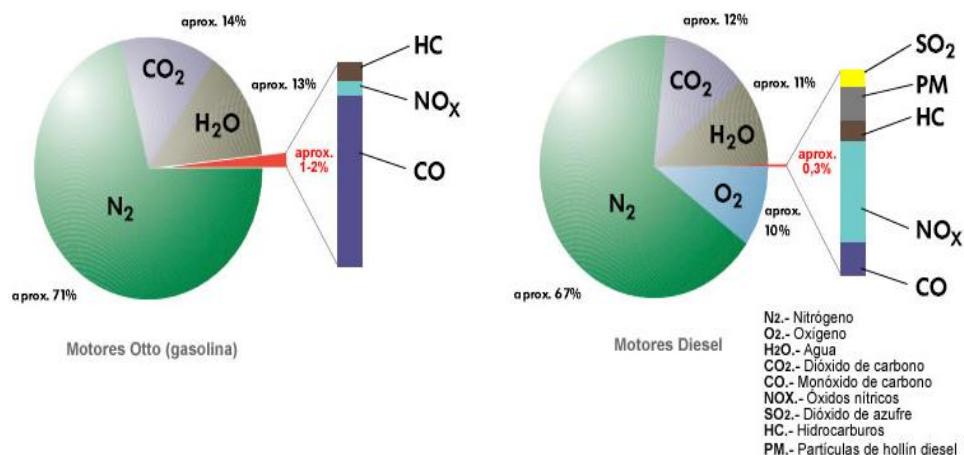


Figura 3: Porcentaje de gases que emiten hacia al medio ambiente los motores a gasolina y a diésel después del proceso de combustión

Fuente: <http://www.aficionadosalamecanica.net/emision-gases-escape.htm>

Las baterías de los VE son el componente principal de ellas dependen la autonomía, precio, velocidad de recarga y vida útil del vehículo, aspectos fundamentales que no son de gran importancia aún en muchos conductores. La autonomía de un VE en promedio es de 250km, mientras que uno de combustión interna es de 500km.

El gasto energético es un factor trascendental en la actualidad debido a que en Ecuador el precio del combustible es subsidiado y siendo uno de los más bajo de la región, el precio del galón de la gasolina extra es de \$1,48, gasolina súper \$2,20 y el galón de diésel \$1,03 (Telegrafo, El precio de los combustibles en Ecuador es el más bajo de la región, 2017), mientras que el precio del KW/H es de \$0,095. (ARCONEL, 2017), tomando en cuenta que el nivel de tensión oscila entre 201 a 250 (\$0,099) pero, con el subsidio que ha proporcionado el gobierno para los VE está en el valor antes mencionado. Cabe resaltar que los VE en el parque automotor del país tienen en promedio 18,7 KW/H cada 100Km, es decir que el precio KW/H de éste vehículo rodea, económicamente, el \$1,78 por cuanto es una disminución muy significativa del costo del gasto energético, pero si el gasto energético es más económico se debe tener en cuenta la recarga y el repostaje, ya que por el trabajo realizado y la entrega de energía existe una recarga al sistema, entonces este es una desventaja que presentan porque requieren aproximadamente 7Horas (ABB), a diferencia de un vehículo de M.C.I que su recarga demora alrededor de 5min en una estación de servicio



Figura 4: Recarga doméstica de un Renault ZOE conectado a un “Wallbox” para carga lenta de corriente alterna monofásica a 230V, 16A y con 3,6 kW de potencia máxima

Fuente: <https://electromovilidad.wordpress.com/tipos-de-recarga-del-vehiculo-electrico/>

Los VE tienen como ventaja la ausencia de ruido, a diferencia de un vehículo de M.C.I de 1800cc en condiciones normales de funcionamiento puede alcanzar a las 2000rpm 78dB. Según la OMS nuestro oído puede tolerar 55dB sin sufrir ningún daño, por lo que recomiendan que el nivel más alto permisible de exposición al ruido en el lugar de trabajo sea de 85dB durante un máximo de 8h al día, pero si ese intervalo de tiempo se prolonga durante mucho más tiempo y continúa la exposición de la persona puede incluso correr riesgos cardiovasculares. También es posible que se registren incrementos de los niveles de colesterol, triglicéridos y glucosa en la sangre. (Sminkey, 2015).

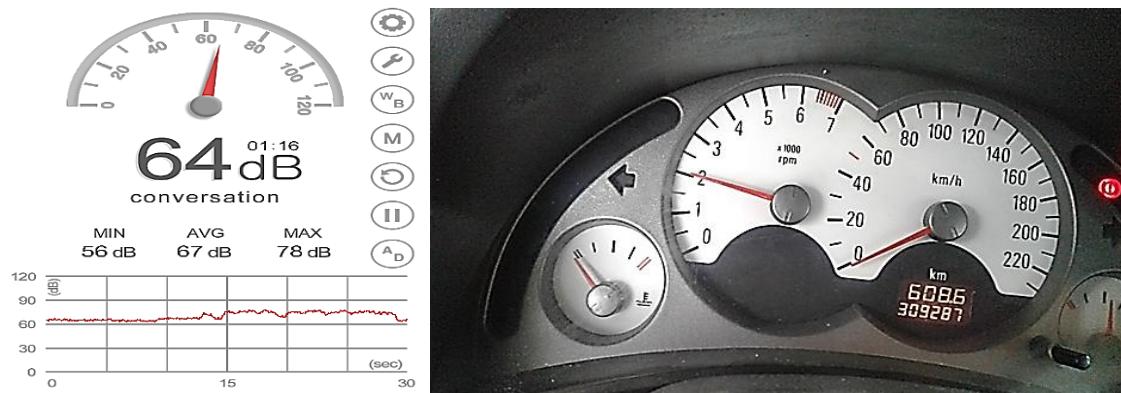


Figura 5: dB que produce el vehículo Chevrolet Corsa 1800cc desde ralentí hasta alcanzar las 2000rpm

Para poder determinar el tiempo de carga de un VE se debe tener cuenta lo que se presenta a continuación (anteponiendo que la intensidad es la del cargador):

Tabla 2. Comparación de cargas para VE

	Carga	Semi-rápida / de oportunidad	Rápida
Potencia e intensidad eléctrica	Corriente monofásica de 230V e intensidad de 16A. Potencia hasta 3,7kW	Corriente monofásica de 230V e intensidad entre 32 – 63A. Potencia entre 7,4 – 14,5kW	Corriente continua de 600V e intensidad hasta 400A. Potencia de 240kW
Tiempo estimado de recarga	5,5h para una recarga completa con corriente monofásica 2h con corriente trifásica	Entre 3h (32 <sup>a</sup> ) y 1,5h (63 <sup>a</sup> ) con corriente monofásica Entre 1h (32A) y 0,5h (63A) con corriente trifásica	Entre 5 – 8min
Localización óptima	Viviendas Lugares de trabajo Estaciones de ferrocarril Aeropuertos	Centros urbanos Supermercados Centros comerciales	Electrolineras
Momento de carga	Toda la noche Una jornada laboral	Mientras se realizan compras o disfruta de algún entretenimiento	El VE se carga sin alejarse de él. Es necesaria la presencia de alguien que supervise

La eficiencia mecánica que nos ofrece un VE es aproximadamente el doble que nos ofrece un MCI, lo cual se obtiene como resultado en el suministro de calor, distribución, transportación, entre otros, por lo cual un ciclo combinado es de  $\eta=28,9\%$ , mientras que los renovables es  $\eta=54,6\%$  (Electromovilidad), ya que éstos omiten ciertos aspectos como la entrega de calor.

### 3. Resultados y Discusión

Con el estudio de las variables cuantitativas y cualitativas que se presentaron en el punto anterior (Metodología), se muestra a continuación la evaluación de dos vehículos (VE y MCI), que se encuentran circulando en Ecuador. Se exponen los resultados obtenidos:

Tabla 3. Comparación entre un VE y un MCI, mediante la medición de las variables cuantitativas y cualitativas

Variables	VE KIA SOUL	MCI KIA RIO STYLUS 1600cc, 2013
Contaminación	-----	CO <sub>2</sub> (14%) HC (0.15%) CO (0.9%) <100ppm NO <sub>x</sub> (0.15%) H <sub>2</sub> O (13%) N <sub>2</sub> (71%)
Autonomía (Km. aproximada)	200Km	545Km
Gasto Energético (\$ aproximada)	3,56	10,00
Recarga y Repostaje	$Potencia = Intensidad \times Voltaje$ $P = 16 A \times 220 V = 3520W$ $Dur. Carga Bateria$ $= \frac{Capacidad (\frac{KW}{H})}{Potencia}$ $DCB = \frac{27 KW/H}{3.52 KW} = 7.67 H$	5min aprox. Sumatorias de tiempos desde que el vehículo ingresa a la estación de servicio hasta que sale
Ruido	-----	Condiciones normales de funcionamiento 75dB a 2000rpm.
Costo	\$34.990	\$13.450
Eficiencia mecánica (η)	η=54,6%	η=28,9%,

En el análisis de la Tabla 3, se analizaron 7 variables y se aprecian ciertas condiciones de cada uno que se pueden mejorar para ser más competitivos en temas de relevancia, aunque existen otros que se puede corregir más no de erradicar como la contaminación ambiental en un MCI.

La gama de VE que se circulan en el Ecuador se encuentra en estándares medianamente competitivos con los MCI, debido a que los factores que impiden su compra son el precio, velocidad máxima y tiempo de carga. A continuación se presentan algunos modelos de VE en circulación (Tabla 4)

Tabla 4. Lista de VE que se encuentran en el Ecuador, características como: potencia, autonomía tiempo de carga.

Marca y modelo	Costo		Potencia (CV)	Batería	Velocidad máxima (Km/h)	Tiempo de carga (Horas)
	Vehículo (\$)	Carga (Aprox.)				
KIA SOUL	34.990	212Km \$3.56	109	Polímero de litio	145	7 – 8
BYD E6	45.000	300Km \$5.34	122	Ion Litio Hierro	140	2h en 63Amp
NISSAN LEAF	27.800	175Km \$3.12	109	Iones de litio laminados	145	7 – 8
RENAUL TWIZI	14.900	100Km \$1.75 aprox.	5	Litio	80	2 – 5

#### 4. Conclusiones y Recomendaciones

El VE es más amigable con el medio ambiente al igual que en las variables de eficiencia y economía de gasto energético a diferencia de los MCI.

El análisis comparativo mediante los parámetros estipulados indicaron que tanto el VE como el MCI tienen características que son esenciales para los conductores, en algún momento los puntos más importantes de cada uno se deberán homogenizar y así potenciar a la industria automotriz por lo tanto también ayudara a la conservación del medio ambiente.

Los VE son la mejor alternativa para abandonar la dependencia del petróleo, la cual es una fuente no renovable, y optar por la electricidad como fuente motriz la cual es una fuente de energía renovable (y existen varias formas de obtenerlas), principalmente en Ecuador que las condiciones geográficas son óptimas, además del aprovechamiento del cambio de la Matriz Energética.

En la actualidad y a futuro se debe ser flexible a los cambios que existen y más aun con la conservación medio ambiental, la concientización es de todo y de las grandes empresas automotrices en la disminución de costos para poder hacer más accesible a su adquisición y mejorar ciertas variables que para los conductores son trascendentales.

Un estudio realizado por la Universidad Noruega de Ciencia y Tecnología, concluyó que las emisiones de efecto invernadero se incrementan de manera espectacular si se usa carbón para producir la electricidad (BBC, 2012)

## Bibliografía

1. ABB. (s.f.). Carga Rápida de Vehículos Eléctricos: El cargador ultra-rápido Terra 51 adapta la tecnología a las costumbres de los usuarios. *Newsletter de ABB Colombia*.
2. ARCONEL. (2017). PLIEGO TARIFARIO PARA LAS EMPRESAS ELÉCTRICAS. *SERVICIO PÚBLICO DE ENERGÍA ELECTRICA*, 20-22.
3. BBC. (5 de Octubre de 2012). La amenaza ambiental de los autos eléctricos.
4. Comercio, E. (11 de Agosto de 2015). Los vehículos eléctricos abaratan ciertos costos. *El Comercio*.
5. Electromovilidad. (s.f.). *Electromovilidad*. Obtenido de Electromovilidad: <http://electromovilidad.net/comparativa-coche-electrico-vs-coche-combustion/>
6. González, R. (2012). LAS EMISIONES CONTAMINANTES DE LOS COCHES. *Twenergy*.
7. MOTORS, K. (s.f.). *KIA MOTROS*. Obtenido de KIA MOTORS: <http://org2-www.kia.com:84/ec/showroom/soul-ev.html>
8. Sminkey, L. (15 de Febrero de 2015). *Organizacion Mundial de la Salud*. Obtenido de WHO: <http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2015/ear-care/es/>
9. Telegrafo, E. (6 de Mayo de 2017). El precio de los combustibles en Ecuador es el más bajo de la región.
10. Universo, E. (30 de Junio de 2017). Más de 100 autos eléctricos circulan por Ecuador.

# **SISTEMA DE CARGA INALÁMBRICA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS EN REPOSO**

## **WIRELESS CHARGING SYSTEM FOR STATIC ELECTRIC VEHICLES**

**Iván E. Yáñez Z. MSc<sup>1a\*</sup>**

Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito, Ecuador

<sup>a\*</sup>[ivan.yanez@ute.edu.ec](mailto:ivan.yanez@ute.edu.ec)

### **Resumen:**

El uso de vehículos eléctricos es una realidad en el mundo, sobre todo por el impacto ambiental positivo que involucra esta tecnología de movilidad, el problema que se presenta es que la carga del vehículo se realiza usando cable, método conocido como plug-in. Sin embargo se tiene una alternativa tecnológica que puede sustituir a los cables, esta tecnología se conoce como sistema de transferencia de energía mediante inducción electromagnética. El objetivo de este proyecto de investigación es demostrar que el sistema de carga por inducción es totalmente factible para un vehículo estacionado. Se usa una bobina fuente ubicada en el piso del parqueadero, y una bobina captadora ubicada en el bastidor del auto, en este trabajo se demuestra experimentalmente como varía el voltaje en la bobina captadora al variar su distancia respecto a la bobina fuente. Para realizar las mediciones se construyó un prototipo formado por dos bobinas con separación variable y sin núcleo común. Finalmente se evaluó el comportamiento del voltaje inducido en la bobina captadora y se determinó la curva característica de transferencia, usando como parámetro el voltaje inducido.

**Palabras Clave:** carga inalámbrica; vehículo eléctrico

### **Abstract:**

The use of electric vehicles is a reality in the world, especially because of the positive environmental impact of this mobility technology, the problem is that the vehicle is loaded using cable, a method known as a plug-in. However there is a technological alternative that can replace the cables, this technology is known as energy transfer system by electromagnetic induction. The aim of this research project is to demonstrate that the induction charging system is fully feasible for a parked vehicle. A source coil is used in the parking lot floor, and a pickup coil located in the car frame, this work demonstrates experimentally how the voltage in the pickup coil changes as its distance from the source coil changes. To carry out the measurements, a prototype formed by two coils with variable separation and without common core was constructed. Finally, the behavior of the induced voltage in the collector coil was evaluated and the transfer characteristic curve was determined using the induced voltage as the parameter.

**Key words:** wireless charging; electric vehicle

## 1. Introducción

El problema que se presenta en el proceso de carga de un vehículo eléctrico es que físicamente está conectado a la pared mediante un cable, en el presente trabajo se plantea la opción de usar la inducción electromagnética como alternativa para transferir energía eléctrica sin usar cables. Para aplicar el principio de inducción electromagnética, se necesita un núcleo de hierro común entre la bobina primaria (fuente) y la secundaria (captador). Para carga inalámbrica esto no es posible porque la fuente de carga estaría en el piso y el receptor de carga está en el bastidor del vehículo y el flujo magnético se transporta por el espacio a través del aire. Pero el flujo se dispersa según la distancia entre la fuente y el captador. En esta investigación se hace mediciones del voltaje inducido en la bobina captadora para diferentes distancias. El sistema de carga que se va a probar se basa en el principio de inducción electromagnética, que consiste en producir electricidad en un conductor gracias al movimiento del campo magnético de otro conductor cercano (BIJALWAN, 2014), estos principios son bastante conocidos y se los ha desarrollado desde hace mucho tiempo (BIJALWAN, 2014).

El flujo magnético se lo describe mediante la relación:

$$\Phi = B \cdot S \cdot \cos \varphi \quad (1)$$

Donde B es la intensidad del campo magnético, S la superficie por la que atraviesa el campo (Net, 2016). El flujo magnético cambia en el espacio, según la distancia que se encuentre el polo Norte con el polo Sur, por eso se utiliza un material ferromagnético para evitar la dispersión de las líneas de campo magnético, por ejemplo en los transformadores, ver Figura 1.

Existen varios métodos de carga tanto comerciales como en etapa de prueba, por ejemplo para baja potencia existe el denominado Highly Resonant Wireless Power Transfer, que usando nuevos conocimientos transporta el flujo magnético mediante ondas resonantes (MORRIS, 2013). Esto ya lo demostró Nikola Tesla hace 100 años usando el circuito resonador básico R-L-C (Marck, 2015). Otro método de transporte de energía es las microondas, sin embargo por la densidad alta de energía está observado por un estándar de comunicación y no se usa en Vehículos Eléctricos (Xiao, 2014).

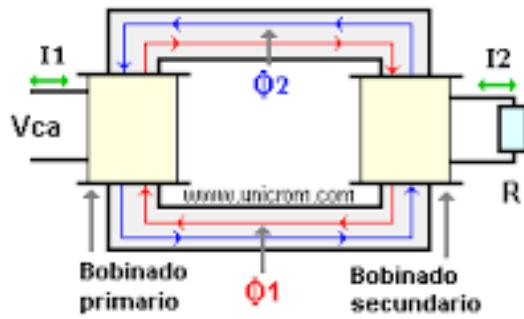


Figura 1. Líneas de campo (EDIAN, 2016)

Actualmente los sistema de carga Wireless se usan ampliamente en todo el mundo, los estándares son aplicados en muchas industrias (JoehrenMichael, 2014). La tensión inducida en la captadora debido a un flujo de campo magnético variable viene dado por la relación [2] conocida como ley de Faraday.

$$V_c = -N \frac{d\Phi}{dt} \quad (2)$$

Donde  $V$  es la tensión inducida por una bobina de  $N$  vueltas, y el diferencial es la variación del flujo magnético.

El objetivo general de este trabajo de Investigación es medir el voltaje inducido en la bobina captadora ( $V_c$ ) cuando se varia la distancia entre bobinas, en este caso el flujo magnético se propaga en el aire.

En este trabajo de investigación, la bobina fuente es la bobina primaria ( $p$ ) y la bobina captadora es la bobina secundaria ( $s$ ). La relación del transformador ideal ( $m$ ), viene dada por:

$$\frac{N_p}{N_s} = \frac{V_p}{V_s} = \frac{I_s}{I_p} = m \quad (3)$$

Cuando los núcleos de la bobina fuente y captadora están separados una cierta distancia, el rendimiento de la transferencia por inducción es  $\beta$ , y se determina por:

$$\beta = V_{cmax}/V_f \quad (4)$$

Donde  $V_{cmax}$  es el máximo voltaje inducido en la bobina captadora y  $V_f$  es el voltaje de red aplicado a la bobina fuente.

## 2. Metodología

El método a usar es el experimental, debido a que la altura de la suspensión respecto al piso varía según los autos, el prototipo de carga por inducción se lo validará para distintas distancias de la fuente y el captador de energía, mediante una regla numerada hasta 40 mm, la fuente y el captador tendrán una separación regulable para poder realizar las mediciones, ver Figura 2.

La bobina fuente tiene  $N_f$  vueltas, y la bobina captadora tiene  $N_c$  vueltas de alambre de cobre, para este trabajo se utilizó dos bobinas con igual numero de espiras  $N_f=N_c$ . Las bobinas están enrolladas en un núcleo de hierro, la bobina fuente tiene un mecanismo de desplazamiento frente a una regla graduada en mm.

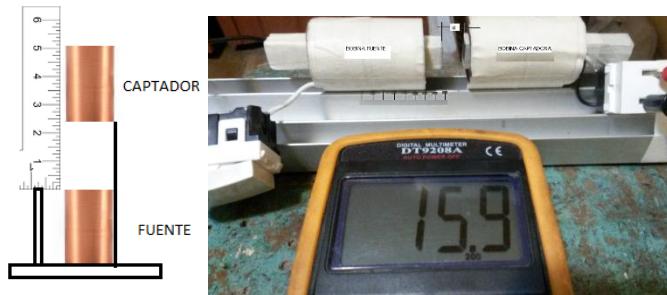


Figura 2. Prototipo para medir el voltaje inducido

## 3. Resultados y Discusión

El voltaje inducido en la captadora ( $V_c$ ) no es 100% efectivo a lo mucho se obtiene un rendimiento en la transferencia de  $\beta$ , ver ecuación (4).

$$V_{c\max} = \beta V_f$$

Se espera por tanto determinar el rendimiento de transferencia de energía ( $\beta$ ), usando como parámetro el voltaje inducido en la bobina captadora.

### 3.1 Pruebas

Parámetros iniciales medidos:

Voltaje de Red ( $V_r=V_f$ ): 127,5 V

Resistencia bobina fuente: 9,8 K $\Omega$

Resistencia bobina Captadora: 9,9 K $\Omega$

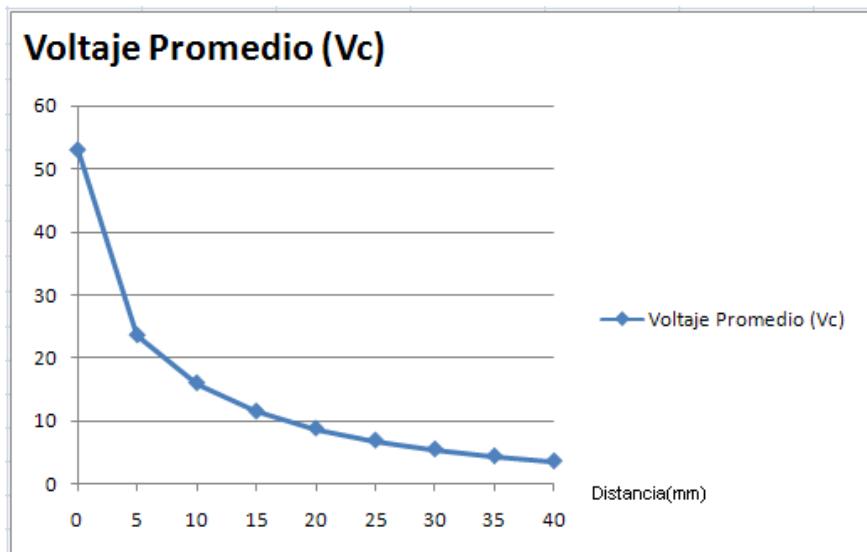
Se procede a medir el voltaje para distintas distancias entre bobinas, para cada distancia se mide cuatro veces el voltaje y se obtiene el promedio, luego se calcula el rendimiento de

transferencia inalámbrica de carga. Los resultados de medición de voltaje en la Bobina captadora se presentan en la Tabla 1.

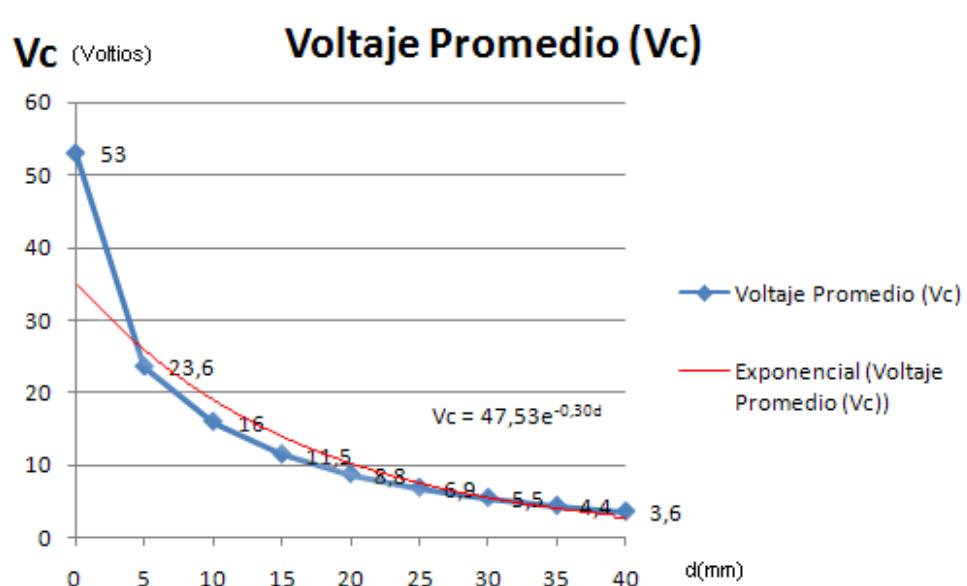
Tabla 1. Medición de Voltaje en la bobina captadora

Distancia d(mm)	V1 (v)	V2 (v)	V3 (v)	V4 (v)	Voltaje promedio(Vc)	Rendimiento de transferencia de energía ( $\beta=Vc/Vr \times 100\%$ )
0	52,8	53,2	53,2	52,6	53,0	41,6
5	24,7	23,1	23,4	23,0	23,6	18,5
10	16,2	15,7	16,2	15,8	16,0	12,5
15	11,9	11,6	11,4	11,2	11,5	9,0
20	9,0	8,7	8,8	8,5	8,8	6,9
25	7,1	6,8	6,8	6,7	6,9	5,4
30	5,6	5,5	5,5	5,4	5,5	4,3
35	4,5	4,4	4,3	4,3	4,4	3,5
40	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	2,8

Al realizar el gráfico con los datos de las mediciones de voltaje, la curva que se presenta es de tipo decreciente, y se la ve en la Figura 3. En el eje vertical está el voltaje medido en la bobina captadora, y en el eje horizontal está la separación entre bobinas, calibrado en [mm]. Esta escala está marcada en la base del prototipo, y mediante un sistema de desplazamiento se regula la distancia.



Al realizar una interpolación a los datos obtenidos de las mediciones, usando excel se determina que la función matemática que más se aproxima a la tendencia de puntos medidas es de tipo exponencial decreciente, ver Figura 4.



Y la función matemática obtenida por interpolación para la transferencia inductiva es:

$$Vc = 47,53e^{-0,30d} \quad (5)$$

Luego de realizar las mediciones respectivas se determina que el método de carga inalámbrico es factible si la bobina fuente y la bobina captadora está lo más cerca posible, se sugiere un mecanismo retráctil para regular la distancia. La transferencia de energía es mayor si se usa suministro de corriente de 220 V, si la toma es de 110 V la carga es lenta. Para aplicar al vehículo se debe usar un mecanismo retráctil automático que asegure que las bobinas fuente y captadora estén lo más cerca posible en el momento de la carga y cuando el vehículo se pone en marcha el mecanismo se retrae.

#### 4. Conclusiones y Recomendaciones

El sistema de carga inalámbrica por el método inductivo, se encuentra formado por dos bobinas una fuente y una captadora, La bobina fuente está en el piso y la captadora en el bastidor del vehículo, siendo la separación entre bobinas un factor determinante en la transferencia inductiva de energía.

A 20 mm de distancia la potencia de transferencia inductiva es del 6,9%, la máxima transferencia de energía es a 0 mm, siendo el valor de transferencia un  $\beta = 41,6\%$  del voltaje aplicado en la bobina fuente, por interpolación se ve que el mejor modelo matemático que describe los datos medidos es una función exponencial decreciente.

A una distancia de 0mm, el voltaje inducido en la bobina captadora es máximo y tiene un valor de 53 voltios en promedio. A 40 mm de distancia el voltaje inducido es apenas de 3,6 voltios.

El siguiente experimento sería disminuir el número de vueltas en la bobina fuente, para así aumentar la corriente y la intensidad del flujo campo magnético, e inducir un mayor voltaje en la bobina captadora. La potencia de transferencia depende en forma directamente proporcional del voltaje inducido en la bobina captadora.

#### Referencias

1. BIJALWAN, T. (2014). REVIEW PAPER BASED ON WIRELESS CHARGING. ISTP Journal, 1.
2. EDIAN, F. (01 de 01 de 2016). Monografías.com. Recuperado el 29 de 03 de 2016, de Monografías.com:  
<http://www.monografias.com/trabajos63/transformadores/transformadores2.shtml>
3. JoehrenMichael. (2014). Development of an optimized wireless charging application. NXP Semiconductors, January.
4. Marck, E. (2015). The Convenience de Wireless Charging. Media Tek, 8.
5. MORRIS, K. (2013). Highly Resonant Wireless Power Transfer. WITRICITY Corporation, p2.
6. Net, F. (01 de 01 de 2016). Fisica Net. Recuperado el 23 de 03 de 2016, de Fisica Net:  
[http://www.fisicanet.com.ar/fisica/electrodinamica/ap03\\_induccion.php](http://www.fisicanet.com.ar/fisica/electrodinamica/ap03_induccion.php)
7. Xiao, L. (2014). Wireless Charger Networking for Mobile Devices. Wireless Charger Networking for Mobile Devices.

# **AVANCES DE LA TECNOLOGÍA AUTOMOTRIZ A TRAVÉS DE INTEGRADOS TRANSISTORIZADOS INTELIGENTES EN LOS CONTROLADORES ELECTRÓNICOS DEL VEHÍCULO.**

## ***ADVANCES IN AUTOMOTIVE TECHNOLOGY THROUGH INTELLIGENT INTEGRATED TRANSISTORS IN THE VEHICLE'S ELECTRONIC CONTROLLERS.***

***Edwin Grijalva Campana<sup>1a\*</sup>, Arturo Falconí Borja<sup>1b</sup>, Gabriel Macas Piscoc<sup>2c</sup>, Luis Grijalva Campana<sup>3d</sup>***

<sup>1</sup>Universidad Tecnológica Equinoccial, Sede Santo Domingo, Ecuador

<sup>2</sup>Universidad Politécnica de Madrid, España

<sup>3</sup>Universidad del Azuay, Ecuador

<sup>a</sup>[Edwin.grijalva@ute.edu.ec](mailto:Edwin.grijalva@ute.edu.ec), <sup>b</sup>[manuel.falconi@ute.edu.ec](mailto:manuel.falconi@ute.edu.ec),

<sup>c</sup>[gabriel\\_macas125@yahoo.ecom](mailto:gabriel_macas125@yahoo.ecom), <sup>d</sup>[luis\\_q1989@hotmail.com](mailto:luis_q1989@hotmail.com)

### **Resumen:**

La aplicación de la electrónica de control en los vehículos automotores hoy en día ha tomado un papel preponderante, el automóvil moderno cuenta con una cantidad importante de controladores electrónicos en toda su estructura, los cuales están destinados a controlar el correcto funcionamiento de los componentes mecánicos y eléctricos, un ejemplo palpable es la evolución a través del tiempo del sistema de inyección de combustible que actualmente ha logrado disminuir de una manera importante la emisión de gases de efecto invernadero en el sector del transporte. El presente trabajo se enfoca en el análisis de los componentes de control de los actuadores denominados como transistores inteligentes, para ello se ha caracterizado un circuito integrado en particular el denominado TLE7241E, la metodología se basa en la experimentación del integrado a través de la simulación de señales de sensores propias de una configuración automotriz que ingresan a un bloque de procesamiento de señales en la cual su elemento principal es el microprocesador, este finalmente enviará señales de control a través de un bus de datos. Finalmente se mostrarán los resultados obtenidos al simular los distintos rangos de régimen del motor a través de la señal del sensor de posición del cigüenel y la sincronización a través del sensor de posicionamiento del árbol de levas, variables físicas medibles esenciales para calcular el tiempo de apertura de un inyector e introducir la cantidad de combustible adecuada en los cilindros del motor permitiendo una combustión eficiente con la mayor cantidad de combustible interactuada.

**Palabras Claves:** Transistores; integrados; controladores; TLE7241E.

### **Abstract:**

The application of control electronics in motor vehicles today has taken a leading role, the modern car has a large number of electronic controllers throughout its structure, which are intended to control the correct functioning of mechanical components and electric vehicles, a palpable example is the evolution over time of the fuel injection system which has now managed to significantly reduce the emission of greenhouse gases in the transport sector.

The present work focuses on the analysis of the control components of the actuators called as intelligent transistors, for which an integrated circuit has been characterized in particular the so-called TLE7241E, the methodology is based on the experimentation of the integrated through the simulation of signals of sensors of an automotive configuration that enter a signal processing block in which its main element is the microprocessor, it will finally send control signals through a data bus.

Finally, the results obtained will be shown by simulating the different engine speed ranges through the crankshaft position sensor signal and the synchronization through the camshaft positioning sensor, measurable physical variables essential for calculating the opening time of an injector and introduce the appropriate amount of fuel into the engine cylinders allowing efficient combustion with the largest amount of fuel interacted.

**Keywords:** Transistors; integrated; drivers; TLE7241E.

## 1. Introducción

Hoy en día el uso de controladores electrónicos ha revolucionado el automóvil moderno el ejemplo más palpable es la innovación del sistema de inyección de combustible el cual consiste en un sistema electrónico con un conjunto de componentes como sensores, modulo electrónico y actuadores, su función como sistema es la de llevar al motor a la zona de máximo rendimiento en función del régimen de giro, de esta manera que la cantidad de combustible consumida sea la adecuada y así evitar la contaminación ambiental (Avalos, D. & Brito, R. 2014).

La innovación de la tecnología electrónica en el vehículo está actualmente muy madura y al día de hoy existen empresas que se dedican a fabricar componentes electrónicos exclusivos para el sector automotriz (Bosh, R 2005), los integrados electrónicos son básicamente semiconductores que tienen características adecuadas para su uso como manejo de su tamaño, versatilidad, resistencia a sobrevoltajes y sobrecorrientes e inclusive estar acondicionado para funcionar en climas adversos como alto índice de humedad y altas temperaturas, también se encuentran protegidos ante las vibraciones, es así que existen una alta gama de integrados aplicados en los vehículos de acuerdo a cada necesidad (Casier, H. 2012).

El funcionamiento de los integrados Smart drivers depende de cada modelo por lo que las características de funcionamiento son particulares para cada uno de estos, sin embargo la información que se encuentra en la actualidad se limita a la ficha técnica que provee el fabricante denominada "datasheet", la cual viene a ser básica para poder interpretar el funcionamiento del componente. En este artículo se ha caracterizado al integrado TLE7241E incorporándolo a un sistema electrónico que está provisto por un módulo electrónico de control, sensores y actuadores, de este modo se ha comprobado su funcionamiento en un rango de situaciones. Se debe recalcar que el integrado electrónico analizado tiene una gran ventaja sobre los transistores tradicionales como: protección de daños por sobrecorriente, sobretensión y sobretemperatura, además son capaces de diagnosticar cargas abiertas y cargas cortocircuito a tierra.

Mediante el circuito electrónico experimental incorporado al TLE7241E se ha controlado los inyectores del sistema de combustible, se trata así de analizar el comportamiento del integrado acoplado a todo el sistema, se desea controlar el tiempo de apertura de los inyectores a partir de simular las señales electrónicas digitales del sensor de posición del árbol de levas y del sensor de posición del cigüeñal mediante un sistema electrónico que genere pulsos de onda cuadrada, además también la posibilidad de simular sensores de posición del cigüeñal del tipo inductivo, a través de un circuito electrónico que genere

ondas senoidales, finalmente también se ha programado un microcontrolador ATMEGA32 para comandar el integrado electrónico TLE7241E.

## 2. Metodología

Se ha caracterizado el Smart Driver a partir de su integración a una tarjeta electrónica provista de bloques característicos tradicionales de una unidad electrónica de control automotriz la cual está conformada por varios bloques, el primero es el bloque fuente provisto por resistores, diodos, reguladores de voltaje, etc., su función es la de alimentar los circuitos internos del módulo de control electrónico manteniendo constante la tensión y dentro de los límites especificados ya que existen factores externos que pueden variar la tensión de entrada, como son la temperatura, humedad o sobrecorrientes, u otras magnitudes de influencia. Este circuito fuente tiene por objetivo convertir los 12 Voltios de corriente continua del sistema de alimentación del vehículo a un nivel adecuado de 5 Voltios de esta manera energizar el circuito electrónico experimental (Bauer, H. 2012). Se ha seleccionado como regulador de voltaje al integrado LM7805 y se han utilizado tres de estos, el primero administra voltaje al generador de señales, el segundo administra voltaje tanto al microcontrolador como al integrado electrónico TLE7241E y el tercero administra voltaje al segundo microcontrolador y a la pantalla LCD incorporada (García, V, 2013).

El segundo bloque viene a ser el de adquisición de datos en donde se encuentran ubicados todos los circuitos receptores de las diferentes señales de los sensores del sistema y que van a ingresar al controlador electrónico. Este bloque está conformado por filtros, amplificadores operacionales, conversores análogos digitales, compuertas lógicas etc. La misión de este bloque es la de depurar y adecuar las señales que van a ingresar al microcontrolador.

El bloque de procesamiento de datos es el tercer bloque y es el conjunto de circuitos que desarrolla las funciones programadas de acuerdo con las señales obtenidas de los distintos sensores del vehículo, este bloque está constituido por el microcontrolador, memorias y todo circuito que se vea involucrado en la ejecución del software. Finalmente el último bloque es el de potencia el cual se encuentran localizado entre la salida del microcontrolador y los diferentes actuadores del vehículo. Está conformado por distintos circuitos de potencia como transistores denominados en nuestro estudio como Smart drivers, los mismos que son los encargados de comandar sobre los diferentes periféricos de potencia que en definitiva son componentes como las bobinas de encendido, inyectores, válvula de control de ralentí, electroventiladores etc. La figura 1 detalla lo relacionado con los bloques del módulo de control electrónico.

## SENSORES

## ACTUADORES

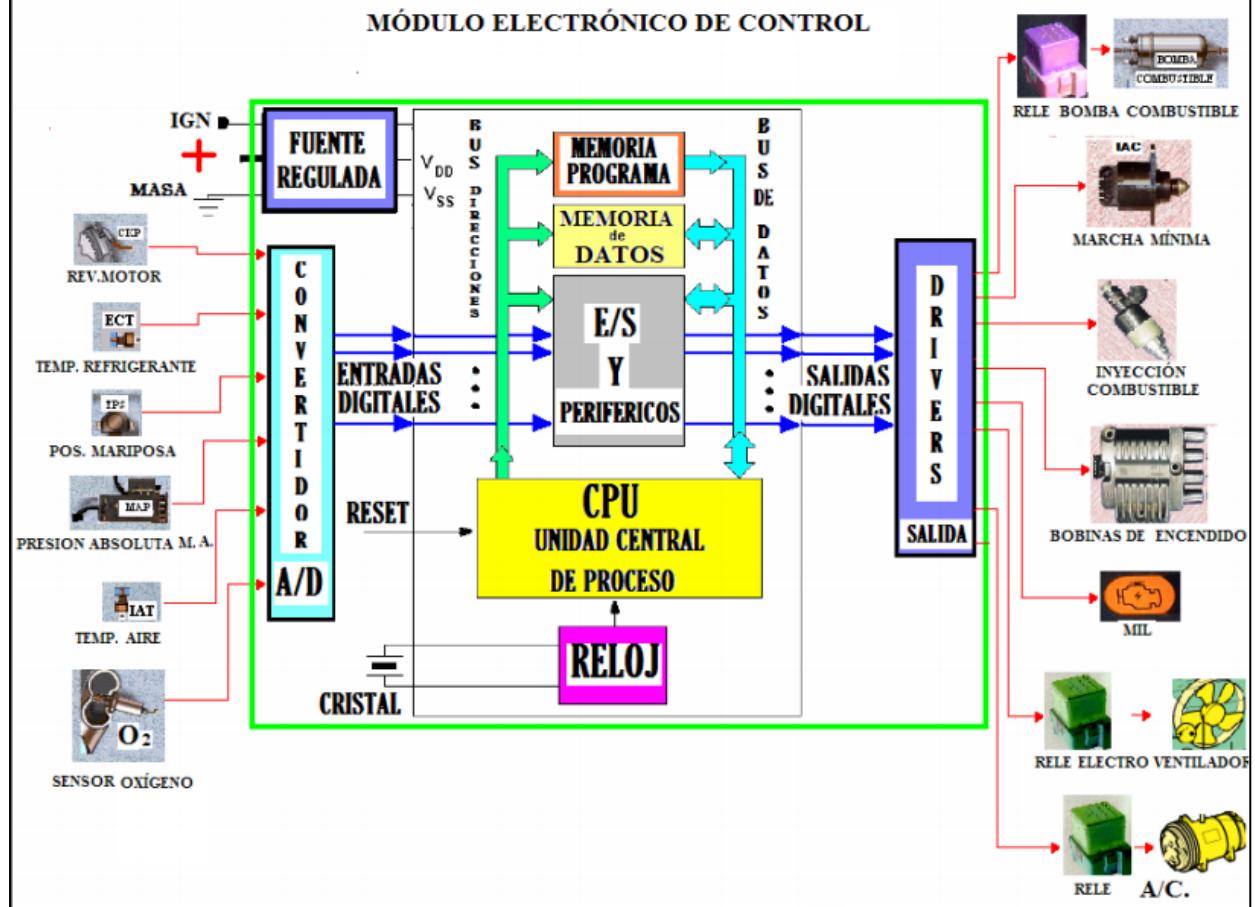


Figura 1: Arquitectura del módulo electrónico del motor

Fuente: Chávez Iván, 2008

Se procedió en primer lugar a esquematizar el circuito electrónico diseñado y como va actuar dentro del sistema (figura 2) la arquitectura consta de un microcontrolador que recepta la información de los sensores simulados de posición de cigüeñal y del árbol de levas y envía las señales adecuadas para realizar el control de los inyectores a través del circuito integrado TLE7241E el cual hace uso de múltiples pines de los distintos puertos del microcontrolador y que maneja varios buses como el I<sup>2</sup>C -*Inter-Integrated Circuit*- el cual comunica los datos en serie su objetivo es el de comunicar al Smart Driver con el microcontrolador y sus periféricos (In Schulze. 2015). El SPI -*Serial Peripheral Interface*- es un bus para controlar los integrados electrónicos que acepte un flujo de bits en serie regulado por el reloj del microcontrolador para nuestro análisis so lo ha conectado en modo esclavo, finalmente el bus CAN -*Controller Area Network*- está basado en la distribución de mensajes (In Lawrenz, W. 2013), con una tasa de señalización máxima de 1Mbps. Se envían muchos mensajes cortos a la red completa, lo que asegura consistencia de datos en cada nodo del sistema. Originalmente diseñado por Bosch para la industria automotriz. El segundo microcontrolador es complementario y su función es simplemente la de recepta las señales de los sensores y mostrar al usuario a través de datos en una pantalla LCD.

De esta manera la unidad electrónica de control opera directamente sobre la dosificación del combustible mediante el inyector de combustible, es necesario previamente implementar una etapa de potencia, debidamente aislada de la etapa de control, que consiga captar las señales provenientes del microcontrolador que es el bloque de potencia del circuito

electrónico con el integrado TLE7241E de esta manera se ha podido controlar los inyectores de combustible de gasolina. Este dispositivo es un conductor de corriente constante de doble canal para el control de solenoides mediante transistores de potencia DMOS y nos permite programar la corriente de carga promedio a un valor en el rango de 0 mA a 1200 mA (con una resistencia de detección externa  $1\Omega$ ) y 10 bits de resolución (Infineon. 2015). Finalmente el dispositivo electrónico está protegido de averías ocasionadas por sobrecargas de corriente, sobretensión y condiciones de exceso de temperatura, además es capaz de diagnosticar y notificar cargas abiertas y en cortocircuito.

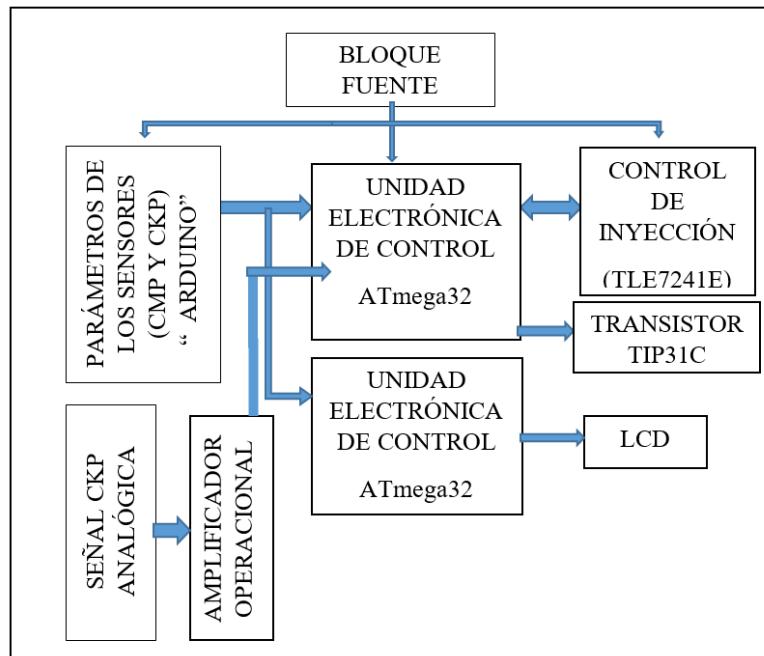


Figura 2. Arquitectura del circuito electrónico empleando el integrado TLE7241E.

### 3. Resultados y Discusión

Una vez diseñado y construido el sistema electrónico se ha procedido a realizar las pruebas, el sistema permite elegir el modo de operación de inyección de combustible ya sea secuencial, semisecuencial o simultánea (Hermosa, D. A. 2012), de esta manera se obtienen los resultados del pulso de inyección, el cual dependerá de la velocidad de régimen del motor simulada mediante un potenciómetro que variará las señales del sensor de posición del cigüeñal, para poder visualizar los resultados se ha colocado un osciloscopio en los pines de conexión de los inyectores para mostrar la frecuencia y periodo de funcionamiento del inyector. Además se procede a elegir el tiempo de inyección de la onda grabada ya sea esta en ralentí (850 rpm), media carga (3000 rpm) o carga completa (6000 rpm). La figura 3a muestra el controlador electrónico experimenta, la figura 3b muestra el controlador operando el sistema en inyección semisecuencial, la figura 3c con sistema de inyección secuencial y la figura 3d con sistema de inyección simultánea.



Figura 3a. Controlador electrónico experimental.

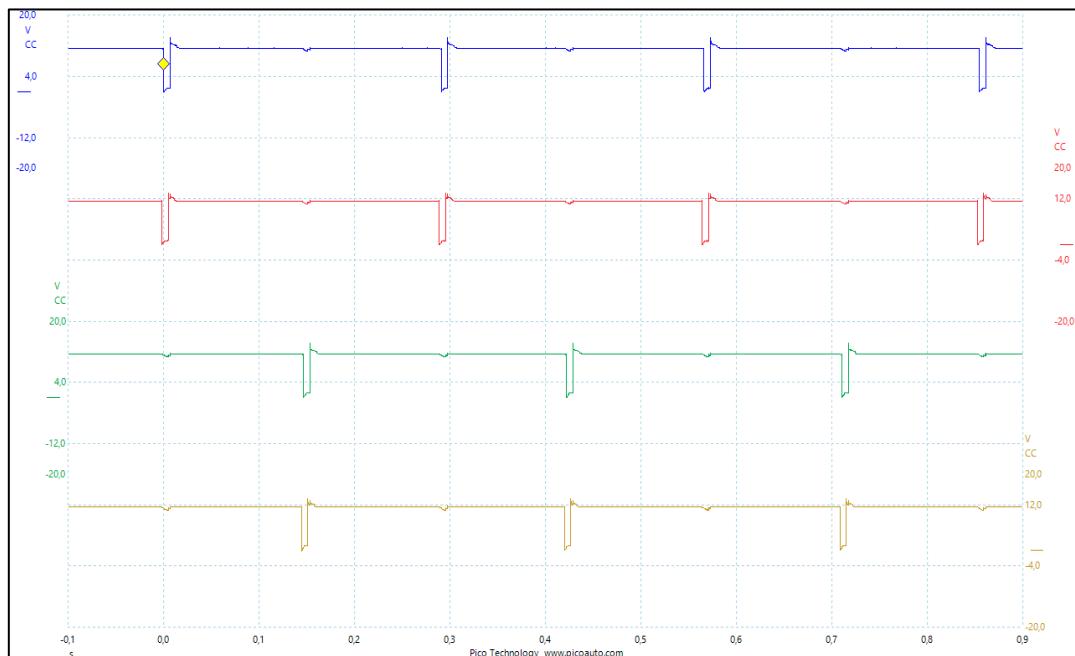


Figura 3b. Inyección semisecuencial

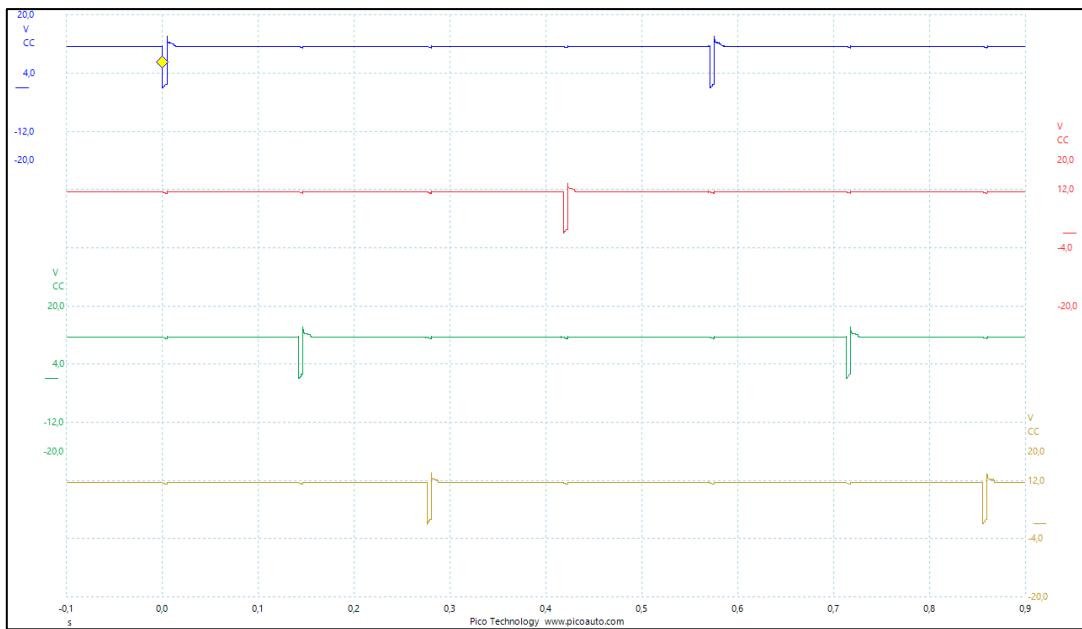


Figura 3c. Inyección secuencial

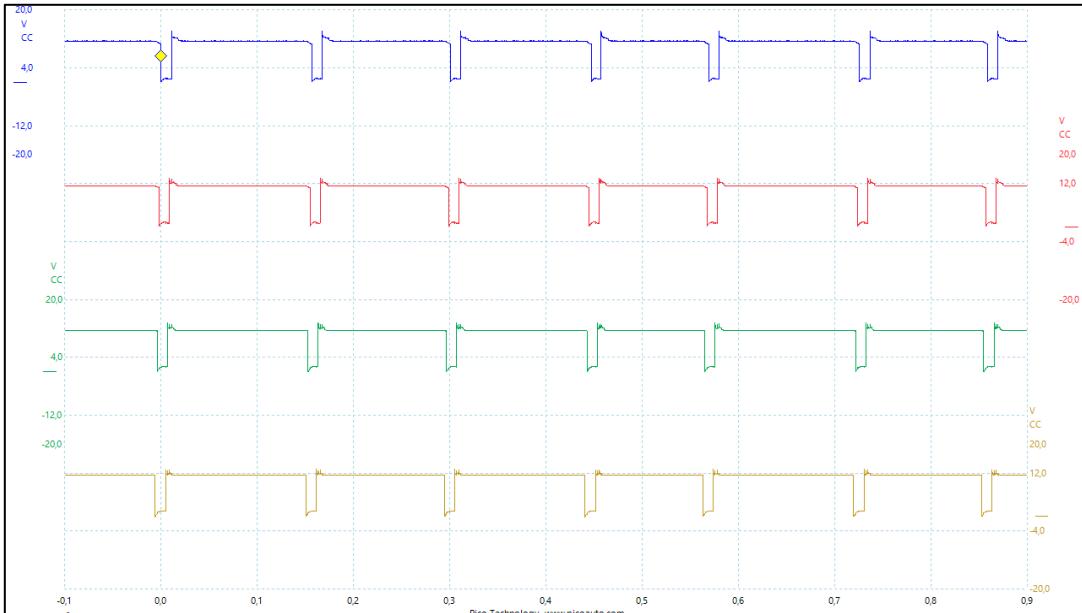


Figura 3d. Inyección simultánea

#### 4. Conclusiones y Recomendaciones

En el presente artículo se ha expuesto la caracterización de un circuito electrónico experimental con Smart driver para el control de inyectores de combustible de gasolina empleando el integrado TLE7241E. Se ha comprobado que se puede caracterizar el integrado en los distintos tipos de inyección de combustible conocidos como lo es la inyección secuencial, semisecuencial y simultánea. Se ha intervenido sobre los distintos buses de datos como CAN, SPI y I<sup>2</sup>C, además se ha podido configurar a los transistores internos del integrado para funcionar en las distintas formas de inyectar el combustible de los sistemas de inyección de gasolina.

La alta funcionalidad de estos transistores permite tener una alta gama de funcionalidad es así que pueden ser configurados para comandar otros actuadores como bobinas, bombas de combustible, electroválvulas, válvulas de la EVAP, Válvulas EGR, etc. Además existen

Smart drivers con mayor número de transistores internos. Es así que los estudios sobre este tipo de drivers se pueden analizar para nuevas investigaciones.

## Bibliografía

1. Avalos, D. & Brito, R. (2014), *Diseño y construcción de una unidad electrónica para controlar los tiempos de inyección de combustible en un simulador de motor de combustión interna* (Tesis de pregrado), Escuela Politécnica Nacional, Quito.
2. Bauer, H., Fritz, A., & Robert Bosch GmbH. <Stuttgart>. (2002). *Microelectrónica en el vehículo motorizado*. Stuttgart: Robert Bosch GmbH
3. Bosh, R (2005). Manual de la técnica del automóvil. Alemania
4. Cano, M. A. (2012). Mantenimiento de redes multiplexadas (UF1104). Málaga: IC Editorial Carretero, M. A. (2011). Electrónica. Pozuelo de Alarcón, Madrid: Editex.
5. Casier, H., Steyaert, M., & Roermund, A. H. M. (2008). Analog circuit design: Sensors, actuators and power drivers: integrated power amplifiers from wireline to RF: very high frequency front ends. Dordrecht, Netherlands: Springer.
6. García, V (abril 10, 2013), controladores básicos (drivers), consultado el 01 de octubre del 2015, de <http://www.diarioelectronicohoy.com/blog/controladores-basicos-drivers>
7. Gil, H. (2002). La electrónica en el automóvil. Barcelona: Ediciones CEAC.
8. Halderman, James D, and Chase D. Mitchell. Diagnosis and Troubleshooting of Automotive Electrical, Electronic, and Computer Systems. Upper Saddle River, N.J: Pearson/Prentice Hall, 2006.
9. Hermosa, D. A. (2012). Electrónica aplicada. Barcelona: Marcombo.
10. In Lawrenz, W. (2013). CAN system engineering: From theory to practical applications.
11. In Schulze, T., In Müller, B., & In Meyer, G. (2015). Advanced microsystems for automotive
12. applications 2015: Smart systems for green and automated driving. .Alemania: Berlin.
13. Infineon, TLE7241E, consultado el 01 de octubre del 2015, de <http://www.infineon.com/cms/en/product/automotive-system-ic/constant-current-control-ic-for-transmission/TLE7241E/productType.html?productType=db3a304443d8bd9e0143f7a4618c286f>

# ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE EMISIÓN EN RUTA PARA LA CIUDAD DE QUITO

## ANALYSIS OF THE EMISSION FACTORS ON ROAD TO THE CITY OF QUITO

**Tipanluisa Luis<sup>1a\*</sup>, Rocha-Hoyos Juan<sup>2b</sup>, Portilla A. Ángel<sup>3c</sup>; Llanes Cedeño Edilberto<sup>3d</sup>**

<sup>1</sup> Centro de Transferencia Tecnológica para la Capacitación e Investigación en Control de Emisiones Vehiculares, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador

<sup>2</sup> Facultad de Arquitectura e Ingenierías, Universidad Internacional SEK, Quito, Ecuador

<sup>3</sup> Departamento de Ingeniería Mecánica, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador

<sup>a\*</sup>[luis.tipanluisa@epn.edu.ec](mailto:luis.tipanluisa@epn.edu.ec), <sup>b</sup>[carlos.rocha@uisek.edu.ec](mailto:carlos.rocha@uisek.edu.ec),  
<sup>c</sup>[angel.portilla@epn.edu.ec](mailto:angel.portilla@epn.edu.ec) <sup>d</sup>[llanesecuador@gmail.com](mailto:llanesecuador@gmail.com),

### Resumen:

En la actualidad es muy importante estimar la aportación del parque vehicular en los inventarios de emisiones contaminantes para la ciudad de Quito debido a su característica geográfica que la ubica en una altura sobre los 2 800 m. En este estudio se analiza los factores de emisión en ruta de tres combustibles utilizados principalmente por vehículos livianos en el Ecuador; gasolina súper con 93 octanos; gasolina extra con 87 octanos; y gasolina ecopáis (gasolina extra y un 5 % de bioetanol a base de caña de azúcar), actualmente distribuida en la ciudad de Guayaquil que pretende ser distribuida en los próximos años en la ciudad de Quito. Se utilizó un vehículo chevrolet aveo 1.6 L que fue instrumentado con un sistema de adquisición de datos on-board y un cánister con el fin obtener información segundo a segundo de las emisiones contaminantes del vehículo y el consumo total de combustible en una ruta pre-determinada de 12 km, a una velocidad promedio de 40 km/h en la periferia de la ciudad. Además se utilizó el modelo simplificado de combustión para desarrollar un balance de masa respecto a la cantidad de carbono presente en el combustible, y así obtener los factores de emisión ( $FE_i$ ) en gramos de contaminante por kilómetro recorrido. Los resultados obtenidos son: gasolina de 87 octanos CO 3.194 g/km, HC 0.060 g/km, NOx 0.142 g/km; gasolina 92 octanos CO 4.770 g/km, HC 0.099 g/km, NOx 0.281 g/km; y gasolina eco país CO 5.939 g/km, HC 0.082 g/km, NOx 0.279 g/km.

**Palabras clave:** altura; consumo de combustible; emisiones contaminantes; factor de emisión; en ruta.

### Abstract:

At present, it is very important to estimate the contribution of the vehicle park for the polluting emission inventories for the city of Quito due to its geographical feature that places it at a height above 2800 m. This study analyzes the emission factors in the route of three fuels used mainly by light vehicles in Ecuador; super gasoline with 93 octane; extra gasoline with 87 octane; and ecopais gasoline is an extra gasoline and 5% of bioethanol a base of sugar cane, currently distributed in the city of Guayaquil that is destined to distribute in the next years in the city of Quito. A 1.6-liter aveo chevrolet vehicle was used which was instrumented with an on-board data acquisition system and the canister in order to obtain information according to the pollutant emissions of the vehicle, the total fuel consumption, in a predetermined route of 12 Km, at an average speed of 40 km / h, on the outskirts of the city. In addition, the simplified combustion model was used to develop a mass balance with respect to the amount of carbon present in the fuel, thus obtaining emission factors ( $FE_i$ ) in grams of pollutant per kilometer traveled. The results obtained

are: gasoline with 87 octanes, CO 3,194 g/km, HC .060 g/km, NOx 0.142 g/km; gasoline with 92 octanes CO 4,770 g/km, HC 0.099 g/km, NOx 0.281 g/km; and gasoline ecopáis CO 5,939 g/km, HC 0.082 g/km, NOx 0.279 g/km

**Keywords:** Height; fuel consumption; pollutant emissions; emission factor; on road.

## 1. Introducción

Las emisiones de vehículos contribuyen sustancialmente a los inventarios nacionales y locales de emisiones de hidrocarburos (HC), óxidos de nitrógeno (NOx) y monóxido de carbono (CO). Tienen un impacto serio por su concentración de contaminantes atmosféricos en nuestro aire metropolitano y salud pública, al notar que uno de los principales contaminantes de la atmósfera son las fuentes móviles como son los vehículos tanto de motor de gasolina como diesel, alrededor del mundo se establecieron normas que rigen el nivel de contaminación que debe tener cada vehículo según su año de fabricación, sistema de alimentación, tipo de combustible, esto se puede relacionar a un mayor efecto de los arranques en frío, ya que las mayores concentraciones se las encuentra en las horas y meses con menores temperaturas en el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) (WHO, 2016).

En el informe de calidad del aire en Quito, dice que no se ha registrado superaciones a la Norma Ecuatoriana de la Calidad del Aire (NECA), durante el año 2015, tanto en concentraciones para períodos de 1 hora (30 mg/m<sup>3</sup>) y en 8 horas (10 mg/ m<sup>3</sup>). La concentración máxima promedio de 1 hora fue de 10 mg/ m<sup>3</sup> en febrero en la estación los Chillos, 60% mayor a la máxima alcanzada en 2014 y la máxima promedio de 8 horas fue de 3,7 mg/ m<sup>3</sup>, registrada en la estación Centro en febrero, 15% mayor a la alcanzada en el 2014. (Rocha et al., 2017; Secretaría del ambiente DMQ, 2016).

La contaminación aérea por material particulado afecta negativamente la calidad del aire y la salud de las personas (Rojano et al., 2016). De hecho, tal como lo señalan las investigaciones, esta contaminación en las ciudades está ligada directamente a las actividades antropogénicas, donde se conjugan el transporte vehicular, la actividad industrial, y el microclima característico de la urbe (Querol et al., 2001). Además, de acuerdo a los análisis de la Organización Mundial de la Salud (OMS) 2012-2013, las ciudades del Ecuador sobrepasan los niveles internacionales de contaminación (OMS, 2016; Rocha et al., 2017).

Los factores de emisión del automóvil se han basados en experimentos dinamométricos siguiendo ciclos de conducción estándar (Weiss et al., 2011). Estos experimentos permiten estudiar factores de emisión en varias condiciones experimentales: tipo de vehículo (por ejemplo, vehículos ligeros y pesados), sus características (marca, edad, kilometraje), el combustible utilizado. Esto permitió la determinación de una amplia gama de factores de emisión para contaminantes individuales y su dependencia con las condiciones de operación (Ait-Helal et al., 2015; Ropkins et al., 2009; Singer Y Harley, 1996; Park, 2011). Se analiza el mismo combustible Extra, también se analiza la gasolina Súper, equivalente al combustible Premium con 93 octanos. Existe actualmente en el país un biocombustible a base de combustible Extra y 5 % de bioetanol a base de caña de azúcar, el Ecopáis. Este combustible tiene las propiedades del combustible similares a la base del Extra salvo por la adición del bioetanol como alternativa a combustibles no fósiles.

## 2. Metodología

### Vehículo de Prueba

En la tabla 1 se describe el vehículo utilizado. Este posee sistemas de inyección electrónica multipunto. Al estimar el consumo de combustible, se aplica un tanque de presión de combustible, que consta de mangueras de ingreso y retorno que permite facilidad en esta

tarea, en combinación con los componentes del sistema de combustible del vehículo para la prueba de experimentación.

Tabla 1: Características del vehículo probado

Modelo del vehículo	Transmisión	Kilometraje	Cilindrada [L]	Potencia KW@rpm	Relación de Compresión
2011 Chevrolet Aveo	Manual	109730	1.6	76.81@6000	9.5:1

*Metodología de estimación de factores de emisión*

### **Circuito Carretera**

En esta prueba se ha seleccionado la Av. Simón Bolívar en la ciudad de Quito-Ecuador como ruta de prueba. El punto de partida fue redondel de Llano Chico sentido norte, circunvalando el redondel de Carapungo hacia el redondel de Zambiza. Finalmente se retorna al punto de inicio, recorriendo un total de 11.8 kilómetros. Se realiza un levantamiento completo de altura, distancias y tiempos; característicos de la ruta para poder mantener la velocidad promedio de 40 kilómetros por hora, el levantamiento de esta información es presentado a continuación en la *Tabla 2* (Frey Y Eichenberger, 1997)

Tabla 2: Información de la ruta recorrida para la prueba.

Punto	Altura (msnm)	Distancia(km)
1	2628	0
2	2645	1.51
3	2610	2.37
4	2706	4.2
5	2707	4.6
6	2611	6.43
7	2642	7.26
8	2627	8.82
9	2695	10.2

*Sistema de adquisición de datos de emisión portable*

El equipo Axion (OEM-2100AX) brinda características en sus concentraciones volumétricas producidas (*tabla 3*), a través de la conexión al vehículo del puerto de datos OBD2, utilizado en la prueba en ruta (manual de dispositivo).

Tabla 3: Características técnicas del equipo 2100AX (Global MRV, 2017)

TIPO	RANGO DE MEDICIÓN	PRECISIÓN	RESOLUCIÓN
Medición de O2 (Sensor)	Mayor o igual de (0.01 a 25% Vol.)	Mayor o igual a $\pm 0.1\%$ abs.	Mayor o igual a 0.01% Vol.
Medición de CO (NDIR)	Mayor o igual de (0.001 a 10% Vol.)	Mayor o igual a $\pm 0.02\%$ abs.	Mayor o igual a 0.001% Vol.
Medición de NOx (Sensor)	Mayor o igual de (0 a 4000 ppm)	Mayor o igual a $\pm 25$ ppm abs.	Mayor o igual a 1 ppm
Medición de CO2 (NDIR)	Mayor o igual de (0.01-16% Vol.)	Mayor o igual a $\pm 0.30\%$ abs.	Mayor o igual a 0.01% Vol.
Medición de HC (NDIR)	Mayor o igual de (1 a 15000 ppm)	Mayor o igual a $\pm 4$ ppm abs.	Mayor o igual a 1 ppm

#### Estimación de factores de emisión

El modelo simplificado de combustión representa la conversión de la mezcla aire-combustible en sus principales productos, visto en la ecuación 1, donde las variables a, b, c, d, e, f y m son coeficientes estequiométricos desconocidos y definidos en moles formados por mol de combustible consumido. En vista que el CO<sub>2</sub>, CO y HC, son resultados de la combustión que contienen carbono es posible desarrollar un balance de masa respecto a la cantidad de carbono presente en el combustible y en estos 3 productos de la combustión., los productos se consideran como base para el análisis de las emisiones, y las características medias de los combustibles, por tanto, del balance de masa para el carbono se puede escribir como la ecuación 1 y 2 (Frey Y Eichenberger, 1997).

$$CHy + m(0.21 O2 + 0.79 N2) \rightarrow aCO + bH2O + cC3H6 + dCO2 + eN2 + fNO \quad (1)$$

$$1 = a + 3c + d \quad (2)$$

Los contaminantes genéricos son medidos en el tubo de escape, y se analizan según las ecuación 3, donde se plantea,  $R_{CO}$  es la relación de CO respecto a CO<sub>2</sub> en porcentaje,  $R_{HC}$  es la relación de HC respecto a CO<sub>2</sub> en porcentaje, además  $R_{NOx}$  es la razón de NO respecto a CO<sub>2</sub> en porcentaje. El equipo de medición de gases entrega datos segundo a segundo sobre una base de volumen, de todos los resultados de la combustión, y aplicando las relaciones anteriores se obtiene la porción de CO<sub>2</sub>, presentada en la ecuación 6:

$$d = \frac{1}{R_{CO} + 3R_{HC} + 1} \quad (3)$$

Los contaminantes  $i = CO, HC$  y  $NOx$ ; se relaciona a  $MW_{comb}$ = peso molecular equivalente del combustible,  $MW_i$  = peso molecular equivalente de los contaminantes, la densidad del combustible  $\rho_{comb}$  en (gr/m<sup>3</sup>) y el consumo de combustible por distancia recorrida  $c.c.$  en (m<sup>3</sup>/km), para obtener los factores de emisión  $FE_i$  en gramos de contaminante por kilómetro recorrido, dado por la ecuación 4 (Frey Y Eichenberger, 1997; Ropkins et al., 2009).

$$FE_i = \frac{R_i}{R_{CO} + 3R_{HC} + 1} \times \frac{MW_i}{MW_{comb}} \times \rho_{comb} \times c.c.; [gr/km] \quad (4)$$

## Resultados y Discusión

Las propiedades físico químicas de los combustibles usados se presentan en la *Tabla 5*, para su aplicación.

Table 4: Propiedades de los combustibles

Propiedades del combustible	Norm NTE INEN: 935:2012	Gasoline 87 octanos
Números de octanos	87 min.	88.3
Distillation curve		
T <sub>10</sub> – 10% evap., °C	70 max.	50
T <sub>50</sub> – 50% evap., °C	77 – 121	99
T <sub>90</sub> – 90% evap., °C	189 max.	163
Residuo de destilación %	98 min.	98.5
Presión de vapor de Reid, KPa	60 max.	58.6
Corrosión a la lámina de cobre (3h at 50°C)	1	1
Contenido de azufre	650 max.	169
Contenido de gomas (mg/cm <sup>3</sup> )	3 max.	1

El contenido de CO<sub>2</sub> aumentó durante los primeros segundos y luego se estabilizó resto del experimento; O<sub>2</sub> siguió exactamente el comportamiento opuesto. CO, HC y NOx alcanzaron su punto máximo al comienzo de la prueba, y luego la concentración disminuyó y se estabilizó. Una vez que ambos alcanzaron la temperatura óptima, alrededor de 400 C para el convertidor catalítico, las emisiones disminuyeron y se estabilizaron (Frey et al., 2003).

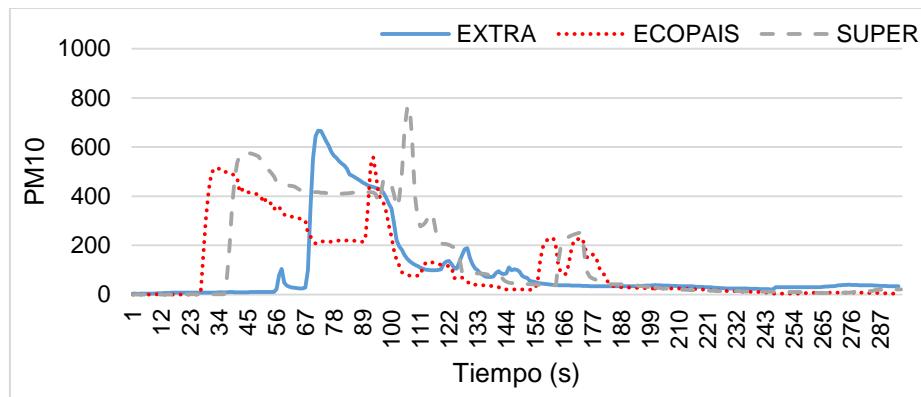


Figura 1: Ejemplo de composición química de los gases de escape del aveo durante los 300 segundo usando los tres combustibles.

### Análisis de la variabilidad en los factores de emisión

Para determinar si entre los grupos experimentales existe diferencia significativa o no en cuanto al factor de emisión, se aplica el análisis ANOVA (*tabla 5*).

Tabla 5: ANOVA aplicado a los grupos experimentales

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	211,623	8	26,459	97,66	0,0000
Intra grupos	9,75154	36	0,270876		
Total (Corr.)	221,375	44			

Como el valor P es inferior al 0.05, entonces se rechaza la hipótesis nula del test F del análisis de la varianza, o sea, aquella que plantea que entre las medias no hay variación.

Con el objetivo de determinar cuáles de las medias son significativas, es necesario aplicar pruebas de comparación múltiple de medias, para este caso se aplica la LSD (*Least Significant Difference*)

En la tabla 6, se muestra el resultado al aplicar la prueba LSD, se puede contractar que para el caso de las emisiones de HC y NOx en ruta, la gasolina Extra, Super y Ecopais no poseen diferencia significativa, en el caso de las emisiones de CO existe diferencia significativa entre las 3 gasolinas experimentadas, teniéndose los mejores resultados para la gasolina Extra, estos resultados también se reflejan en la figura 1.

Tabla 6: Pruebas de Múltiple Rangos

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
EXTRA EFHC [gHC/km]	5	0,0606	X
ECO EFHC [gHC/km]	5	0,0766	X
SUPER EFHC [gHC/km]	5	0,086	X
EXTRA EFNOx [gNOx/km]	5	0,1372	X
ECO EFNOx [gNOx/km]	5	0,2052	X
SUPER EFNOx [gNOx/km]	5	0,2638	X
EXTRA EFCO [gCO/km]	5	3,1196	X
SUPER EFCO [gCO/km]	5	4,8132	X
ECO EFCO [gCO/km]	5	5,7034	X

Nota: Método: 95,0 porcentajes LSD

### 3. Conclusiones y recomendaciones

Los tres factores con un porcentaje mínimo de emisiones son HC, O2 y NOx; en cualquier combustible analizado en la prueba, estos factores no superan el 1.5 % de las emisiones en ningún caso.

Los factores de emisión con un alto porcentaje corresponden al CO2 y CO, estando alrededor de: CO2 = 54% - 71.73% y el CO = 31.58% - 44.9%.

La gasolina Súper es el combustible que menos variación contamina tiene entre el inicio y el final de la prueba, de cierta forma garantiza un porcentaje de emisiones estable, mientras que los otros combustibles fluctúan en un alto margen entre el inicio y el final de la prueba.

## Bibliografía

1. Ait-Helal, W., Beeldens, A., Boonen, E., Borbon, A., Boréave, A., Cazaunau, M., ... & Gallus, M. (2015). On-road measurements of NMVOCs and NO<sub>x</sub>: Determination of light-duty vehicles emission factors from tunnel studies in Brussels city center. *Atmospheric Environment*, 122, 799-807.
2. Frey, H. C., & Eichenberger, D. A. (1997). Remote Sensing of Mobile Source Air Pollutant Emissions: Variability and Uncertainty in On-Road Emissions Estimates of Carbon Monoxide and Hydrocarbons for School and Transit Buses (No. FHWA/NC/97-005). Center for Transportation Engineering Studies, Department of Civil Engineering, North Carolina State University.
3. Frey, H. C., Unal, A., Roushail, N. M., & Colyar, J. D. (2003). On-road measurement of vehicle tailpipe emissions using a portable instrument. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 53(8), 992-1002.
4. Global MRV (2017) Portable Emissions Measurement System OEM- 2100AX AXION R/S+, Disponible en: <http://www.globalmrv.com/pems-axionrs-2/>
5. El comercio, EC (2016), OMS Fichas de las ciudades más contaminadas del Ecuador: Disponible en: <http://www.elcomercio.com/tendencias/ciudades-ecuador-polucion-enfermedades-contaminacion.html>
6. Weiss, M., Bonnel, P., Hummel, R., Provenza, A., & Manfredi, U. (2011). On-road emissions of light-duty vehicles in Europe. *Environmental science & technology*, 45(19), 8575-8581.
7. Park, S. S., Kozawa, K., Fruin, S., Mara, S., Hsu, Y. K., Jakober, C., ... & Herner, J. (2011). Emission factors for high-emitting vehicles based on on-road measurements of individual vehicle exhaust with a mobile measurement platform. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 61(10), 1046-1056.
8. Querol, X., Alastuey, A., Rodriguez, S., Plana, F., Mantilla, E., & Ruiz, C. R. (2001). Monitoring of PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> around primary particulate anthropogenic emission sources. *Atmospheric Environment*, 35(5), 845-858.
9. Rocha-Hoyos, J., Tipanluisa, L. E., Reina, S. W., & Ayabaca, C. R. (2017). Evaluación del Sistema de Tracción en un Vehículo Eléctrico Biplaza de Estructura Tubular. *Información tecnológica*, 28(2), 29-36.
10. Rojano, R. E., Mendoza, Y. I., Arregoces, H., & Restrepo, G. M. (2016). Dispersión de Contaminantes del Aire (PM<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, COV y HAP) emitidos desde una Estación Modular de Compresión, Tratamiento y Medición de Gas Natural. *Información tecnológica*, 27(5), 99-110.
11. Ropkins, K., Beebe, J., Li, H., Daham, B., Tate, J., Bell, M., & Andrews, G. (2009). Real-world vehicle exhaust emissions monitoring: review and critical discussion. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 39(2), 79-152.
12. Secretaría del ambiente DMQ (2016), Calidad del aire en Quito 2015, disponible en: [www.quitoambiente.gob.ec](http://www.quitoambiente.gob.ec)
13. Singer, B. C., & Harley, R. A. (1996). A fuel-based motor vehicle emission inventory. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 46(6), 581-593.
14. WHO. (2016). AMBIENT AIR POLLUTION. Disponible en: [http://www.who.int/gho/publications/world\\_health\\_statistics/2016/whs2016\\_AnnexA\\_AmbientAirPollution.pdf?ua=1&ua=1](http://www.who.int/gho/publications/world_health_statistics/2016/whs2016_AnnexA_AmbientAirPollution.pdf?ua=1&ua=1)

# ANÁLISIS DE LA CONDUCCIÓN AUTÓNOMA

## AUTONOMOUS DRIVING ANALYSIS

*Jorge Cristobal Valdivieso Infante<sup>1a\*</sup>*

Universidad Internacional del Ecuador - Guayaquil, Ecuador

<sup>a</sup>[jovaldiviesoin@uide.edu.ec](mailto:jovaldiviesoin@uide.edu.ec)

### Resumen:

Este artículo presenta el desarrollo e incursión de nuevas tecnologías aplicadas en vehículos para lograr la autonomía del mismo, con el objetivo de conseguir que el vehículo obtenga la respuesta similar a la conducción de una persona en cualquier situación o medio. La presencia de esta tecnología en las calles supone una serie de ventajas y desventajas. Pero un aspecto que también están considerando las compañías automotrices son la comodidad de ser transportados al trabajo mientras repasamos la próxima reunión, leemos un buen libro o bien desayunamos, son algunas de las actividades que desarrollarán los pasajeros cuando estén siendo transportados por estos vehículos. Los principales elementos que transforman un coche "común" en un autónomo son los radares, sensores, cámaras e incluso el control electrónico de estabilidad. Para aclarar como el sistema trabaja en general, basta pensar en el funcionamiento del cuerpo humano: el coche también posee un cerebro que comanda las acciones en el vehículo, él es llamado unidad de control electrónico (ECU, por su sigla en inglés). Los sensores hacen función de los ojos, oídos, tacto... y, por último, los procesadores, que transforman informaciones en movimientos. En una persona, serían los brazos y las piernas. Al entender cómo funcionan y trabajan, usted también entiende un poco de lo que hace posible un coche caminar sin un conductor.

**Palabras clave:** tecnología; conducción; autónomo; sensores; radares.

### Abstract:

This article presents the development and introduction of new technologies applied to vehicles to make them autonomous with the purpose of achieving equal performance as the driving of a person in any circumstance or place. The presence of this technology in the streets admits a series of advantages and disadvantages. However, an aspect that is been taken into consideration by automotive companies are comfort features like the fact of commuting to work while also reviewing material for a meeting, reading a book, or having breakfast are some of the activities that can be performed while using such vehicles. The main elements that turn a regular vehicle into an autonomous one are radars, sensors, cameras, and even the electronic stability control ESC. To clarify how the system works in general, thinking of the human body suffices. The car also has a brain that commands the actions in the vehicle, which is called electronic control unit or ECU. The sensors resemble the function of other senses like sight, hearing and touch. Finally, the processors which convert information into movement; following the metaphor of a person those will be the limbs. By understanding how these elements function and work, one can also understand a little about what makes possible for a car to run without a driver.

**Keywords:** technology; driving; autonomous; sensors; radars.

## 1. Introducción

Las tecnologías de conducción autónoma se han vuelto un tema de interés, debido a la promesa de un modo más seguro y conveniente de transporte. Según datos de la organización mundial de la salud (OMS), a nivel mundial: cerca de 1,3 millones de personas mueren en accidentes de tráfico cada año, haciendo un promedio de 3287 muertes por día]. (Organización Mundial de la Salud, 2017). Sin contar con los lesionados o discapacitados. De estos accidentes, se considera que un 94% son atribuidos a los errores del conductor, y las distracciones internas o externas, error de decisión como un error de cálculo de la velocidad, las condiciones climáticas, la velocidad de la curva de entrada o la falsa presunción de otras maniobras de los conductores. Los vehículos autónomos pueden reducir el número de accidentes.

Además, las personas mayores y las personas con discapacidad también pueden beneficiarse de él. Estas son algunas de las razones para evolucionar hacia la conducción autónoma. Siempre habrá argumentos en contra, entre ellos se puede contar el hecho de dejar de disfrutar de la conducción o los temores que estos sistemas puedan fallar. Y si bien, existe el riesgo de que un ser humano sufra un colapso mientras conduce y provoque un accidente grave. Probablemente será más frecuente el fallo humano que el fallo de la máquina, por la sencilla razón de que podemos añadir capas y capas de sistemas de seguridad, sistemas redundantes, protocolos de emergencias. Mientras que a las personas no las podemos tener “bajo control” tan fácilmente.

## 2. Metodología

La metodología para la presente investigación es documental, mediante la recopilación, selección y análisis de datos sobre la conducción autónoma. Un vehículo autónomo es un automóvil apto para imitar las capacidades humanas de manejo y control, percibiendo el medio que lo rodea y desplazándose en consecuencia. Es decir, un coche en el que el conductor (que ya no es tal) solo tiene que introducir la dirección de destino y despreocuparse de todo lo demás. Es un complejo conjunto de tecnologías que incluyen el reconocimiento de movimiento por cámaras y los sistemas de detección láser. Se ha introducido funciones autónomas en los vehículos facilitando así al conductor de ciertas acciones al volante.

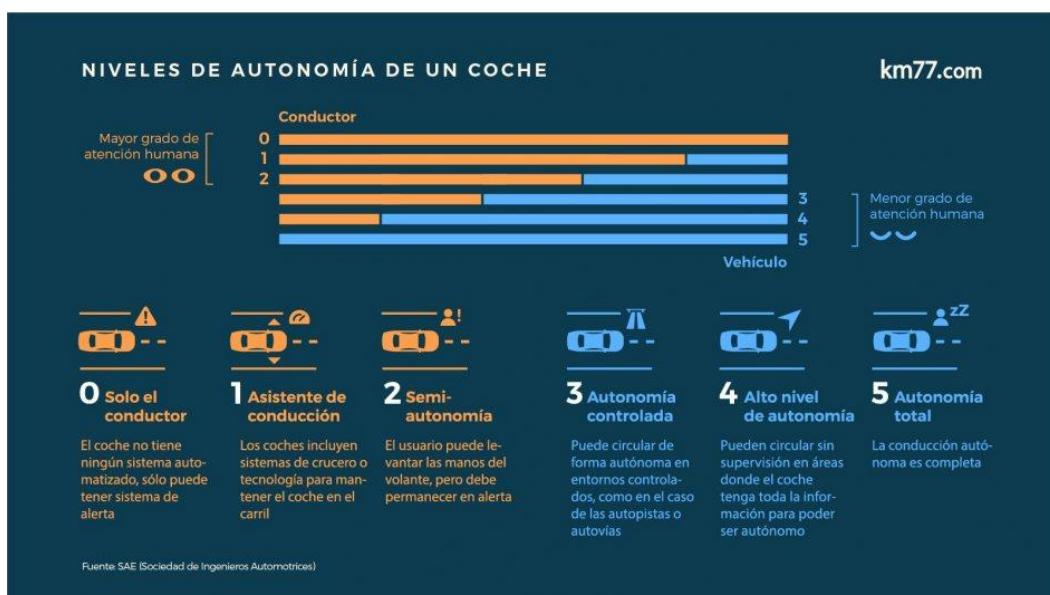


Figura 1. Niveles de autonomía de un coche

Fuente: <https://sites.google.com/site/fgtce0407tgi/caracteristicas-de-los-coches-autonomos/-como-funcionan-los-carros-autonomos>

La SAE (sociedad de Ingenieros Automotrices) es el organismo de normalización del automóvil, decidió dividir en 6 niveles la capacidad de conducción autónoma de un vehículo, desde los sistemas más básicos hasta la conducción 100% autónoma. Y como se ve en la figura 1 estos niveles se puede medir el avance de la tecnología de los coches autónomos.

**Nivel 0:** el coche no tiene ningún sistema automatizado que le permita tomar el control, sólo puede tener sistemas que emitan alguna advertencia.

**Nivel 1:** en este nivel los coches incluyen sistemas como el control de crucero o la tecnología para mantener el coche en el carril.

**Nivel 2:** aquí el vehículo puede denominarse semiautónomo. El conductor debe permanecer en alerta por si en algún momento tiene que tomar el control del coche ya que éste puede no responder adecuadamente y es obligatorio que el sistema se desactive cuando el conductor tome el control. Un ejemplo de coche semiautónomo es el Mercedes-Benz Clase E. Está a la venta desde marzo de 2016 y destaca por el denominado Drive Pilot que es capaz de evitar la salida de la calzada sin la necesidad de que existan líneas de carril. Nunca un coche fabricado en serie fue capaz de guiarse por una carretera sin la ayuda de las líneas de carril hasta que salió este Mercedes-Benz.

**Nivel 3:** los vehículos pueden circular de forma autónoma en entornos controlados como autopistas. En este nivel podría encontrarse el sistema Autopilot de Tesla en el Model S. Es un sistema que está desactivado por defecto en el coche y que debe ser conectado voluntariamente por el conductor. Realiza constantes comprobaciones para asegurarse de que el conductor permanece atento y con las manos en el volante avisando mediante alertas sonoras y luminosas si no detecta las manos en él. En este vídeo se puede ver cómo funciona el sistema Autopilot en un Model S.

**Nivel 4:** los coches autónomos pueden circular sin supervisión del conductor en áreas acotadas donde el coche tenga suficiente información para no depender del conductor. Algunas empresas muy potentes ya han comenzado a hacer sus primeras pruebas serias para ver cuál es el funcionamiento real de los coches autónomos. Google es un ejemplo de conducción autónoma; desde mayo de 2012 tiene licencia para probar coches autónomos en algunos estados de Estados Unidos.

**Nivel 5:** la conducción autónoma en este nivel es completa. Puede circular por cualquier carretera o ciudad siempre y cuando sea legal la conducción autónoma. Gracias a la tecnología, el coche podrá reaccionar ante cualquier imprevisto. Y no sólo los fabricantes de automoción están interesados en crear coches autónomos, otras empresas tecnológicas también indagan en el tema.

Las empresas tecnológicas y del automóvil están realizando grandes esfuerzos para desarrollar todas las tecnologías necesarias para que los vehículos autónomos puedan ser realidad. Fundamentalmente estos vehículos logran su autonomía gracias a un potente ordenador, que hace las veces de cerebro, y a diferentes sensores, que funcionan como si fueran los sentidos del automóvil. El ordenador procesa a cada instante toda la información que le llega a través de los sensores, los cuales se encargan de captar la información del entorno necesaria para poder circular por la carretera con total seguridad.

Cada fabricante decidirá los sensores que se utilizarán. Existiendo varias posibilidades que ya han demostrado su eficacia. Tenemos los llamativos LIDAR (Laser Imaging Detection and Ranging) es como los ojos y los oídos para un ser humano. Tiene capacidad de generar millones de haces, ofrece una visión de 360 grados y un alcance de aproximadamente la longitud de dos campos de fútbol alrededor del coche. Basados en láser, este sensor —uno de los más conocidos y comentados— detecta formas y genera un mapa 3D del entorno del vehículo en tiempo real.

También nos podemos encontrar con las cámaras de video, todos los vehículos autónomos cuentan con un conjunto de cámaras distribuidas alrededor de la carrocería que generan una imagen en tres dimensiones de las inmediaciones del vehículo. Este tipo de cámaras captan información muy diversa: obstáculos, líneas de la carretera, señales de tráfico, etc. Apoyan y complementan, por lo tanto, al resto de sensores del vehículo.

Los radares son otros de los sensores que incorporarán los coches autónomos y que contribuirán a informar al ordenador sobre las distancias que existen entre el vehículo y otros elementos de la carretera. Para mejorar la tarea de los radares, se adicionan sensores de ultrasonidos, cuyo alcance es menor, pero son ideales para ahorrarnos disgustos en el estacionamiento.

Estos sensores se ven complementados por otro tipo de sensores más tradicionales como los sistemas GPS y GLONASS (Sistema de Navegación Global por Satélite), que permiten conocer la ubicación exacta del vehículo para dirigirlo hacia el destino indicado por el usuario. En el futuro, cuando todos los vehículos estén conectados y comparten su ubicación en tiempo real, el papel del GPS y el GLONASS en la conducción autónoma aumentará. Aunque para ello, las redes 5G y sus bajas latencias en la transferencia de datos también será imprescindible.

### 3. Resultados y Discusión

Los vehículos autónomos han llegado para crear una gran revolución en el mundo de la tecnología y ofrecer numerosos beneficios, y de esta manera satisfacer las necesidades del ser humano. Pero como toda tecnología tiene pros y sus contras, las vamos a analizar. Existen personas que opinan que por nada del mundo se montarían en un vehículo que circulase sin conductor. Por este motivo, ahora hablaremos de las ventajas que presentan los vehículos sin conductor.

- Mejora de la seguridad vial, ya que la mayor parte de los accidentes son producidos por el factor humano (cansancio o estrés), factores que no surgen con los vehículos autónomos debido a la información con la que contarán estos vehículos, permitiéndoles tomar las mejores decisiones en décimas de segundos, evitando accidentes y choques, logrando una valiosa mejora de la seguridad vial en las carreteras. Disminuyendo las muertes por accidente de tránsito debido a fallas humanas.
- Disminución de la contaminación, ya que los vehículos harán sus trayectos por las mejores rutas, evitando zonas con tráfico más congestionado, consiguiendo tener un flujo más regular de tráfico por toda la red vial. Reduciendo el tráfico en carreteras.
- Desarrollo de la eficiencia energética, debido a que la conducción automática permitirá que el vehículo circule a una velocidad óptima en cada momento, evitando aceleraciones y frenazos, lo que conllevará una importante reducción de combustible. Igualmente, La aparición de vehículos autónomos potenciará el fenómeno de alquiler de vehículos (car-sharing), y de la optimización de recursos.
- Estos vehículos también mejorarán la movilidad de los niños, los ancianos y las personas con discapacidad. Las personas mayores serán los más beneficiados por esta tecnología. Podrán mantener la movilidad a cualquier edad. Podrán visitar a los nietos, conseguir sus medicinas e ir de compras.

Los padres ya no tendrán que apresurarse para ir a recoger a sus hijos al colegio. Los niños se subirán al coche y este los llevará a la clase de piano, o al entrenamiento. Tendrán acceso a una movilización como cualquier persona.

- La aparición de vehículos autónomos hará que las personas puedan emplear el tiempo que hasta ahora utilizaban en conducir, en realizar tareas más productivas, lo que sin duda supone una importante ventaja.

- El surgimiento de nuevas empresas y sectores automotrices enfocados en la creación de este tipo de vehículos.

Aunque los coches autónomos estén dotados de mucha tecnología, ello no impide que también presenten problemas. Primero, para que los coches puedan circular libremente, tendrá que producirse algunos cambios legales que regulen la circulación de este tipo de vehículos. Las aseguradoras tendrán que hacer cambios, para definir cuál será el papel de los implicados en un posible accidente.

Si un coche autónomo colisiona con otro, o atropella a un peatón, por ejemplo ¿quién es responsable y quién debe pagar por ello: ¿el conductor, el fabricante del automóvil, la empresa que ha desarrollado el sistema informático o la red que lo controla? Los vehículos estarán equipados con cajas negras capaces de reconstruir cualquier accidente, pero aún no están definidas las cuestiones de la responsabilidad civil.

El éxito o fracaso de los vehículos autónomos es la seguridad. Y reconocemos el riesgo que tiene este vehículo de ataques de virus, hackeado e incluso trackeado, desde el momento que para su funcionamiento es necesaria la conexión a internet y satélites.

Los riesgos del hackeo en los sistemas informáticos de los vehículos autónomos es una deficiencia de seguridad. Pudiendo manipular los hackers, elementos tan vitales como el motor, la dirección y los frenos, además de otros elementos secundarios como el aire acondicionado, los limpiaparabrisas, el volumen del audio y, en definitiva, todos los sistemas controlados electrónicamente.

Un hacker podría fácilmente trackear el coche que quisiera. Quizás te estarás preguntando qué es eso de trackear un coche... pues bien, esto es ni más ni menos que poder realizar un seguimiento de los movimientos del vehículo, al igual que hacen las cookies que se instalan en nuestro PC o smartphone para detectar si ya hemos estado en una web y en función de ello mostrarnos determinado contenido, por poner solo un ejemplo.

La buena noticia es que la información que se intercambian los vehículos autónomos está encriptada, por lo que no es posible identificar a un vehículo con una determinada información, a no ser que el ataque se dirija específicamente a él.

#### **4. Conclusiones y Recomendaciones**

Después de haber analizado la tecnología de los vehículos autónomos llegamos a las siguientes conclusiones:

1. Que esta tecnología aún no está lista para utilizarse en todas partes del mundo. Queda mucho por hacer para llegar al nivel 5, aunque nadie duda que se llegará. Son tecnologías muy complejas, caras, vulnerables y necesitarán un nivel alto de mantenimiento, que habrá que preguntarse si la introducción es viable y rentable, aunque técnicamente sea posible.
2. Traerá importantes ventajas asociadas, como mejora de la seguridad vial, disminución de la contaminación, mejora de la eficiencia energética y movilidad de los grupos disminuidos.
3. Varios son los frentes que abre la llegada al mercado de un coche que no necesita a una persona para conducirse. Entre ellos el desempleo de los taxistas, uber, etc., personas que venden pólizas de seguros que sustentan la economía de sus hogares.

### **Recomendaciones:**

1. Como tecnología será un reto para los seres humanos, ya que deberán adaptarse a nuevos cambios que sugiere la implementación de este tipo de avances tecnológicos.
2. Cuanta más autonomía, más dificultad en la imputación de responsabilidad de los implicados, es necesario actualizar el marco jurídico.

### **Bibliografía**

Blog de e-park. (08 de Mayo de 2017). *Los coches autónomos, un futuro muy cercano.* Obtenido de <https://www.e-park.es/ca/blog/los-coches-autonomos>

Coches Autónomos. (18 de diciembre de 2016). *El futuro del automóvil.* Obtenido de <http://www.cochesinconductor.com/>

coches autonomos. (18 de diciembre de 2016). *el fututo del automovil.* Obtenido de coches sin conductor autonomo: <http://www.cocheessinconductor.com/>

El Siglo. (07 de mayo de 2017). *Intel se une a la carrera de los vehículos autónomos.* Obtenido de <http://elsiglo.com.ve/2017/05/07/intel-une-carrera-vehiculos-autonomos/>

La Nación. (15 de Mayo de 2017). *Google y Lyft se unen para desarrollar vehículos autónomos 15.05.2017.* Obtenido de <http://www.lanacion.com.ar/2024011-google-y-lyft-se-unen-para-desarrollar-vehiculos-autonomos>

López, J. J. (22 de Febrero de 2017). *La conectividad 5G permitirá a los vehículos autónomos estar siempre "conectados".* Obtenido de <http://revistacar.es/la-conectividad-5g-esta-la-vuelta-la-esquina-la-llegada-los-coches-autonomos/>

Organización Mundial de la Salud. (Mayo de 2017). *Organización Mundial de la Salud (OMS).* Obtenido de Organización Panamericana de la Salud (OPS): <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs358/es/>

# TEMA: DISEÑO MECÁNICO Y AUTO PARTES

---

## DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE EXTRUSORA PARA PLÁSTICOS

### ***DESIGN AND CONSTRUCTION OF A PROTOTYPE EXTRUDER FOR PLASTICS***

***David Ayavaca Tumbaco<sup>1a\*</sup>, Arlys Michel Lastre Aleaga<sup>1b</sup>, Remberto Rodriguez Crespo<sup>1c</sup>, Nilo Ortega Soliz<sup>1d</sup>***

<sup>1</sup> Universidad Tecnológica Equinoccial, Sede Santo Domingo

<sup>a\*</sup>[davicitoyayavaca@gmail.com](mailto:davicitoyayavaca@gmail.com), <sup>b</sup>[barlys.lastre@ute.edu.ec](mailto:barlys.lastre@ute.edu.ec), <sup>c</sup>[rembe-62@hotmail.com](mailto:rembe-62@hotmail.com)  
<sup>d</sup>[nortega@ute.edu.ec](mailto:nortega@ute.edu.ec)

#### **Resumen:**

El proyecto técnico tiene como objetivo diseñar componentes de maquinaria que puedan ser implementados en un prototipo de extrusor para plásticos. Dentro del análisis teórico se tomarán en cuenta los aspectos térmicos como la temperatura a la que está expuesto el material plástico constituido principalmente de polímeros como el polietileno (PET) o el poli cloruro de vinilo (PVC), estos materiales forman una red molecular sólida a temperatura ambiente y consecuentemente dilatándose a elevada temperatura; este proceso de calentamiento, toma de forma y enfriamiento puede repetirse, proporcionándoles la característica de ser reciclados. Los esfuerzos mecánicos que se producen en la maqueta y los componentes eléctricos que pueden influir en la construcción, funcionamiento y posterior mantenimiento del equipo se analizarán teniendo en cuenta los distintos factores de seguridad industrial.

**Palabras clave:** Diseño extrusora; plásticos post consumidor; husillo giratorio.

#### **Abstract:**

The technical project aims to design machinery components that can be implemented in a prototype extruder for plastics. Within the theoretical analysis, thermal aspects such as the temperature at which plastic material consisting mainly of polymers such as polyethylene (PET) or polyvinyl chloride (PVC) are exposed are taken into account, these materials form a solid molecular network room temperature and consequently dilating at high temperature; this process of heating, shaping and cooling can be repeated, providing them the characteristic of being recycled. The mechanical stresses that occur in the model and the electrical components that can influence the construction, operation and subsequent maintenance of the equipment will be analyzed taking into account the different industrial safety factors.

**Keywords:** Extruder design; post consumer plastics; rotating spindle.

#### **1. Introducción**

El prototipo de extrusor para plásticos, se fundamenta en el análisis del comportamiento de un prototipo a menor escala. El diseñador en primer lugar debe adquirir un conocimiento científico claro y preciso del material de estudio, para realizar la implementación del equipo, además debe cumplir con todos los requerimientos necesarios, como determinar las variables del proceso y la selección de los métodos de construcción.

En el presente trabajo se plantea la posibilidad de implementar un prototipo de extrusora para materiales plásticos, basada en las técnicas actuales que se emplean en la industria del reciclaje para plásticos. Se propone crear una herramienta en la UTE que permita estudiar las propiedades de los materiales plásticos empleando el método de extrusión directa, además de promover la capacidad creativa de los estudiantes de ingeniería mediante del desarrollo de maquinaria que les permitirían emular el control de procesos industriales como la producción de elementos plásticos, manipulando directamente las variables del proceso de transformación.

Existe una gran variedad de plásticos y para clasificarlos se emplea el sistema de codificación internacional mostrado en la Tabla1. Se aplica a todo producto elaborado con plástico este elemento debe llevar una insignia que consiste en un triángulo en cuyo interior tiene marcado un número que representa el código del polímero.

Tabla 1: clasificación internacional plásticos.

#	Nombre.	#	Nombre.
1	Polietileno Tereftalato	5	Polipropileno
2	Polietileno de alta densidad	6	Poliestireno
3	Poli cloruró de vinilo	7	Otros
4	Polietileno de baja densidad		

La recopilación de propiedades térmicas y mecánicas que se realiza a continuación no es exhaustiva, pero pretende dar cobertura a los principales factores relacionados con el diseño.

Askeland (1998). La temperatura de transición vítreo  $T_v$ , determina la frontera de temperatura que permite el cambio de estado sólido a fluido en los polímeros termoplásticos, en consecuencia, ocurre un cambio de volumen en el sólido debido al incremento de temperatura. La temperatura de fusión  $T_f$ , es mayor a la temperatura de transición vítreo, aquí ocurre la disgregación total de cristal polimérico. Los termoplásticos por lo general tienen un rango de temperaturas en las que se puede dar la fusión. La resistencia a la tracción y el módulo de elasticidad cambian notoriamente y decrecen notablemente. La temperatura de degradación  $T_d$ , representa el límite de temperatura que pueden soportar los polímeros termoplásticos antes de degradarse irreversiblemente provocando una ruptura de los enlaces covalentes primarios y la carbonización de las moléculas.

## 2. Metodología

Se utilizará la metodología analítica experimental, modelo que se basa en la experimentación y la lógica empírica, que, junto a la observación de fenómenos y su análisis, es el más usado en el diseño de prototipos.

La temperatura de exposición a la que es sometido el material termoplástico constituye la variable independiente del sistema, ya que esta afecta directamente la estructura del elemento de prueba, se sabe que superando la temperatura de transición vítreo el plástico cambia de estado sólido a fluido. En respuesta al incremento de temperatura ocurre una dilatación, cambia el volumen en el sólido y disminuye el módulo elástico.

## 2.1. Energía calentamiento.

Holman (1986), Cengel. Y. (2004), se aplica la ley de Fourier para determinar la cantidad de calor que se necesita teóricamente para incrementar la temperatura de un material hasta alcanzar la temperatura de transición vítreo, se tiene:

$$qc = -kA \frac{\partial T}{\partial x} \quad (1)$$

## 2.2. Energía mecánica.

La potencia térmica de origen mecánico es un factor significativo en los cambios térmicos en el material. Estos son generados por un gradiente de velocidad, conocido como velocidad de deformación, dentro de un volumen del material, aplica una velocidad de deformación media a un volumen del modo:

$$qm: \mu \gamma Q \quad (2)$$

## 2.3 Balance energético total.

El propósito de este enfoque es determinar el consumo de energía en el proceso. Los valores de potencia a considerar en un extrusor son: la energía mecánica y la energía térmica. La ecuación del balance conteniendo estos valores de potencia se escribe en Watts, como:

$$qt = qc + qm \quad (3)$$

## 2.4 Presión máxima

La presión máxima que puede llegar a experimentar el prototipo se relaciona con la viscosidad de la materia trasladada hasta la punta del troquel, en donde es sometida a compresión por el giro del husillo, la presión máxima se puede calcular de la siguiente manera:

$$P_{max} = 6 \frac{\pi D L n \mu}{h^2 \tan \theta} \quad (4)$$

## 2.5 Momento flector en el husillo

El torque aplicado al usillo está determinado por la potencia del motor generalmente los motores eléctricos tienen estándares que establecen la potencia y la fuerza que dicho elemento puede proporcionar al sistema tomando en cuenta lo analizado en la sección anterior sobre energía mecánica del extrusor; se requieren 0.83HP para accionar el sistema, pero este valor no es estándar así que se debe seleccionar un valor de potencia estandarizado, en este caso se implementara un motor de 2HP a 1700rpm. Savgorodny (1989), Emplea la siguiente relación:

$$Mg = k \left( \frac{N}{n} \right) \quad (5)$$

También llamado momento flector y que representa la cantidad de trabajo que se ejerce sobre el material fundido.

Calero (1999), emplea la siguiente relación para establecer el diámetro mínimo de diseño para el eje del husillo:

$$d = \sqrt[3]{\frac{Meq}{0.1(Sadm)}} \quad (6)$$

## **2.6 Factor de seguridad del prototipo**

Shigley (2008), el método determinístico establece un factor de diseño basado en las incertidumbres absolutas de un parámetro de pérdida de función y un parámetro máximo permisible. En ciertos casos el parámetro puede ser la carga, el esfuerzo, la deflexión, etc.

$$n = \frac{s}{\tau} \quad (7)$$

Dónde:

S=resistencia a la cedencia Acero (AISI 1018)

## **2.7. Diseño del prototipo**

### **2.7.1 Cilindro del extrusor**

Para una sección de un cilindro de acero A53 de 1 1/2 pulgadas de diámetro, medidas base para el diseño, el cilindro consta de una tobera de entrada de material sólido granulado, de 1 pulgada de diámetro interior, la contraparte es la sección de salida del material fundido (zona de descarga). El cilindro debe soportar los esfuerzos inducidos debido al torque del motor, para el diseño seleccionamos un perfil con buenas propiedades a la tracción-compresión.

### **2.7.2 Diseño del husillo**

El diseño del husillo empieza con el diámetro del eje aproximadamente de 40mm y su longitud 220mm, estas son las características esenciales, después se puede relacionar estos valores para obtener el paso o el número de dientes. Su puede tomar en cuenta para el diseño el material a transformar, la velocidad de giro del eje y particularidades geométricas del canal helicoidal, el perfil de vértices del diente y del cabezal, en este caso se diseñará un husillo de un solo canal. Examinando el cálculo del grado de inclinación de la hélice se puede decir que aplica en husillos de diámetro constante siempre cumpliéndose que  $t = D$ .

### **2.7.3. Diseño del troquel**

El troquel elemento que se ubica al final del cilindro térmico conduce el material hasta la tobera de salida, aquí el material llega fundido y es donde se inserta el primer sensor de temperatura, el sensor tipo se alojara en la recamara cónica del troquel, el diámetro que se toma como referencia es el diámetro exterior del cilindro 47mm, este se ajusta por medio de compresión. El diámetro de salida es de 10mm, por donde sale el material extruido. El tipo de acero seleccionado para el troquel soporta eficazmente los esfuerzos que se provocaran en servicio, además la presión interna es admisible a lo largo de toda la sección.

## **2.8. Presentación del prototipo.**

La importancia de resolver el planteamiento del problema técnico tendrá efecto una vez construido el prototipo. El extrusor es una máquina que tiene la capacidad de fundir plástico a medida que lo traslada desde la tolva de entrada de material sólido hasta el molde, donde llega fundido y compactado. Se divide en las siguientes secciones:

- a) El sistema mecánico de movimiento y reducción de velocidad.
- b) El sistema térmico y de traslado.
- c) El sistema de tablero eléctrico y panel de control.

- d) Base para anclaje de los equipos.

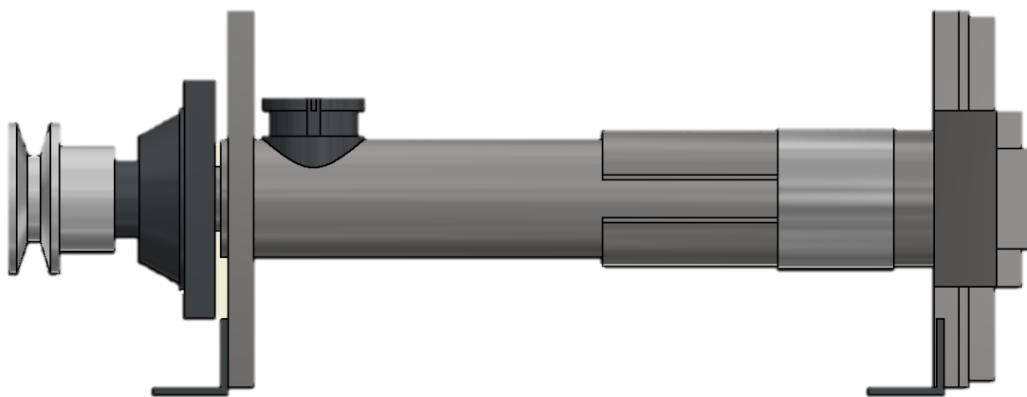


Figura 1. Extrusora para plástico reciclado. Vista frontal

Fuente. "Diseño y construcción de una extrusora para plásticos" (2017)

### 3. Resultados y Discusión

- El prototipo desarrollado permite representar un sistema industrial de procesamiento y extrusión de material plástico post consumidor, lo que demostró que es viable construir un prototipo a escala para estudio de materiales plásticos y sus aplicaciones.
- La investigación y el análisis de diseño está basada en medios limitados y determinados solamente la temperatura en un modo localizado, en el troquel del extrusor y el molde. Se miden específicamente la temperatura del material en la salida del troquel y la temperatura de la probeta en el molde.
- Los resultados alcanzados demuestran que la temperatura es un factor importante para el funcionamiento del prototipo. El diseño térmico implementado por dos cintas térmicas en conexión paralelo, generan la cantidad de calor necesario para poder influir en el material un cambio de estado y facilitar el proceso de extrusión de plástico reciclado cuya temperatura vítreo se encuentre entre los 140 °C hasta los 260°C, temperatura que es suficiente para generar una dilatación en el material sólido.
- En el campo relacionado a la implementación del prototipo, se estudiaron opciones como; determinar la energía necesaria para hacer girar el husillo y como seleccionar la potencia del motor. La aplicación de técnicas CAD/CAE en el diseño y simulación del comportamiento de los componentes mecánicos, además del sistema de control eléctrico, complementaron el desarrollo del prototipo y fueron puestas a prueba en las prácticas de funcionamiento, demostrando que el prototipo es capaz de procesar el material plástico y generar una probeta para posteriores análisis de tensión o dureza.

### 4. Conclusiones y Recomendaciones

- Se realizó el diseño y construcción del prototipo de extrusora para plásticos de acuerdo a los criterios establecidos en las normas técnicas, asegurando el funcionamiento de todos los componentes.
- El análisis determina un factor de seguridad satisfactorio, lo que indica que el diseño del prototipo de extrusor para plásticos es confiable. La resistencia mecánica a los distintos

esfuerzos aplicados es tolerable por el cilindro y el husillo de tal forma que no provocará una ruptura o deformación excesiva.

- El prototipo diseñado en este trabajo minimiza las dimensiones y su tamaño final, ya que se pretende implementar como una máquina para laboratorio, es así que la cantidad de material plástico extruido es considerablemente pequeña, lo que representaría a una probeta por unidad de producción.
- El sistema de control térmico es implementado con sensores de buena precisión como lo son: el pirómetro y las termocuplas tipo K, que permiten el registro de temperaturas, además dos cintas térmicas con filamento de Nicrón proporcionando 600w de energía térmica. Se dispuso acoplar un motor eléctrico con un sistema reductor de velocidad con bandas, que hace girar el husillo a 110rpm, proporcionando 1.5Kw de potencia mecánica. Como resultado la maquina puede aportar al sistema 2.1Kw de potencia neta, necesaria para extruir el material plástico.
- Se recomienda en el futuro la posibilidad de incrementar la cantidad de instrumentación, si se cuenta con los recursos económicos suficientes para su adquisición, se puede agregar una serie de termopares a largo del cilindro y en el molde, además el sistema es ampliable, es posible cambiar el producto final de la extrusión ya que eso depende del molde, la figura base del proyecto contempla la producción de probetas ISO A1 de plástico.
- Normalmente el husillo se construye a partir de una sección de eje de acero de transmisión AISI 1018, con el que se hace el maquinado de los filetes en un torno, esto puede cambiar ya que depende del tipo de material a extruir, para aplicaciones especiales se emplean aceros inoxidables, además de aleaciones metálicas con buenas propiedades ante la deformación.

## Bibliografía

1. Askeland, D.R. (1998). *Ciencia e ingeniería de los materiales*. Cuarta edición.
2. Bedfotd, F. (2000) *Estática mecánica para ingeniería*.
3. Calero Pérez y Carta Gonzales, (1999). *Fundamentos de Mecanismos y Máquinas para Ingenieros*. Madrid: McGrawHill.
4. Cengel, Y. (2004) *Transferencia de Calor*.
5. Holman, J.P. (1986) *Transferencia de Calor*.
7. INEN. (2014). Norma Técnica Ecuatoriana 470:2008. Tubos de acero al carbono Serie A53.
8. Extraído de [www.normalizacion.gob.ec](http://www.normalizacion.gob.ec)
9. Norton, L.R. (2004) *Diseño de maquinaria. Síntesis y Análisis de Máquinas y Mecanismos*.
10. Savgorodny, V.K. (1989), *Transformación de plásticos*, Editorial Gustavo Gili.
11. Servicio ecuatoriano de normalización. (2014), *Tubería plástica*

# **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE FRENO REGENERATIVO Y TRANSMISIÓN ELÉCTRICA EN UNA MOTOCICLETA CONVENCIONAL**

## ***DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A REGENERATIVE BRAKE SYSTEM AND ELECTRICAL TRANSMISSION ON A CONVENTIONAL MOTORCYCLE***

***Celin Padilla Padilla<sup>1a\*</sup>, Javier Villagrán Cáceres<sup>1b</sup>, Edison Chiriboga Cárdenas<sup>1c</sup>, Carlos Velasco Moyano<sup>1d</sup>***

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba – Ecuador  
Ecuador

<sup>a</sup>cypadilla@epoch.edu.ec, <sup>b</sup>wvillagran@epoch.edu.ec, <sup>c</sup>eddychiriboga0707@hotmail.com  
<sup>d</sup>calo2468@outlook.com

### **Resumen:**

Esta investigación tiene como propósito ayudar a reducir la contaminación ambiental y auditiva para lo cual se diseñó e implementó un sistema de transmisión eléctrica y frenado regenerativo. Se utiliza el diseño tecnológico ya que describe los procedimientos y fundamentos científicos de la transformación de energía, disminución de los niveles de contaminación y el aumento de la autonomía del vehículo. El método aplicado se basa en las siguientes etapas: análisis, diseño, implementación, pruebas y presentación de resultados, para desarrollar un dispositivo que realiza la transformación energética, comparando los parámetros físicos antes y después de la implementación en una motocicleta convencional. Se utilizó un motor eléctrico Brushless, el cual es alimentado por baterías selladas recargables, cuyo flujo es monitoreado mediante un sistema electrónico, para controlar la velocidad del motor, se utilizó un acelerador de manilla, e implementó un sistema de frenado regenerativo mediante un mecanismo que, incorporado a una bobina, recupera la energía cinética en eléctrica, la cual es enviada a las baterías para su posterior utilización. Luego de realizadas las pruebas se determinó que la disminución de ruido es total, al momento de una aceleración, el motor entregó su máximo par y eficiencia, la utilización de energía eléctrica de la red doméstica y del frenado regenerativo contribuye en la utilización de energía pura y consecuentemente la reducción de la contaminación ambiental. Se pudo comprobar que el vehículo tiene una autonomía de 60 Km y una reducción considerable en los costos por la utilización de combustible fósiles en un 23%.

**Palabras clave:** Transmisión eléctrica; Freno regenerativo; Motor eléctrico de cubo; Autonomía; Combustible fósil.

### **Abstract:**

This research aims to help reduce environmental and auditory contamination for which a system of electric transmission and regenerative braking was designed and implemented. Technological design is used because it describes the scientific procedures and fundamentals of energy transformation, lower levels of pollution and increased autonomy of the vehicle. The method applied is based on the following steps: analysis, design, implementation, testing and presentation of results, to develop a device that performs the energy transformation, comparing the physical parameters before and after implementation on a conventional motorcycle. Brushless electric motor was used, which is powered by rechargeable sealed batteries, whose flow is monitored by an electronic system, to control the engine speed, a

hand throttle was used, and implemented a regenerative braking system using a mechanism that, incorporated into a coil, recovers the kinetic energy in electric, which is sent to the batteries for later use. After the tests were carried out, it was determined that the noise reduction is total, at the moment of an acceleration, the engine delivered its maximum torque and efficiency, the use of electric power of the home network and regenerative braking contributes in the use of pure energy and consequently the reduction of environmental pollution. It was verified that the vehicle has an autonomy of 60 km and a considerable reduction in the costs for the use of fossil fuels by 23%.

**Keywords:** Electric transmission; Regenerative brake; Electric bucket motor; Autonomy; Fossil fuel.

## 1. Introducción

En la actualidad, una motocicleta eléctrica se la considera como un vehículo al cual se ha incorpora un motor eléctrico para su movilidad, así ayuda a reducir la contaminación del ambiente y cuya autonomía puede alcanzar los 70 km (**HYE, 2013**).

Para el año 2040, el consumo de petróleo descenderá al ritmo de casi 4 000 000 de barriles al día, situándose en los niveles de la década de los 60, esta proyección es el resultado del incremento de vehículos que utilizan diferentes tipos de energías alternativas (**Opinno, 2015**).

Los grandes desarrollos urbanos a nivel mundial han generado problemáticas en la parte ambiental habiendo la necesidad de reducir considerablemente el factor de emisiones que se generan en un motor de combustión interna (**Sanchez, 2013**).

Debido a la excesiva contaminación, se ha visto la necesidad de incentivar la utilización de nuevas energías alternativas no contaminantes que ayuden a reducir los índices de gases tóxicos que pueden ser acumulados y generar graves daños a la salud de los habitantes de un sector urbano (**Taipe & Trujillo, 2014**).

Las motocicletas eléctricas son una de las soluciones como medio de transporte en las ciudades del país ya que, al utilizar energía eléctrica renovable, preserva el medio ambiente sin destruirlo ni contaminarlo (**Torres, 2015**).

Los combustibles alternativos están siendo utilizados en mayor porcentaje, respecto a los combustibles fósiles para dar movilidad a los sistemas de transporte, teniendo un consumo de energías limpias y renovables, contribuyendo con el cambio de la nueva matriz energética del país y siendo más amigables con el ambiente. (**Vizhnay & Muñoz, 2013**)

Se desarrolla una transmisión eléctrica de la motocicleta, basado en el acople del motor-generador hacia la rueda para su tracción, y el freno regenerativo como método de recarga de baterías durante la desaceleración, asegurando que durante su funcionamiento los componentes no alteren la maniobrabilidad, estabilidad, ni estética de la motocicleta (**Pashley, 2008**).

Por lo que, en este trabajo se pretende diseñar e implementar un sistema de frenado regenerativo y transmisión eléctrica en una motocicleta convencional.

## 2. Metodología

Se utiliza el diseño tecnológico ya que describe los procedimientos y fundamentos científicos de la transformación de energía, disminución de los niveles de contaminación y el aumento de la autonomía del vehículo. Se aplica el método deductivo, experimental y cuantitativo, el cual, mediante los criterios físicos, aplicados para el diseño de la

transformación energética, comparando los parámetros antes y después de la implementación a una motocicleta convencional.

Se realiza un diagrama de bloques de los sistemas de transmisión eléctrica y frenada regenerativa, que es el resultado del análisis de los requerimientos principales del sistema para controlar el flujo de energía hacia el motor.

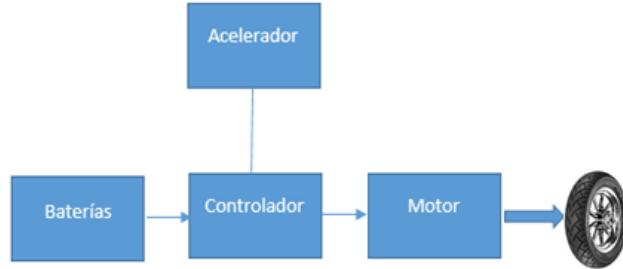


Figura 2: Transmisión eléctrica con acelerador activado.

Transmisión eléctrica con acelerador desactivado, el controlador interrumpe el flujo de energía hacia el motor.

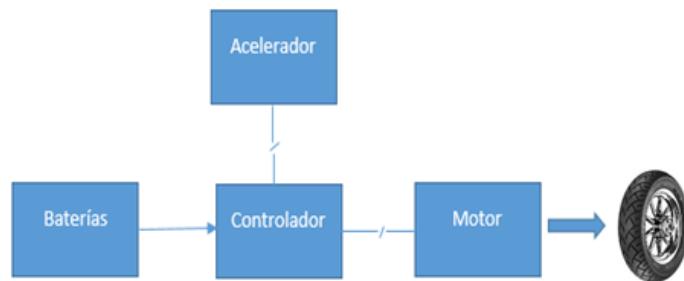


Figura 3: Transmisión eléctrica con acelerador desactivado.

Frenada regenerativa con switch de activación en ON, la energía cinética de la rueda el motor funciona como generador, transformando la energía mecánica en eléctrica, almacenándola en las baterías.

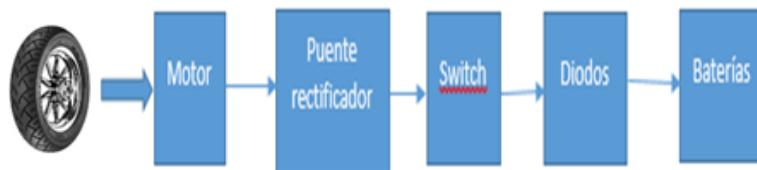


Figura 4: Frenada regenerativa con switch de activación en ON.

Frenada regenerativa con switch de activación en OFF, la energía generada en el generador, no es almacenada en las baterías.



Figura 5: Frenada regenerativa con switch de activación en OFF.

### **Condiciones de diseño del prototipo**

Para calcular la potencia requerida para peso máximo se toma en cuenta la masa de la motocicleta de 90,71 kg, a una velocidad de 35 km/h, aceleración de 0 a 100 km/h en 17 segundos.

$$a = v/t \quad (1)$$

$$f = m * a \quad (2)$$

$$P = f * v \quad (3)$$

$$I = P/V \quad (4)$$

De los cálculos realizados necesarios para satisfacer el diseño se presenta en la siguiente tabla:

**Tabla 1: Resultados para el diseño y selección del motor**

Descripción	Resultado
<b>Aceleración</b>	0,54 m/s <sup>2</sup>
<b>Fuerza</b>	48, 98 N
<b>Potencia Mecánica</b>	476, 09 W
<b>Intensidad de corriente</b>	10,42 A.

Con los resultados obtenidos en los cálculos, se procede mediante al método investigativo a realizar un diseño del sistema de regeneración de energía en el software de aplicación Proteus, el cual permite diseñar y simular el sistema electrónico para ser implementado en la recuperación de energía generada por la inducción de la bobina del motor eléctrico (**Barrón, 1970**).

Para la selección de los componentes se buscó en catálogos y revista digitales como General Electric, Siemens, entre otras, para adquirir los componentes como Baterías de Ioni-litio selladas recargables de 12V de 9000 mAh, un motor de cubo de 500W, acelerador de manilla, un panel de instrumentos, un controlador electrónico de flujo de carga, un cargador, un regulador de voltaje de 48V y componentes eléctricos.

Para el diseño del circuito eléctrico de la motocicleta en el software de aplicación Proteus se debe tener en cuenta el principio de funcionamiento y las conexiones de todo el sistema eléctrico y electrónico de la motocicleta, presentado en diagramas de bloques y representando cada uno de los componentes.

En la instalación y adaptación de la transmisión eléctrica se procede a la adaptación de los componentes al chasis de la motocicleta.

Para el diseño y simulación del sistema de frenado regenerativo en el software de aplicación Proteus, se inicia desde un diagrama de flujo (**Gonzalez, 2012**).

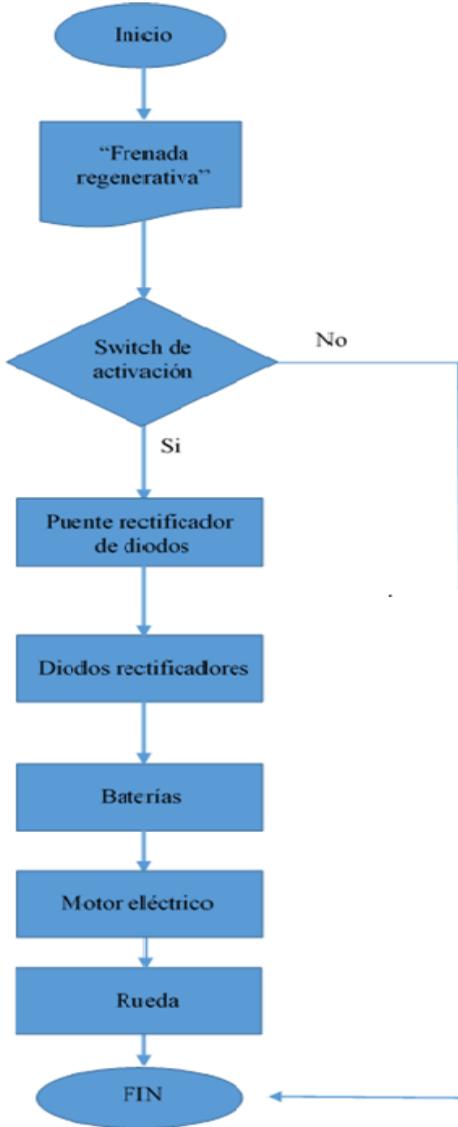


Figura 6: Diagrama de flujo del sistema de freno regenerativo.

### 3. Resultados y Discusión

La primera prueba que se realizó en ruta, con la batería totalmente cargada, con y sin activación del freno regenerativo, se presenta los resultados en la tabla 1.

Tabla 2: Resultados de autonomía de la moto eléctrica.

Prueba	Condición de la moto	Resultado de autonomía
Sin utilizar el freno regenerativo	Una persona – a 40 km/h	20 Km
Sin utilizar el freno regenerativo	Dos personas – a 40 km/h	17 Km
Utilizando el freno regenerativo	Una persona – a 40 km/h	22 Km
Utilizando el freno regenerativo	Dos personas – a 40 km/h	18,5 Km

Después de haber realizado las pruebas necesarias se determinó en la primera prueba la autonomía de la motocicleta es adecuada para movilizarse dentro de la ciudad sin tener que gastar en combustibles y lo más importante sin contaminar el ambiente de ninguna manera a una velocidad adecuada. En la segunda prueba la autonomía reduce 3 Km por el aumento de peso el cual hace que el motor/generador se esfuerce más y por este aumento de

esfuerzo aumenta el consumo de energía de las baterías reduciendo su autonomía. En la tercera prueba que se realizó la autonomía de la motocicleta solo con el conductor activando el freno regenerativo aumento de 20 Km a 22 Km lo cual permite dar a entender que el sistema de frenado regenerativo implementado funciona de manera correcta aumentan su autonomía. En la cuarta y última prueba realizada con 2 pasajeros activado el freno regenerativo nos dio una autonomía de 18,5 Km a una velocidad de 40 Km/h con este resultado y comparando con la segunda prueba verificamos que el sistema de frenada regenerativa funciona correctamente tanto con un pasajero y con 2 pasajeros aumentando la autonomía de la motocicleta.

Mediante los resultados del diseño del sistema de transmisión eléctrica y frenada regenerativa obtenidos en el software de aplicación Proteus, se optimiza el sistema, justificando la validación y posterior implementación, de esta manera se garantiza la correcta transmisión eléctrica y recuperación de energía en el sistema de frenada regenerativa. Se obtuvo resultados favorables generando un aumento de autonomía en la motocicleta de 2 Km tanto con un pasajero y con dos pasajeros pudiendo verificar que el sistema de transmisión y la de recarga funciona correctamente con un pasajero y con dos pasajeros, resultados similares que se obtuvo en la investigación de Guevara (2014).

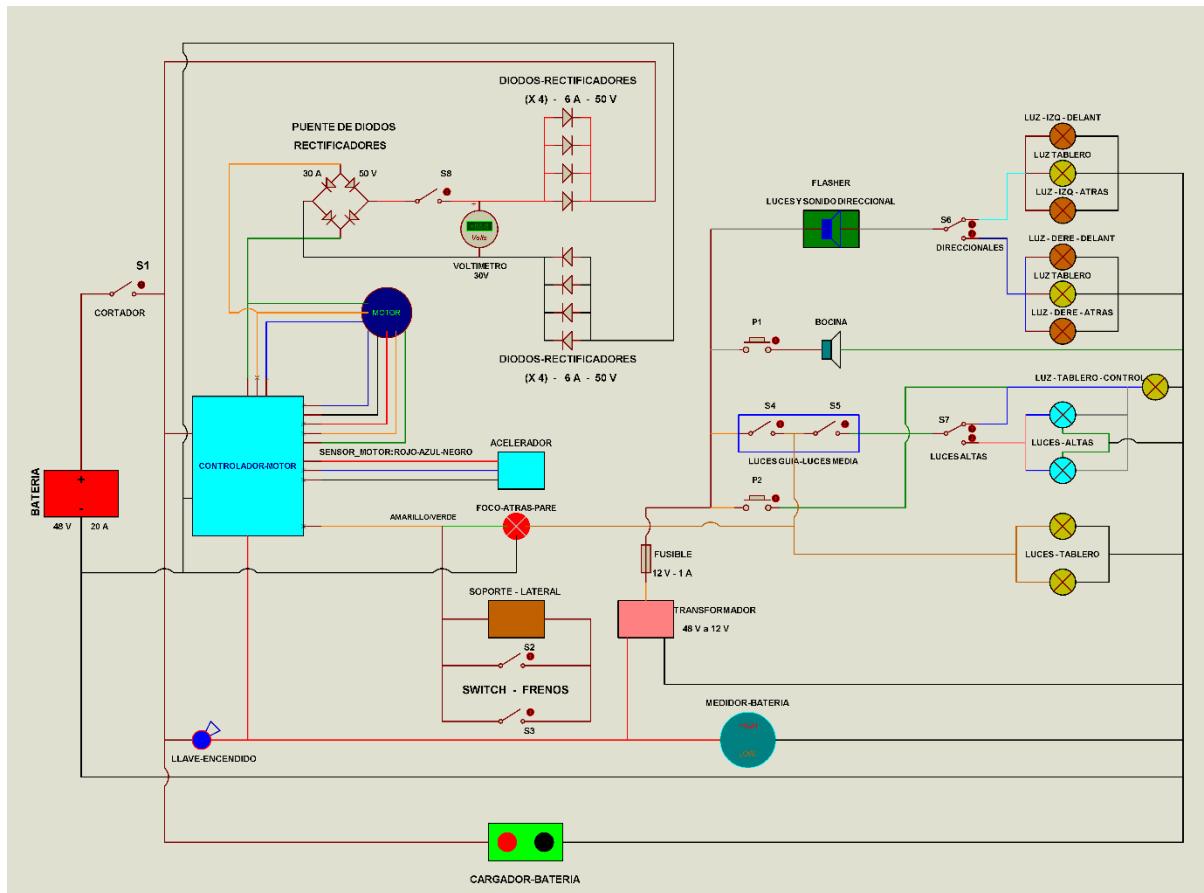


Figura 7: Diagrama de simulación del sistema

En la figura 7 se indica la carga de la batería en función del tiempo conectada a la red pública de 110v.



Figura 8: Porcentaje de carga de la batería de la motocicleta a 110V.

La carga del conjunto de cuatro baterías mediante la red eléctrica doméstica nacional de 110V a 60Hz se lo realiza aproximadamente en cuatro horas con un cargador de 3A y 48V.

La descarga del sistema está determinada en función del recorrido en kilómetros, tomando datos de una conducción normal por la ciudad que incluyen paradas, reducción de velocidad, etc.

Para la descarga de la batería en función del recorrido se puede ver en la figura 8.

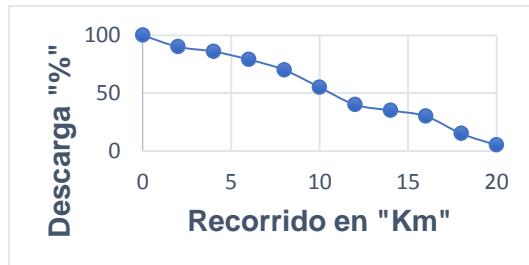


Figura 9: Descarga de la batería en función del recorrido.

#### 4. Conclusiones y Recomendaciones

Se Selección los componentes para la transmisión eléctrica, basado en los parámetros de peso, potencia y velocidad previamente analizados, se ha diseñado y simulado en el software Proteus el sistema de freno regenerativo, el cual recarga las baterías de una manera óptima usando un circuito rectificador, aprovechando la inducción de la bobina que incorpora el motor.

Se implementó el sistema de transmisión eléctrica y freno regenerativo mediante análisis y pruebas basados en el circuito eléctrico diseñado para la motocicleta, previamente modelado y simulado, se instalaron los componentes al chasis conservando la estética y dinámica del vehículo.

Se realizó diferentes pruebas en el sistema de recarga, en la que se verifica la cantidad de energía recuperada, siendo este valor máximo de 31 V, lo suficiente para poder cargar las baterías y así mejorar la autonomía de la motocicleta en un 10%.

Se efectuó una comparación del uso de electricidad frente a gasolina en dos motocicletas con similares características, teniendo un ahorro energético y económico de un 23 % en el prototipo de motocicleta eléctrica respecto al de gasolina, realizando una comparación con las motocicletas eléctricas comerciales que pueden alcanzar hasta un 80% de consumo energético y económico, se puede apreciar la eficiencia del prototipo, el cual puede ser optimizado en futuras investigaciones (**Borja Martínez & Navas Gallegos, 2013**).

## Bibliografía

1. Barrón, M. (1970). Uso didáctico del software de ayuda al diseño electrónico "PROTEUS".
2. Borja Martínez, L., & Navas Gallegos, R. (2013). Eficiencia y transformación energética: modificación de una motocicleta de combustión interna a energía eléctrica. (*Bachelor's thesis, Universidad San Francisco de quito*). Quito.
3. Gonzalez, G. (2012). Estudio técnico del freno regenerativo para V.E. *Organización Autolibre*, 3-10.
4. Guevara, R. (2014). Freno regenerativo en automoviles para uso hibrido. (*Bachelor's thesis, Universidad Nacional Autónima de México*). Mexico.
5. HYE. (3 de Abril de 2013). *Híbridos y Eléctricos*. Recuperado el 6 de Junio de 2016, de <http://www.hibridosyelectricos.com/articulo/tecnologia/la-bicicleta-electrica/20130403132157005368.html>
6. Opinno. (2015). *MIT Technology Review*. Obtenido de <https://www.technologyreview.es/s/5438/2015-el-principio-del-fin-de-los-combustibles-fosiles>
7. Pashley, T. (2008). *How to Build Motorcycle-engined Racing Cars*. Veloce Publishing Ltd.
8. Sanchez, T. (15 de enero de 2013). *Electrónica Dispositivos y Aplicaciones multiplicadores*. Quito: Escuela Politecnica Nacional. Obtenido de ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/5510/1/Electr%C3%B3nica%20-Dispositivos%20y%20Aplicaciones.pdf>
9. Taipe, O., & Trujillo, J. (2014). -Diseño e implementación del tren motriz con motor eléctrico y transmisión CVT, en una motocicleta eléctrica plegable, para ayudar a reducir la contaminación vehicular en la ciudad de Latacunga. *Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE*.
10. Torres, D. (2015). Estudio de viabilidad en la implementación de vehículos eléctricos en la ciudad de Cuenca. *Bachelor's thesis - Universidad Politécnica Salesiana*.
11. Vizhnay, J., & Muñoz, J. (2013). La matriz energética ecuatoriana. *Universidad Nacional de Loja*.

# **PROPUESTA DE UN MATERIAL ALTERNATIVO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA BARRA ESTABILIZADORA DELANTERA DE LA SUSPENSIÓN. CASO ESTUDIO AVEO FAMILY 1.5 L.**

## **PROPOSAL FOR THE CONSTRUCTION OF AN ALTERNATIVE MATERIAL FOR THE FRONT STABILIZER BAR IN THE SUSPENSION. CASE STUDY AVEO FAMILY 1.5 L.**

**Julio Leguísamo Milla<sup>1a\*</sup>, José Cabrera<sup>2b</sup>, Edilberto Llanes<sup>1c</sup>, Juan Rocha<sup>1d</sup>, Santiago Celi<sup>1e</sup>**

<sup>1</sup>Universidad Internacional SEK, Facultad de Arquitectura e Ingenierías, Carrera Ingeniería Mecánica Automotriz, Ecuador.

<sup>2</sup>Escuela Politécnica del Chimborazo, Ecuador

<sup>a\*</sup>[julio.leguisamo@uisek.edu.ec](mailto:julio.leguisamo@uisek.edu.ec), <sup>b</sup>[jose.cabrera@epoch.edu.ec](mailto:jose.cabrera@epoch.edu.ec), <sup>c</sup>[llanesecuador@gmail.com](mailto:llanesecuador@gmail.com)  
[dcarlos.rocha@uisek.edu.ec](mailto:dcarlos.rocha@uisek.edu.ec), <sup>e</sup>[Santiago.celi@uisek.edu.ec](mailto:Santiago.celi@uisek.edu.ec)

### **Resumen:**

Las normativas ecuatorianas actuales exigen cada vez más la incorporación de autopartes nacionales. La presente investigación tuvo como objetivo principal, validar un material alternativo disponible en el mercado nacional para la construcción de la barra estabilizadora del chevrolet aveo family 1.5 l. se realizaron pruebas de dureza, microscopía óptica y espectrometría para caracterizar el material; siguiendo procedimientos astm para garantizar repetibilidad en los resultados por medio del software nx se obtuvo el modelo cad, el mismo se simuló en el software ansys, tanto de manera estática como a fatiga bajo la acción de las cargas que tiene la barra en su funcionamiento regular, de esta simulación se obtuvieron los factores de seguridad para validar los resultados se realizó el estudio estático y a fatiga analíticamente, mismo que se aproximan en un 90%, se propone dos materiales alternativos el aisi 4140 con un factor de seguridad estático de 2,403 y un factor de seguridad a fatiga de 0,944, por otra parte, el acero aisi 4340 tiene un factor de seguridad estático de 2,17 y un factor de seguridad a fatiga de 1,23, comparado con la línea base aisi 5160 que presenta el factor de seguridad estático de 3,001 y un factor de seguridad a fatiga de 1,07, ya que este material es el original, el acero 4340 puede cumplir con la exigencia requerida por la barra estabilizadora para el mercado ecuatoriano.

**Palabras clave:** barra estabilizadora, caracterización de materiales, estudio estático y a fatiga, simulación software ANSYS

### **Abstract.**

Ecuadorian regulations nowadays consistently demand for the incorporation of local auto parts. The recent research had as principal objective to validate an alternative material that is available in the local industry for the construction of an stabilizer bar for the Chevrolet aveo family 1.5 l. Different strength and durability tests were made, optical microscopic and spectrometry were conducted to categorize the material, following astm procedures to verified consistent results; by using the nx software and obtaining the cad model, which was simulated in the ansys software. Making static and exhaustion tests under the action of the different charges that the bar sustains during its regular performance. From these different tests and simulations some security factors were obtained and to validate these results analytic static and exhaustion tests were conducted, the same that reached a 90%.2 alternative materials are

being proposed, the aisi 4140 with an static security factor of 2,403 and with an exhsauton security factor of 0,944, on the other hand, aisi 4340 steal with an static security factor 2,17 and with an exhsauton security factor of 1,23, in contrast with the base line aisi 5160 that represents an static security factor of 3,001 and with an exhsauton security factor of 1,07, considering that is the original material.

In conclusion is important to establish that the steel 4340 can fulfills any required demand for the stabilizer bar in the Ecuadorian industry.

**Keywords:** stabilizer bar, categorizing materials, static and exhaustion study, ANSYS software simulation

## 1. Introducción

La normativa ecuatoriana exige cada vez más la incorporación de autopartes nacionales, es así que se han emitido acuerdos como el 12010 del Ministerio de Industrias y Productividad en el que se hace conocer la metodología que se tiene para calcular el MOE (Material Originario Ecuatoriano) con el ánimo de poder cuantificar el porcentaje de autopartes de fabricación nacional, e ir incrementando gradualmente año a año los mismos. También se tiene la Resolución N° 65 del COMEX (Comité de Comercio Exterior) en la que existe un menor arancel de impuestos a pagar, si es mayor el porcentaje de producto ecuatoriano incorporado en la fabricación o importación de vehículos.

Teniendo como premisa la necesidad que tiene el país de producir autopartes se desarrolla la presente investigación, que tiene como objetivo principal validar un material alternativo en la fabricación de la barra estabilizadora de la suspensión delantera de un aveo family sedan 1.5 L. Tomando como referencia el estudio del comportamiento del sistema de suspensión y la barra estabilizadora como una de las partes componentes, es así que se tiene la investigación sobre el análisis mediante el método de elementos finitos de la barra estabilizadora de un camión que además de introducir en el funcionamiento de los sistemas de suspensión, realiza un estudio del comportamiento bajo carga de la barra estabilizadora con el programa de elementos finitos ANSYS, para ver cómo trabaja la barra estabilizadora y donde se producen los mayores esfuerzos para compararlo después con los resultados obtenidos teóricamente (Montes de la Torre, 2013).

## 2. Metodología

Para los estudios de esfuerzos de torsión, se realiza tanto el análisis estático como el dinámico. Para el cálculo de la tensión máxima de torsión se utiliza la ecuación:

$$T_{max} = \frac{T \cdot r}{J} \quad (1)$$

Dónde: T es el par de torsión, r es el radio de torsión y J momento polar de inercia.

Para el análisis estático se emplea la teoría de la energía de distorsión y el esfuerzo de Von Mises el cual se determina mediante ecuación:

$$\sigma' = (\sigma_x^2 - \sigma_x \sigma_y + \sigma_y^2 + 3\tau_{xy}^2)^{1/2} \quad (2)$$

**Donde**  $\sigma'$  es el esfuerzo Von Mises,  $\sigma_x$  es el esfuerzo normal en el eje x,  $\sigma_y$  es el esfuerzo normal en el eje y,  $\tau_{xy}$  tensión de corte en el plano xy.

Conocido el esfuerzo de Von Mises se puede determinar el factor de seguridad mediante la siguiente ecuación:

$$\sigma' = \frac{s_y}{n} \quad (3)$$

**Dónde:**  $S_y$  es el límite de fluencia del material,  $n$  factor de seguridad  $\sigma'$  esfuerzo de Von Mises

Para el análisis a fatiga se considera que el elemento está sometido a esfuerzos dinámicos repetidos que varían dentro de un máximo cuando el vehículo toma una curva; y un esfuerzo cero cuando el vehículo está en trayectoria recta. La teoría de Goodman Modificada es la más utilizada por ser la teoría que ofrece mayor seguridad tal como se lo puede evidenciar en la figura 1.

La ecuación que rige la teoría de Goodman Modificado es la siguiente:

$$\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}} = \frac{1}{n} \quad (4)$$

Donde:  $\sigma_a$  la componente de la amplitud,  $\sigma_m$  componente del esfuerzo medio,  $S_e$  límite de fatiga,  $S_{ut}$  límite de tracción y  $n$  factor de seguridad.

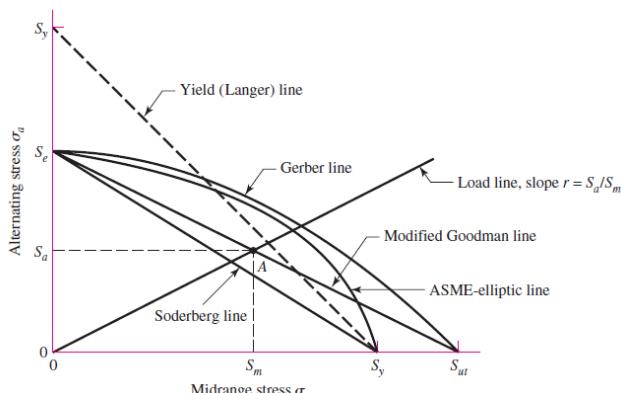


Figura 1: Seguridad de teorías dinámicas. Recuperado de: (Budynas, 2012)

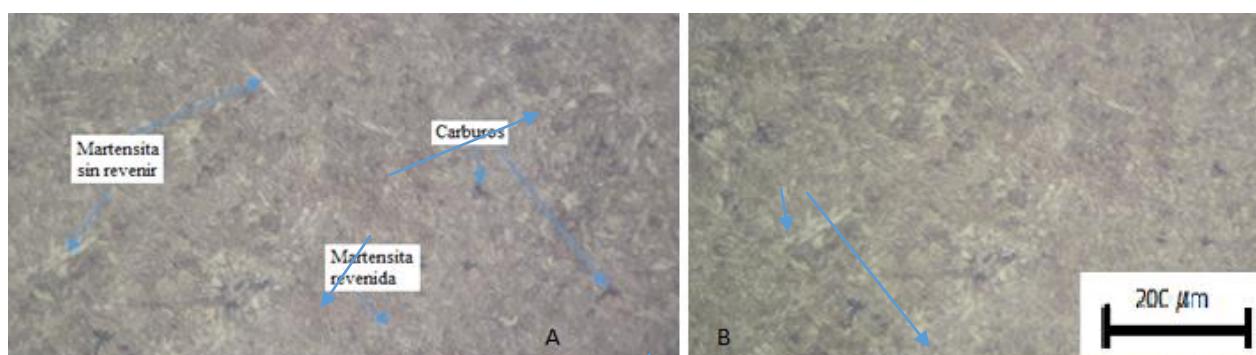
### Caracterización de la barra estabilizadora

El análisis metalográfico sigue el procedimiento establecido en la norma ASTM E3-2017 (*Preparation for Metallographic Specimens*), en la medición de dureza se sigue el procedimiento establecido en la norma ASTM E18-16 (*Standard Test Methods for Rockwell Hardness of Metallic Material*) y en la espectrometría se utilizará el procedimiento descrito en la norma ASTM E 415-15 (*Standard Test Method for Optical Emission Vacuum Spectrometric Analysis of Carbon and Low-Alloy Steel*). La simulación de estática y fatiga de la barra estabilizadora se la realizó en ANSYS, las soluciones que se obtienen son soluciones aproximadas. Se parte del modelo CAD para después aplicar materiales, apoyos, cargas, mallados con el objetivo de mediante un proceso iterativo conocer resultados aproximados de un problema dado.

### 3. Resultados y Discusión

#### Caracterización de la barra estabilizadora

Luego de aplicar el procedimiento metalográfico, se observaron las muestras bajo el microscopio y se tomaron fotografías de la microestructura, que se indica en las figuras 2a y 2b, donde se puede determinar que el acero ha sido templado y revenido. También se observa la presencia de partículas de carburo de cromo (partículas oscuras) precipitadas en una matriz de ferrita, las zonas mayoritarias de color café corresponden a martensita revenida y las zonas más claras en pequeña cantidad es la martensita retenida que no llegó a transformarse. Probablemente, el acero fue templado y luego revenido por encima de 425 °C (800°F) con la finalidad de aumentar significativamente la tenacidad a expensas de una disminución en la resistencia mecánica y la dureza. Este tratamiento se efectúa cuando los requerimientos son principalmente de alta tenacidad (elasticidad) y en menor grado de resistencia mecánica y dureza.



**Figura 2: Microestructura de la barra estabilizadora parte recta a 500x atacada con nital 2 (a) y Microestructura de la barra estabilizadora parte curva a 500x, atacada con nital 2 (b).**

Los resultados del análisis de dureza se tienen como promedio total de dureza la barra estabilizadora 39,44 HRC; de esta dureza se puede deducir que el acero tuvo un tratamiento térmico.

En el ensayo espectrométrico los tres disparos se realizaron sobre las muestras, los resultados de la composición se indican en la tabla 1, los resultados obtenidos son comparados con diferentes composiciones de aceros, concluyendo que el acero es el AISI 5160. El tratamiento aplicado para darle las características adecuadas consiste en un austenizado a 850 °C seguido de temple en aceite y revenido 425°C con el fin de mejorar la tenacidad y la elasticidad

**Tabla 1: Comparación de la composición del acero de la barra estabilizadora y el acero 5160**

Composición	C (%)	Si (%)	Mn (%)	Cr (%)	P (%)	S (%)
Acero barra estabilizadora	0,672	0,194	0,709	0,787	< 0,0030	< 0,0030
Acero 5160	0,56-0,61	0,15 -0,35	0,75-1,00	0,70-0,80	0,035 máx.	0,040 máx.

En base a las características de material original de la barra estabilizadora se puede establecer que los aceros AISI 4337 y AISI 4340 cumplen las características del material original que es un acero de especial resistencia a la tracción y torsión, además posee buena

resistencia al desgaste e impacto, además mantiene sus características hasta temperaturas de 500 °C sin perder su bonificación.

De la ficha técnica, se determina que el chevrolet aveo family 1.5 L, tiene una capacidad de carga de 415 kg, más el peso bruto vehicular 1455 kg, da un total de 1870 Kg. Asumiendo que por ser un vehículo liviano se desplaza a velocidades promedio de 100 km/h, el peralte máximo en una curva es de 8,0 % (4,57 °) y un radio mínimo de curvatura de 500 m. Jover (2017), recomiendan un coeficiente de fricción de 0,7 para calzada seca y de 0,4 para calzada mojada.

### **Resultados de la Simulación de la Barra Estabilizadora y materiales alternativos propuestos**

La investigación desarrollada por Chavéz y Martínez (2013), sobre el estudio del acero utilizado en una barra estabilizadora automotriz, en la cual se estudia las propiedades mecánicas de un acero que es utilizado como parte automotriz, para lo cual se realiza pruebas de dureza, microscopía óptica para poder determinar el tipo de acero del cual está hecha la barra estabilizadora.

El tamaño de malla se realiza mediante una curva de convergencia factor de seguridad vs tamaño de malla el cual se estabiliza cuando la malla tiene un valor de 0,001 utilizando el material original de la barra. En la figura 3 se puede observar el análisis estático y de fatiga de la barra estabilizadora con el material AISI 4340 en la simulación.

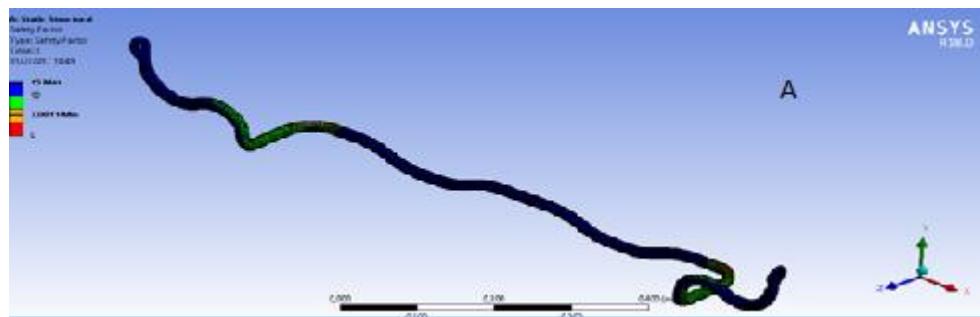


Figura 3: Simulación material AISI 4340 en la simulación.

#### **Análisis estático.**

Para realizar el análisis de una barra redonda en torsión, los esfuerzos son proporcionales al radio  $\rho$  (Budynas, 2012), donde se considera el par de torsión, el segundo momento polar del área, el radio de superficie exterior, se toma en cuenta que la barra estabilizadora corresponde a una sección sólida y aplicando la teoría de energía de distorsión se obtiene los datos indicados en la tabla 2 y se puede determinar que los tres materiales cumplen los requerimientos de carga.

**Tabla 2: Prueba mecánica de los aceros investigados**

Parámetros	AISI 5160	AISI 4340	AISI 4140
$S_{ut}$	835 MPa	620 MPa	685 MPa
$\sigma$	285,00 MPa	285,00 MPa	285,00 MPa
Factor de seguridad	2,9	2,17	2,403

## Análisis de fatiga

La barra estabilizadora está sometida a esfuerzos que se repiten en cada curva, por lo tanto, justifica el cálculo de fatiga. Para el análisis dinámico se tiene (Budynas, 2012), para un  $S_{UT} \leq 1400$  MPa, se determina el factor de superficie  $k_a$  de la tabla correspondiente para maquinado se tiene  $a = 4,51$  y  $b = -0,265$ , el factor de tamaño  $k_b$  para un rango de  $2,79 \leq d \leq 51$  mm, el factor de carga  $k_c$  (Budynas, 2012) para torsión es  $K_c = 0,59$ , el factor de temperatura  $k_d$  es a temperatura ambiente, porque el tiempo que actúa la fuerza centrípeta no es suficiente para que produzca su calentamiento, por lo que  $K_d = 1$ , el factor de confiabilidad  $K_e$  (Budynas, 2012) si la barra tiene una confiabilidad del 90 %, el factor de confiabilidad  $K_e = 0,897$ . Por lo tanto, reemplazando todos estos factores, se tiene que el límite de resistencia a la fatiga  $S_e$  de los tres materiales se indica en la tabla 3. Mediante la ecuación de Goodman modificada (Budynas, 2012) se determinan los esfuerzos máximos y mínimos, en este caso son esfuerzos repetidos, que aparecen solamente cuando el vehículo toma una curva y se deduce que  $\sigma_a = \sigma_m$  y que  $\sigma_{min} = 0$ .

Tabla 3: Límite de resistencia a la fatiga  $S_e$  de los tres materiales experimentados

	AISI 5160	AISI 4340	AISI 4140
$S_e$	192,573 MPa	620MPa	441,3 MPa
N	1,157	1,230	0,944

De este proceso de cálculo se determina que la barra estabilizadora con el acero AISI 4340 sería ligeramente más segura que la construida por el acero AISI 5160.

## 4. Conclusiones y Recomendaciones

Se encontró un material alternativo para la fabricación de la barra estabilizadora del Chevrolet Aveo Family con la ayuda de la prueba de dureza, microscopia, espectrometría y simulación llegando a determinar que el acero 4340 puede cumplir con las exigencias requeridas por la barra estabilizadora, además de su disponibilidad en el mercado ecuatoriano.

Utilizando procedimientos normalizados, se le aplicó el procedimiento metalográfico, la medición de dureza y la determinación de su composición química en un espectrómetro óptico, aproximándose su composición a un acero AISI 5160. Por su microestructura presencia de martensita revenida y dureza 39,66 HRC, se determinó que estaba templado y revenido.

Se ha modelado la barra estabilizadora en el software ANSYS, del cual, se ha podido encontrar los factores de seguridad tanto en el estudio estático como a fatiga, mismos que se aproximan bastante a los calculados manualmente en un 90 %.

### Recomendaciones:

En una próxima investigación se podría variar el diámetro de la barra para encontrar un diámetro óptimo, que permita garantizar estabilidad y seguridad, con la ayuda de esta investigación.

## Bibliografía

1. ASTM Committe. (2015). ASTM E18. *Standard Test Methods for Rockwell Hardness of Metallic Materials*.USA.
2. ASTM Committee. (2001). ASTM E3. *Standard Practice for Preparation of Metallographic Specimens*. USA: 3 th Edition.
3. ASTM Committee. (2015). ASTM E415. *Standard Test Method for Analysis of Carbon and Low - Alloy Steel by Spark Atomic Emission Spectrometry*. USA: 3 th Edition.
4. Budynas, R. G. (2012). Diseño en ingeniería mecánica de Shigley. México D.F., México: Mc Graw Hill.
5. Chávez Santibáñez, A., & Martínez Mira , S. (2013). Estudio del acero mediante el método de elementos finitos de la barra estabilizadora.
6. FierrosClasicos.com. (2015). *Que es la barra estabilizadora y como funciona*.
7. García, E. (2011). Temples y medios de enfriamiento. Bucaramanga, Colombia: Universida Industrial de Santander.
8. Industriales, L. d. (2015). Metalografía. Argentina: Universidad Tegnológica Nacional.
9. Ingeniería, F. d. (2015). Preparación de probetas y observación al microscopio. Buenos Aires, Argentina: Universidad de Buenos Aires.
10. Inversiones, D. d. (2013). Analisis del sector automotriz.
11. Jover, R. T. (2017). La estabilidad del vehículo en las curvas. España: Universidad de Alicante.
12. Marcial, A. (2012). Análisis mediante elementos finitos del sistema de suspensión de un automóvil liviano. Quito, Ecuador: Escuela Politécnica Nacional.
13. Metals, A. S. (2004). *Metallography and Microstructures*. Estados Unidos.
14. Montes de la Torre, R. (2013). Análisis mediante el método de elementos finitos de la barra estabilizadora de un camión.
15. Ornelas, F. G. (Junio de 2013). Análisis de Aceros por Microscopia Óptica. Mexico, Mexico: Instituto Politécnico Nacional.
16. Paula Pérez Fernández, M. J. (2013). Definición y mejora del proceso productivo de una barra estabilizadora YA-24. Pamplona, España: Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y de Telecomunicación.
17. Phys, A. J. (1999). Role of the centrifugal force in vehicle roll. United States of America: American Journal of Physics.
18. Valencia, U. P. (2017). Curso de Fundamento de Ciencia de Materiales. Valencia , España.
19. Web2feel. (Marzo de 2014). Reconocimiento de Aceros, Ensayo de Espectrometría. Combia: Mecánica.

# **OPTIMIZACIÓN TOPOLÓGICA DE UNA MANGUETA DELANTERA PARA VEHÍCULO FORMULA STUDENT**

## **OPTIMIZATION TOPOLOGY OF ONE FRONT PIVOTING WHEEL CARRIER FOR VEHICLE FORMULA STUDENT**

**Euro Mena Mena<sup>1a\*</sup>, Edilberto Llanes Cedeño<sup>2b</sup>, Juan Rocha-Hoyos<sup>3c</sup>, Luis Xavier  
Orbea<sup>3d</sup>**

<sup>1</sup> Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí, Av. Rumiñahui. Ecuador.

<sup>2</sup> Universidad Internacional SEK, Facultad de Arquitectura e Ingeniería, Quito, Ecuador.

<sup>3</sup>Universidad Tecnológica Equinoccial, Sede Santo Domingo, Ecuador

<sup>a\*</sup>[ermerena@espe.edu.ec](mailto:ermerena@espe.edu.ec), <sup>b</sup>[antoniollanes@uisek.edu.ec](mailto:antoniollanes@uisek.edu.ec), <sup>c</sup>[carlos.rocha@uisek.edu.ec](mailto:carlos.rocha@uisek.edu.ec),  
<sup>d</sup>[luis.orbea@ute.edu.ec](mailto:luis.orbea@ute.edu.ec)

### **Resumen**

El exceso de peso en un vehículo se refleja en el mayor consumo de combustible y dificultad en la maniobrabilidad, por tal motivo, la presente investigación tuvo como objetivo optimizar las manguetas delanteras de un vehículo prototipo *Formula Student* utilizando software para la disminución de las masas. Para conseguir esto se realizó en la fase inicial una revisión bibliográfica que permitió identificar las magnitudes, dirección y sentido de las fuerzas que actúan sobre la mangueta. El método experimental se utilizó en la optimización y análisis en el software Inventor 2017 en materiales como el acero A 36 y aluminio 7075 T6; y en la validación, instalando la mangueta en el vehículo y realizando las pruebas dinámicas del Reglamento de *Formula Student*. Los resultados demostraron que la optimización topológica de menor peso se consiguió en aluminio y que la diferencia de pesos entre la mangueta de acero que tenía el vehículo y la propuesta fue de 1,465 kilogramos que representa una disminución del 68,62%. El factor de seguridad aumentó un 32% en el ensayo de girar el neumático con el vehículo estacionado y en el desplazamiento también se registró un 59,4% menos que la mangueta de acero. La mangueta puede ser macanizada en una fresadora CNC de tres ejes.

**Palabras claves:** Optimización topológica, manguetas delanteras, formula estudiante, optimización de diseño.

### **Abstract**

*The excess weight in a vehicle is reflected in the increased fuel consumption and difficulty in maneuverability, for this reason, the present research aimed to optimize the upright front of a*

*prototype Formula Student vehicle using software for the reduction of masses. To achieve this, a bibliographic review was carried out in the initial phase to identify the magnitudes, direction and direction of the forces acting on the upright. The experimental method was used in the optimization and analysis in Inventor 2017 software in materials such as steel A 36 and aluminum 7075 T6; And in the validation, installing the upright in the vehicle and conducting the dynamic tests of the Regulation of Formula Student. The results showed that the topological optimization of lower weight was obtained in aluminum and that the difference of weights between the upright of steel that had the vehicle and the proposal was of 1,465 kilograms representing a decrease of 68,62%. The safety factor increased by 32% in the test of turning the tire with the vehicle parked and in the displacement also registered 59.4% less than the steel spindle. The upright can be machined in a three axis CNC milling machine.*

**Key words:** *Topological optimization, front upright, student formula, design optimization.*

## **1. Introducción**

La topología de optimización (Maranan, Simpson, Palmer, & Dickman, 2016) en el diseño del componente automotriz, parte del diseño CAD y se integra con el análisis de elementos finitos, para mejorar el proceso de diseño, obteniéndose soluciones óptimas (Boonpan & Bureerat, 2012), y de peso ligero, sin sacrificar la eficacia y eficiencia (Durgun & Yildiz, 2012); durante la optimización la estructura cambia pero la topología es constante (Yildiz, Kaya, Ozturk, & Alankus, 2004). En la actualidad se utiliza software CAE con topología de optimización para integrar el proceso de desarrollo del producto.

Los materiales son importantes en el proceso de diseño (Simões, 2001). Entonces, es determinante seleccionar los materiales que pueden ocuparse en la construcción de un componente, considerando especialmente los de fácil adquisición en el mercado local o exportación.

Las cargas extremas a la que está sometida una autoparte determinan la forma y el espesor del mismo (Badih A Jawad & Polega, 2002), sino existe otro limitante. Las dimensiones del lugar donde se ubicará el componente automotriz, limita el tamaño del mismo y su forma. Esto se relaciona con los materiales, porque de su elección, permite alcanzar correctamente la forma deseada (Simões, 2001).

El diseño óptimo de un componente automotriz, además de relacionarse con el material, debe considerar la factibilidad de manufactura y para esto se han creado metodologías (Uzair N., Muhammad, & Umair N., 2013). La optimización por software (Bonte, Van den Boogaard, & Huétink, 2008), se basa en aplicar modelos matemáticos para reducir la masa

del componente a construir, aplicar un mallado acorde al producto y utilizar un solver apropiado.

La topología de optimización ayuda a desarrollar componentes eficientes que minimizan la contaminación, reduciendo el consumo de energía en la construcción y utilización de la autoparte. Permite seleccionar las variables de diseño, elegir una función objetivo a optimizar y considerar las restricciones (Chiandussi, Gaviglio, & Ibba, 2004).

## **2. Metodología**

Esta investigación, se centra en encontrar una optimización topológica de las manguetas delanteras para un vehículo prototipo *Formula Student* utilizando dos tipos de materiales, aplicando el promedio entre las cargas máximas y mínimas encontradas mediante revisión bibliográfica, utilizando como herramienta un software CAD que pueda realizar el análisis por elementos finitos, finalmente construirla y montarla en el vehículo.

La investigación documental bibliográfica es utilizada en la primera fase de la investigación, para la identificación de las cargas en que trabajan las manguetas y determinar las máximas y mínimas cargas que permitan promediar. Este valor de carga serán las aplicadas para la optimización y análisis de las mismas.

La segunda fase se basa en un tipo de investigación experimental, que se centra en la manipulación de variables independientes en condiciones controladas para medir el efecto sobre la variable dependiente, de tal forma que se induzca a obtener el mismo resultado en un objeto distinto. En este tipo de investigación no solo se identificarán las diferentes formas de la mangueta, sino también determinar el peso, factor de seguridad y la geometría para el posterior mecanizado.

Además, en la investigación se aplicará la metodología del análisis orientado a la usabilidad y optimización, que consiste en una primera etapa, en buscar la información sobre la aplicabilidad del componente, los requerimientos, análisis de funciones y establecer metas de confiabilidad. En la etapa de diseño, se considerará las formas y dimensiones del componente, manteniendo los puntos de anclaje para la comparación de peso y eficiencia.

En la etapa de implementación se estableció el tipo de mallado, que para el presente estudio se permitió al software mallar de acuerdo a la forma del componente; además, de incorporar las cargas y restricciones. Para la etapa de evaluación, se solicitó a los jefes de equipos de las universidades de la zona 3 (Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca y Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE) sobre la factibilidad de construir la mangueta y la facilidad de montaje, esto se consigue a través de una encuesta y modelación del

proceso de mecanizado en el software NX y el componente fabricado mediante mecanizado CNC.

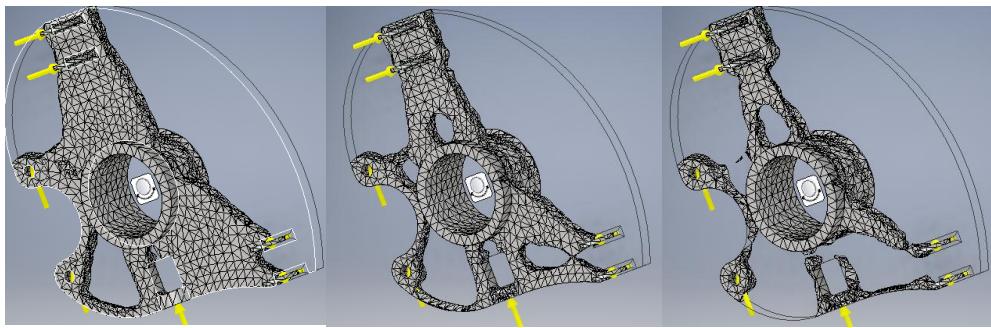
### 3. Resultados

Las fuerzas a introducirse en el *software* son las promediadas entre los valores máximos y mínimos encontrados por investigación documental bibliográfica. En la Tabla 1 se observa los valores de las fuerzas. Para el apoyo de la dirección se considera el promedio entre la aplicada a la mangueta actual 741 N (Cruz Castro & Mesías Izurieta, 2013) y la 256 N (Reyes Jiménez, 2016).

**Tabla 1. Fuerzas que afectan a la mangueta delantera.**

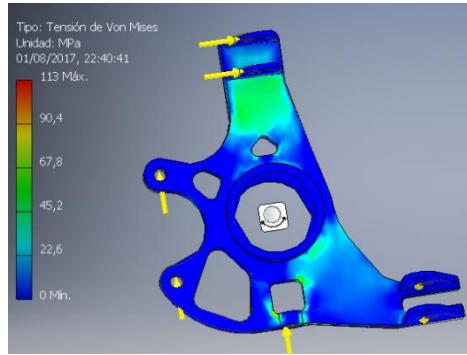
Fuente	Pinza de freno	Apoyo inferior	Apoyo superior	Dirección	Material
(Badih A. Jawad & Baumann, 2002)	1 121	2 304	895		7075 T6
(Joshi & Joshi, 2016)	1 120				7075 T6
(Reyes Jiménez, 2016)	3 048	3 438	2 068	256	7075 T6
Autor	2 085	2 871	1 482	494	7075 T6

A partir del CAD donde se establece la máxima masa que podría tener la mangueta, considerando los puntos de anclaje y la cavidad para las mordazas de freno, en la figura 1 se observa la mangueta optimizada al 50, 60 y 70%. En el resultado de optimización de masa inicial de mayor porcentaje se visualiza que algunas partes están sin contacto y en el de menor no hay mayor reducción. De esta comparación se escoge el de 60% para continuar el análisis.



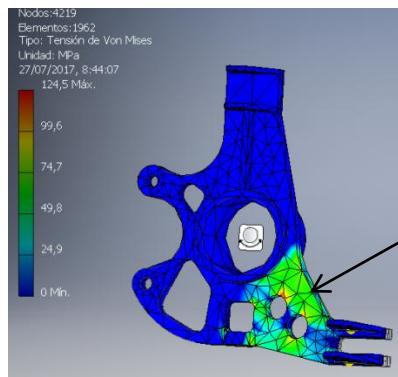
**Figura 1. Mangueta optimizada con el software a 50, 60 Y 70%.**

En el figura 2. Se observa el valor de tensión de Von Mises y las zonas afectadas que son: Anclaje superior para la suspensión, agujero para el perno que sujeta el tirante inferior de la suspensión.



**Figura 210. Visualización del valor de Von Mises.**

Una vez realizado el nuevo CAD, se establece el tipo de mallado y las características del material para un análisis que permita establecer, si el porcentaje seleccionado es el adecuado. Adicional se ha considerado en este estudio, que los neumáticos giran sobre el eje vertical sin desplazarse el vehículo, esto con la finalidad de comparar los datos proporcionados en Cruz Castro & Mesías Izurieta, 2013, que aplican una fuerza de 731 N en el brazo de la mangueta, donde se instala la varilla del sistema de suspensión. El punto crítico del diagrama de Von Mises, se encuentra en la parte superior del agujero donde apunta la flecha de color negro como se visualiza en la figura 3.



**Figura 311. Tensión de Von Mises aplicando fuerza de giro.**

Para el proceso de mecanizado se consideró el software NX 10, bajo las condiciones del material a utilizarse para la mangueta (7075 T6) y la máquina de tres ejes. La mangueta tiene un peso de 1,155 kg, incluido el rodamiento, el mismo que pesa 0,445 kg.

#### 4. Discusión

El análisis de los resultados se inició comparando la mangueta de acero y aluminio propuesta en esta investigación como se observa en la tabla 2.

**Tabla 2. Comparación de las manguetas.**

Mangueta	Peso (kg)	Factor de seguridad	Desplazamiento (mm)	Módulo de Von Mises (MPa)
Acero propuesta	1,835	1.57	0.339	131,6
Aluminio propuesta	0,713	3,43	0,988	131,1

El material seleccionado para construir la mangueta es el aluminio 7075 T6 por presentar un 38,9 % del peso del componente en acero y un 218,5 % mayor el factor de seguridad, aunque el desplazamiento se vea afectado. Otra comparación se realiza con los datos proporcionados en (Cruz Castro & Mesías Izurieta, 2013).

Se debe considerar que la comparativa se realiza solamente aplicando fuerza en el brazo de anclaje del sistema de dirección. Los datos se observa en la tabla 3.

**Tabla 3. Comparación de las manguetas inicial y propuesta.**

Mangueta	Peso (kg)	Factor de seguridad	Desplazamiento (mm)
Acero inicial	2,135	1,675	2,670
Aluminio propuesta	0,670	2,21	1,585

Los valores de la tabla nos indica que el coeficiente de seguridad de la mangueta de aluminio en esta prueba subió un 132 % y su desplazamiento se redujo en un 59.4 %.

Al vehículo no alcanzó los 75 metros en menos de 4 segundos con ninguna de las dos manguetas (acero – aluminio), esto se debe a que la reducción del peso de la mangueta representa un 0,54 % del peso del vehículo.

Soportó las cargas que en la aceleración se generó, el no cumplir con los tiempo establecido se debe principalmente por la restricción de aire que tiene por reglamento el motor y el peso excesivo que se mantiene.

El acabado de la mangueta de aluminio como se observa en la figura 4 es mejor, puede aplicarse una fresadora de cinco ejes para realizar los agujeros en la misma máquina sin moverse el componente.



**Figura 4. Manguetas de acero y aluminio.**

## 5. Conclusiones y recomendaciones

La mangueta fue instalada en el vehículo, para realizar las comparativas de aceleración, obteniéndose resultados similares registrados con la mangueta de acero patrón, esto se

debe, por que la reducción del peso de la mangueta, representa un 0,54 % del peso vehicular. Además, se recomienda modificar la geometría del sistema de suspensión para comprobar si se logra reducir el peso o aumentar su coeficiente de seguridad.

## Bibliografía

1. Bonte, M. H. A., Van den Boogaard, A. H., & Huétink, J. (2008). An optimisation strategy for industrial metal forming processes. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 571-586.
2. Boonpan, A., & Bureerat, S. (2012). Multi-stage design of an automotive component. *International Journal of Vehicle Design*, 60(1/2), 84-99.
3. Cruz Castro, G. A., & Mesías Izurieta, D. F. (2013). *Diseño, construcción e implementación de sistemas de suspensión, dirección y frenos del vehículo de competencia fórmula SAE 2012*. LATACUNGA/ESPE/2013.
4. Chiandussi, G., Gaviglio, I., & Ibba, A. (2004). Topology optimisation of an automotive component without final volume constraint specification. *Advances in Engineering Software*, 35(10), 609-617.
5. Durgun, İ., & Yıldız, A. R. (2012). Structural design optimization of vehicle components using cuckoo search algorithm. *Materials Testing*, 54(3), 185-188.
6. Jawad, B. A., & Baumann, J. (2002). Design of Formula SAE Suspension. *SAE International* 382. doi: 10.4271/2002-01-3310
7. Jawad, B. A., & Polega, B. D. (2002). Design of Formula SAE Suspension Components: SAE Technical Paper.
8. Joshi, T., & Joshi, V. (2016). Design and Analysis of Suspension and Steering Components of F1 Prototype. *Imperial Journal of Interdisciplinary Research*, 2(4).
9. Maranan, V., Simpson, T. W., Palmer, T., & Dickman, C. J. (2016). *Application of Topology Optimization and Design for Additive Manufacturing Guidelines on an Automotive Component*. Paper presented at the ASME 2016 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference.
10. Reyes Jiménez, D. A. (2016). *Diseño de las manguetas delanteras y posteriores para un vehículo Formula SAE mediante técnicas de optimización estructural y manufactura con CNC*. Universidad del Azuay.
11. Simões, J. (2001). Icarus: the design process of a conceptual vehicle. *Materials & Design*, 22(4), 251-257.
12. Uzair N., M., Muhammad, B. M., & Umair N., M. (2013). Application of Advance CAE Tools to Design & Manufacture a Racecar. *CogInfoCom*, 671 - 676.
13. Yıldız, A. R., Kaya, N., Ozturk, F., & Alankus, O. (2004). Optimal design of vehicle components using topology design and optimisation. *International Journal of Vehicle Design*, 34(4), 387-398.

## TEMA: SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA (SEP)

---

### GESTIÓN DE MANTENIMIENTO EN CELEC EP BAJO ESTÁNDARES INTERNACIONALES COMO PASS 55

#### ***MAINTENANCE MANAGEMENT IN CELEC EP UNDER INTERNATIONAL STANDARDS SUCH AS PASS 55***

***Ing. Edgar Fabián Calero Vela<sup>1a\*</sup>***

<sup>1</sup>Universidad Tecnológica Equinoccial, Santo Domingo - Ecuador  
a<sup>1</sup>fcalero1@hotmail.com

#### **Resumen:**

La Corporación Eléctrica del Ecuador CELEC EP, es una Empresa Pública Estratégica, creada mediante Decreto Ejecutivo No. 220 del 14 de enero de 2010, que tiene como responsabilidad expandir, operar y mantener el Sistema Nacional Interconectado Ecuatoriano. CELEC EP inicio con un proyecto de mejora de la Gestión de Activos basado en PAS 55 **Asset Management Standard**, para todas las Unidades de Generación y la de Transmisión, en este proyecto CELEC EP ve la necesidad de optimizar de manera sustentable a los procesos y al efectivo funcionamiento de los elementos que los sustentan de manera de garantizar la confiabilidad de los activos. Este trabajo tiene como objetivo mostrar los resultados obtenidos en el estudio 3Ps para identificar el Nivel de Percepción del personal de CELEC EP- TRANSELECTRIC, respecto a su Nivel de Gestión de Mantenimiento actual. En este sentido se describe los resultados obtenidos de forma global, y los mapas mentales que recogen las áreas de interés, y las oportunidades de mejora planteadas por las 153 personas entrevistadas pertenecientes a las áreas de Mantenimiento, Operación, Ingeniería de la Subgerencia de Operación y Mantenimiento de la Unidad de Negocio CELEC – EP Transelectric, quienes participaron en este estudio de las 3Ps (Personas, Procesos and Personas)

**Palabras clave:** Gestión, Mantenimiento, CELEC, Estándares Internacionales

#### **Abstract:**

The Electric Corporation of Ecuador CELEC EP, is a Strategic Public Enterprise, created by Executive Decree No. 220 of January 14, 2010, which is responsible for expanding, operating and maintaining the Ecuadorian National Interconnected System. CELEC EP started with an asset management improvement project based on PAS 55 AssetManagement Standard, for all Generation Units and Transmission Units, in this CELEC EP project, sees the need to optimize in a sustainable way the processes and the effective functioning of the elements that support them in order to ensure the reliability of the assets. This paper aims to show the results obtained in the 3Ps study to identify the Level of Perception of CELEC personnel EP-TRANSELECTRIC, with respect to their current level of Maintenance Management. In this sense, it describes the results obtained in a global way, and the mental maps that collect the areas of interest, and the opportunities for improvement raised by the 153 people interviewed in the areas of Maintenance, Operation, Engineering of the Sub-Management of Operations and Maintenance of the CELEC - EP Transelectric Business Unit, who participated in this study of the 3Ps (People, Process and People)

**Key words:** Management, Maintenance, CELEC, International Standards.

## 1. Introducción

CELEC EP, es una corporación altamente dependiente de activos físicos, su infraestructura de centrales de generación, subestaciones y líneas de transmisión ubicadas a lo largo de todo el país, es un motivo suficiente para que la organización implemente un modelo de gestión integral de activos físicos basado en la especificación PAS 55:2008, la cual propone 28 requerimientos necesarios para lograr de manera exitosa una gestión responsable, sustentable, optimizada, demostrable y certificada a lo largo del Ciclo de Vida Total de los Activos considerando Costos, Riesgo y Desempeño.

En este artículo se presenta conceptos relacionados sobre PAS 55 y los resultados obtenidos del estudio realizado en CELEC EP –TRANSELECTRIC por la consultora PMM INSTITUTE FOR LEARNING:

El estudio está relacionado con identificar el Nivel de Gestión de Mantenimiento percibido por el personal de la **Unidad de Negocio CELEC – EP Transelectric**, utilizando la Metodología 3Ps (People, Process and People) desarrollado por PMM Institute for Learning.

En este sentido se describe la muestra que ha participado en este estudio, los resultados obtenidos de forma global, y las oportunidades de mejora planteadas por las 153 personas entrevistadas pertenecientes a la Subgerencia de Operación y Mantenimiento.

Una vez identificado el nivel de percepción de la Gestión del Mantenimiento por personal de CELEC EP-TRANSELECTRIC, se analiza los puntos más fuertes, los puntos más débiles, y los puntos desconocidos, utilizando un gráfico de araña con la identificación de los valores asociados a las preguntas de la encuesta 3Ps.

Por último se presentan conclusiones y recomendaciones sobre este estudio realizado.

## 2. Metodología

### 2.1 ¿Qué es la Gestión de Activos?

La Gestión de Activos o, en idioma inglés “Asset Management” se define según PAS 55:2008 como “Conjunto de actividades y prácticas coordinadas y sistemáticas por medio de las cuales una organización maneja de manera óptima y sustentable sus activos y sistemas de activos, su desempeño, riesgo y gastos a lo largo de sus ciclos de vida, con el fin de lograr su plan estratégico organizacional”.

El ciclo de vida abarca desde la concepción de un activo hasta la desincorporación y/o renovación, pasando por el diseño, construcción, puesta en marcha, operación, mantenimiento y mejoramiento.

El término optimización se refiere a la mejor relación de costos, riesgos y beneficios.

### 2.2 Estructura de BSI PAS 55:2008

La BSI PAS 55:2008 está estructurado para interconectarse de manera natural con los sistemas de gestión de calidad tales como ISO9001 y otras plataformas ISO ya que posee una estructura similar a dichas normas (basada en los círculos de mejora continua: planificar, hacer, verificar y actuar).

## 2.3 Nivel de Gestión de Mantenimiento percibido por el personal de la organización (Metodología 3Ps)

Antes de decidir qué mejoras y hacia dónde se deben conducir las acciones de la empresa, hay que establecer el punto de partida de una forma estratégica y operativa cuáles serán las acciones que se deben ejecutar para alcanzar las metas.

PMM Institute for Learning, dispone de una metodología denominada 3P (People, Process and People) Assessment Methodology, mediante la cual, identifica y analiza las oportunidades de mejorar en 5 áreas claves de la Gestión Integral de Activos Físicos (Asset Management):

- Recursos del mantenimiento y operaciones
- Tecnología de la información
- Mantenimiento preventivo y tecnología
- Planificación y programación
- Soporte al mantenimiento y operaciones

El análisis cuantitativo y cualitativo de los datos se estructura en 5 pasos: Encuestas, Análisis de datos, Definiciones de la clase de gestión de mantenimiento y operaciones en base a la puntuación obtenida, Identificación de las áreas a potenciar y Mejores prácticas.

La herramienta emplea una encuesta con 12 preguntas orientadas a cada una de las áreas claves de una empresa, sumando un total de 60. Esta encuesta se realiza en base a los estándares internacionales de Gestión Integral de Activos Físicos y adaptadas a la cultura, clima organizacional y necesidades de la empresa y en ella participan representantes de todas las áreas del negocio: operación, mantenimiento, logística, ingeniería, operación, finanzas, recursos humanos, seguridad industrial.

Se han considerado cinco categorías o clases de Niveles de Gestión de Mantenimiento definidas por la North American Maintenance Excellence Award (EEUU), (de menor a mayor percepción): Gestión Inocente u organización con enfoque de **Correctivo**, Gestión Insatisfactorio u organización con un enfoque de **Mantenimiento Preventivo No Optimizado**, Consciente u organización con enfoque de **Mantenimiento Estratégico** (Ingeniería de Mantenimiento), **Mejor en su Clase, Clase Mundial**.

Las respuestas a las preguntas planteadas han sido valoradas de acuerdo al siguiente concepto: Puntuación Baja (1 punto); Puntuación Media (2 puntos); Puntuación Alta (3 puntos); Puntuación No aplica / No sabe (0 puntos).

Y son presentadas en un diagrama de araña y definido el nivel de percepción de acuerdo a los valores de la Tabla 1.

Tabla 1: Niveles de clasificación del mantenimiento

	Puntuación	% Clasificación Clases de Mantenimiento
Inocente (Mantenimiento Correctivo)	99-80	55 a 44
Insatisfactorio (Mantenimiento Preventivo No Optimizado)	119-110	66 a 61
Consciente (Mantenimiento Estratégico)	139-120	77 a 67
Mejor en su Clase	159-140	88 a 78
Clase Mundial	180-160	100 a 89

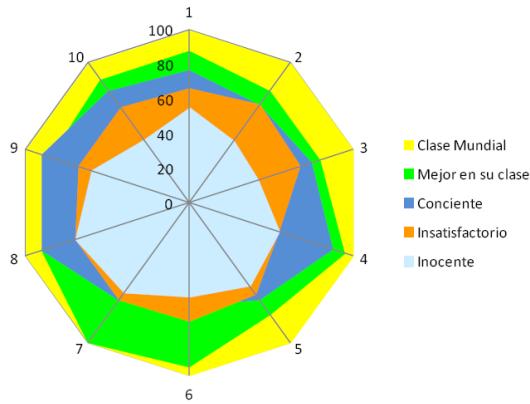


Figura 2: Representación en diagrama de araña

### 3. Resultados y Discusiones

#### 3.1 Aplicación Práctica

Bajo el marco del Proyecto de Auditoría a la Gestión Técnica de las Unidades de Negocio de CELEC EP y Desarrollo del Plan de Acción para el Mejoramiento de la Gestión de Activos en base al Estándar PAS 55 aplicado en CELEC EP - TRANSELECTRIC, se desarrolla una primera etapa que consistió en identificar el Nivel de Gestión de Mantenimiento percibido por el personal de la organización (Metodología 3Ps), desarrollado por PMM INSTITUTE FOR LEARNING, con un equipo de trabajo conformado por: Luis Amendola, Ph.D, Ing. Nayrith Medina, Ing. MSc Tibaire Depool y Miriam Martin.

Esta etapa del estudio consta de un cuestionario de 60 preguntas acerca de la percepción del Nivel de Gestión de Mantenimiento que tiene la organización, con el fin de identificar las oportunidades de mejora considerando cinco (05) áreas claves: Recursos del Mantenimiento y Operación, Tecnología de la Información, Mantenimiento Preventivo y Tecnología, Planificación y Programación y, Soporte al Mantenimiento y la Operación, y así establece la categoría Actual de la Gestión de Mantenimiento.

Este estudio tiene como objetivo identificar y analizar los problemas más frecuentes presentados en la Gestión del Mantenimiento en CELEC EP - TRANSELECTRIC. Para su desarrollo participaron un total de 153 personas pertenecientes a las áreas de Operación, Mantenimiento, Ingeniería y Proyectos.

#### 3.2 Resultados de la encuesta de percepción del nivel de mantenimiento por personal de CELEC EP-TRANSELECTRIC

Una vez analizados los resultados de este estudio, se identifica el nivel de mantenimiento percibido por CELEC EP - TRANSELECTRIC considerando las 5 clases de Niveles de Gestión de Mantenimiento definidas por la North American Maintenance Excellence Award (EEUU: **Mantenimiento Reactivo (Inocente)**, **Retroalimentación del Preventivo (Insatisfactorio)**; **Mantenimiento Estratégico (Conciente)**, **Mejor en su clase**, **Clase Mundial**). Los resultados de las 153 encuestadas se muestran en la Figura 3.



Figura 3: Niveles de mantenimiento percibidos en la muestra global

### 3.3 Puntos fuertes, débiles y desconocidos que percibidos por el personal que participó en el estudio de las 3Ps.

Una vez identificado el nivel de percepción de la Gestión del Mantenimiento por personal de CELEC EP-TRANSELECTRIC, se analiza los puntos más fuertes, los puntos más débiles, y los puntos desconocidos, utilizando un gráfico de araña con la identificación de los valores asociados a las preguntas de la encuesta 3Ps.

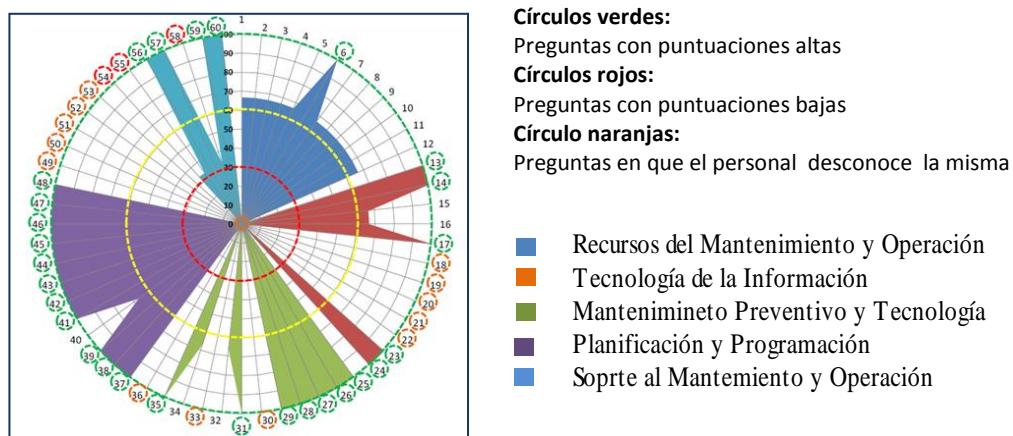


Figura 4: Representación gráfica de datos en el diagrama de araña

### 3.4 Oportunidades de mejora comentadas por los entrevistados (Mapa Mental)

Como parte del estudio de las 3Ps, durante las entrevistas en las que participaron todos los departamentos pertenecientes a la unidad de negocio CELEC EP - TRANSELECTRIC, se han recopilado los principales aspectos de mejora manifestados por los entrevistados (muestra total de 153 personas).

Se han empleado los mapas mentales para hacer una propuesta común de las ideas más importantes.

En este sentido las ideas manifestadas por las 153 personas entrevistadas se agruparon en 8 ideas principales que son:

- Gestión del mantenimiento y operaciones.
- Evaluación del desempeño.
- Adquisiciones.
- Comunicación.
- Capacitación.
- Motivación.

- Talento Humano.
- Seguridad Industrial, Higiene y Ambiente.

#### **4. Conclusiones y Recomendaciones**

##### **4.1 Conclusiones**

1.-El personal que participó en el análisis del Nivel de precepción que tiene la Unidad de Negocio TRANSELECTRIC, respecto a la Gestión de Mantenimiento, concluyó que el 30% considera que TRANSELECTRIC tiene un Mantenimiento Reactivo o Inocente, el 22%, que existe un Mantenimiento Estratégico- Consciente y el 17 % que el Mantenimiento es Reactivo, No Optimizado.

##### **4.2 Recomendaciones**

1. Implementar en toda la corporación un modelo de Gestión de Activo Físico.
2. Establecer e implementar estrategias de mejoras en las áreas que se definió deben ser fortalecidas.
3. Se debe desarrollar una estrategia global con un plan de mantenimiento a largo plazo, que pueda ser auditable en cuanto a los métodos, herramientas, procesos e indicadores.

#### **5. Bibliografía**

- [1] BSi PAS 55:2008 Gestión de Activos Parte 1, ISBN: 978-0-9563934-0-1
- [2] BSi PAS 55:2008 Gestión de Activos Parte 2, ISBN: 978-0-9563934-2-5
- [3] Amendola. L, (2011). Libro de Gestión Integral de Activos Físicos, ISBN: 978-84-935668-8-3, Editorial PMM Institute for Learning. Valencia, España
- [4] Sojo L, Durán J. Innovando con la Gestión de activos, consultado el 15 Enero 2010, disponible en: *Sojo L. Asset Management PAS 55 para una gestión de activos optimizada y certificada, consultado 20 de Mayo 2010, disponible en: <http://www.mantenimientomundial.com/sites/mmnew/bib/notas/ASSETMANAGEMENT.Pdf>*

# **EXPANSIÓN DEL SISTEMA DE 500 KV ECUATORIANO Y ASPECTOS OPERATIVOS DE L/T SAN RAFAEL-EL INGA 500 KV**

## ***EXPANSION OF THE ECUADORIAN 500 KV SYSTEM AND OPERATIONAL ASPECTS OF L / T SAN RAFAEL-EL INGA 500 KV***

***Ing. Edgar Fabián Calero Vela<sup>1a\*</sup>***

<sup>1</sup>Universidad Tecnológica Equinoccial, Santo Domingo-Ecuador  
<sup>a\*</sup>[fcalero1@hotmail.com](mailto:fcalero1@hotmail.com)

### **Resumen:**

La entrada en operación de grandes proyectos hidroeléctricos, como el Coca Codo Sinclair (1.500 MW) y Sopladora (487 MW), y por tanto la necesidad de reducir el despacho de generación térmica, principalmente en la Zona de Guayaquil, requirió del fortalecimiento de la red troncal del SNT para la transmisión de grandes potencias entre los centros de generación y la carga, mediante la construcción de un sistema de extra alta tensión de 500 kV; lo que además, significó también cambios importantes en la operación del Sistema. En este trabajo, se expone dos aspectos fundamentales relacionados con la incorporación y operación del sistema de transmisión de 500 kV: El primer aspecto, está relacionado con la presentación de la configuración de la infraestructura eléctrica que conforma el proyecto de transmisión de 500 kV, y sus obras asociadas de 230 kV, así como la topología del sistema eléctrico ecuatoriano al año 2017. El segundo aspecto, considera un estudio en ATP sobre la operación de la línea de transmisión San Rafael - El Inga a 500 kV, para despejar fallas monofásicas, mediante la apertura de la fase afectada sin provocar el disparo de línea de transmisión, en razón de que el diseño contempla la instalación de interruptores de potencia de operación monopolar. Con la apertura de una fase de la línea de transmisión, es necesario determinar la parametrización adecuada de las funciones de sincronismo y recierre de esta línea que permitirá mantener la operación segura del sistema de 500 kV en condiciones de operación desbalanceada.

**Palabras claves:** ATP; Transmisión; Interruptores; Recierre; Sincronismo

### **Abstract:**

The entry into operation of large hydroelectric projects, such as Coca Codo Sinclair (1,500 MW) and Sopladora (487 MW), and therefore the need to reduce the dispatch of thermal generation, mainly in the Guayaquil Zone, required the strengthening of the backbone of the SNT for the transmission of large powers between generation and load centers, by the construction of an extra high voltage system of 500 kV; which also meant significant changes in the operation of the System. In this paper, two fundamental aspects related to the incorporation and operation of the 500 kV transmission system are presented: The first aspect is related to the presentation of the configuration of the electrical infrastructure that forms the transmission project of 500 kV, and its associated works of 230 kV, as well as the topology of the Ecuadorian electrical system to the year 2017. The second aspect considers an ATP study on the operation of the San Rafael - El Inga transmission line at 500 kV, to eliminate single phase faults, by opening the affected phase without triggering the transmission line trip, due to that the design contemplates the installation of single-pole operation power switches. With the opening of a phase of the transmission line, it is necessary to determine the proper parameterization of the synchronization and reclosing functions of this line, which will allow the safe operation of the 500 kV system to be maintained under unbalanced operating conditions.

**Keywords:** ATP; Transmission; Switches; Reclose; Synchronization

## **1. Introducción**

### **1.1 Sistema Eléctrico Ecuatoriano**

El sector eléctrico, al tener un rol estratégico y protagónico en la economía nacional, planifica su expansión articulándose con las diferentes estrategias, planes y agendas sectoriales, que en su contexto integral; permitirán alcanzar los grandes objetivos del desarrollo del Ecuador.

Con la entrada en operación de las centrales hidroeléctricas Sopladora y Coca Codo Sinclair, se conformó en el Sistema Nacional Interconectado dos grandes centros de generación, uno ubicado en la parte sur (Paute, Mazar, Sopladora) con una capacidad instalada de 1.700 MW y otro en la parte norte del sistema (Coca Codo Sinclair) con una potencia de 1.500 MW.

La entrada también en operación del sistema de transmisión de 500 kV, El Inga-Tisaleo-Chorrillos con sus interconexiones al sistema troncal de 230 kV, de manera general permiten una operación segura del S.N.I.

No obstante, para el corto y mediano plazo; el sistema de transmisión, especialmente de la zona de Guayaquil; requiere de obras adicionales, para cubrir la demanda creciente, y aprovechar la energía de los nuevos proyectos de generación

En la primera parte de este trabajo, se expone la configuración del Sistema Nacional de Transmisión actual, conformado por las líneas de transmisión de 500 kV, 230 kV y 138 kV.

### **1.2 Análisis de despejes monofásicos de la L/T San Rafael – El Inga a 500 kV**

Tomando en consideración que estadísticamente, la mayoría de fallas que afectan a los sistemas de transmisión (cerca del 80%) son monofásicas y de origen transitorio, se ha implementado en los diseños el recierre rápidos ante condiciones de falla, esquema que permite mantener un nivel de confiabilidad elevada con mínimo impacto a la estabilidad transitoria del sistema.

Usualmente este esquema puede ser monofásico o trifásico, dependiendo del número de fases que se despejan ante la aparición de la falla. La selección de una de estas dos posibilidades tiene que ver desde el punto de vista operativo, con la robustez que presenta el sistema en el aspecto de estabilidad y el grado de complejidad con que se desea realizar la detección de la falla. Es decir, si se tiene un sistema eléctrico con suficiente margen de estabilidad para permitir un despeje de las tres fases ante cualquier falla, suele usarse el esquema trifásico. En caso contrario, debe escogerse el monofásico.

En la segunda parte del trabajo, se presenta un extracto del estudio realizado por el área de operación de CELEC EP-TRANSELECTIC, considera la aplicación del software ATP sobre la operación de la línea de transmisión San Rafael - El Inga a 500 kV, para despejar fallas monofásicas, mediante la apertura de la fase afectada sin provocar el disparo de línea de transmisión, en razón de que el diseño contempla la instalación de interruptores de potencia de operación monopolar. Con la apertura de una fase de la línea de transmisión, es necesario determinar la parametrización adecuada de las funciones de sincronismo y recierre de esta línea que permitirá mantener la operación segura del sistema de 500 kV en condiciones de operación desbalanceada.

## 2. Metodología

### 2.1 Sistema Eléctrico Ecuatoriano

El Plan de Expansión de Generación, parte integrante del Plan Maestro de Electricidad, está alineado con el Plan Nacional de Desarrollo; y, se fundamenta en las políticas emitidas por el Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos y por el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable.

### 2.2 Ministerio de Electricidad y Energía Renovable

En concordancia con los objetivos del Plan Nacional de Buen Vivir, el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable ha definido las siguientes políticas energéticas relacionadas con la expansión de la generación entre las más relevantes se tiene: 1. La expansión de la generación deberá considerar cronogramas actualizados de ejecución de los proyectos previstos en un horizonte de mediano plazo y definir la expansión de largo plazo mediante una solución que sea robusta ante las incertidumbres en las variables de entrada; 2. La expansión deberá cumplir los niveles mínimos de reserva en energía y potencia establecidos por la normativa vigente, observando los distintos escenarios hidrológicos; 3. Considerar la capacidad instalada de generación y la oferta de energía eléctrica del sector hidrocarburífero.

### 2.3 Infraestructura de Generación existente

El parque generador disponible para producción de electricidad en el Ecuador, al mes de diciembre de 2016, consta de 302 centrales eléctricas, con una potencia total efectiva de 7.606 MW, tal como se detalla en la siguiente tabla.

Tabla 1: Número de Centrales y Potencia efectiva del Ecuador

Sistema	Número de centrales	Potencia efectiva (MW)
Sistema Nacional Interconectado (S.N.I)	125	6.739
Sistemas No Incorporados	177	867
<b>TOTAL</b>	<b>302</b>	<b>7.606</b>
Demanda máxima del S.N.I hasta dic 2016		3.670
Reserva total de potencia del S.N.I.		83,6%

El país cuenta con un plan de expansión de generación de energía eléctrica, cuya ejecución garantiza el abastecimiento de la demanda con condiciones de seguridad y economía del sistema Nacional Interconectado.

Tabla 2: Proyectos emblemáticos de generación

Proyecto/Central	Provincia	Potencia (MW)	Año Inicio Operación
Mamduriacu	Imbabura, Pichincha	63,36	2015
Coca Codo Sinclair	Napo, Sucumbíos	1500	2016
Toachi Pilató	Pichincha, Tsáchila, Cotopaxi	254,4	
Quijos	Napo	50	
Sopladora	Azuay	487	2016
Mazar-Dudas	Cañar	7,19	
Delsitanisagua	Zamora Chinchipe	180	2017
Machala	El Oro	187	
M. San Francisco	Azuay, El Oro, Loja	275	

## 2.4 Infraestructura de Transmisión existente

La expansión del sistema de transmisión se basa en los objetivos, políticas y lineamientos establecidos por el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable para la elaboración del Plan Maestro de Electrificación.

La planificación y desarrollo de los proyectos del sistema de transmisión, están a cargo la Empresa Pública Corporación Eléctrica del Ecuador, CELEC EP y se gestionan a través de la Unidad de Negocio TRANSELECTRIC, quien elaboró el plan de expansión de la red de transmisión requerida por el Sistema Nacional Interconectado, en el período 2016-2025, para garantizar la transmisión de potencia desde las centrales de generación a los centros de consumo, viabilizando además, la factibilidad de interconexión eléctrica con los países vecinos.

El S.N.T. está constituido por un total de 80 líneas de transmisión que operan a niveles de voltaje de 500 kV, 230 kV y 138 kV, de acuerdo al siguiente cuadro.

Tabla 3: Longitudes de línea de acuerdo al nivel de tensión

NIVEL DE VOLTAJE KV	SIMPLE CIRCUITO Km	DOBLE CIRCUITO Km
500	350	126
230	1593	975
138	791	1342

La capacidad máxima de transformación en S/E del SNT es de 9.614 MVA; y, como parte de las instalaciones en operación del SNT existen además algunas líneas de interconexión internacionales a nivel de 230 kV: **Con Colombia:** dos líneas de transmisión doble circuito de 426 km de longitud (los dos cuatro circuitos), que interconectan las subestaciones Pomasqui en el lado ecuatoriano con Jamondino en el lado colombiano, con una capacidad de hasta 500 MW. **Con Perú:** una línea de transmisión de 103 km de longitud, que interconecta a las subestaciones Machala en el Ecuador con Zorritos en el lado peruano, con una capacidad de hasta 100 MW.

### 2.4.1 Estructura del Sistema de 500 kV

El sistema de 500 kV está constituido por la siguiente infraestructura:

- S/E San Rafael, 500/230 kV, 450 MVA
- S/E El Inga, 500/230 kV, 3 x 600 MVA
- S/E Tisaleo, 500/230 kV, 1 x 450 MVA
- S/E Chorrillos, 500/230 kV, 2 x 450 MVA
- L/T Coca Codo Sinclair – SE San Rafael, 500 kV, 8 km, 2 circuitos independientes.
- L/T San Rafael – S/E El Inga, 500 kV, 119 Km, 2 circuitos independientes.
- L/T El Inga – S/E Tisaleo, 500 kV, 150 Km, circuito simple.
- L/T Tisaleo – S/E Chorrillos, 500 kV, 200 Km, circuito simple.

### 2.4.2 Recierre monofásico en líneas de Transmisión EHV

Las fallas en un sistema eléctrico deben ser despejadas de la manera más rápida posible, ya que, son peligrosas tanto para los equipos como para las personas.

La mayoría de las fallas en líneas de transmisión son de una fase a tierra, provocadas por la ruptura del aislamiento dieléctrico en el aire. Para despejar esas fallas, se requiere recuperar el

dieléctrico del aire. Para esto, la fase afectada de la línea es temporalmente aislada por la apertura de un interruptor en ambos extremos de la línea, seguido de un recierre después de un tiempo determinado.

En el momento de ocurrir una falla, el interruptor, recibe la orden del sistema de protección asociado de realizar la apertura de sus contactos, posteriormente, luego de un tiempo de retardo establecido, automáticamente el interruptor se encargará de cerrar esos contactos, a esto se le denomina recierre. Este recierre es útil en el sistema de transmisión, principalmente por las siguientes razones:

- Mínima interrupción del suministro de energía al consumidor.
- Mejora la confiabilidad del sistema eléctrico.
- Mantiene sincronismo y la estabilidad del sistema.
- El tiempo de retardo establecido permite la eliminación total de la falla.

## 2.4.2 Clasificación de recierres

Los recierres se clasifican de dos tipos, recierre tripolar y recierre monopolar.

- **Recierre Tripolar:** Se caracteriza por apertura y cierre simultaneo de los tres polos de los interruptores asociados a las tres fases respectivamente después de haber ocurrido cualquier falla.
- **Recierre Monopolar:** En este tipo de recierre la apertura y cierre de los polos solo se produce en la fase donde ocurrió la falla.

El éxito de una reconexión o recierre es proporcional a la rapidez con la cual la fase fallada es despejada, es decir, entre más rápido se produzca el despeje de la falla se tendrá una elevada probabilidad de éxito en la reconexión y en consecuencia el impacto sobre el sistema será menor. Según estudios realizados se ha podido determinar que se puede despear fallas en sistemas de 500 kV en tiempos entre 80 y 100 ms (Centro de Despacho Económico de Carga del Sistema Interconectado Central Chile, 2011)

## 3. Resultados y Discusiones

### 3.1 Estudio de recierres monofásicos en la L/T El San Rafael - El Inga 500 kV

La modelación detallada del sistema de 500 kV se implementa mediante el software para análisis de transitorios ATP-EMTP (Alternative Transients Program). La representación del sistema de transmisión de 230 kV se la realiza con la ayuda de un equivalente Thévenin de red conectado entre las subestaciones El Inga, Santa Rosa y Pomasqui. El modelo considera la existencia y extinción de corriente de arco secundario y posterior presencia de voltaje de recuperación durante el “tiempo muerto” previo al recierre. Cada unidad de generación de la central CCS ha sido modelada mediante modelos SM 58 y un modelo simplificado de regulador de voltaje IEEE ST1 cuyos datos han sido tomados de los ajuste reales (Centro de Operación de Transmisión, 2016).

### 3.2 Caso de estudio

Es necesario monitorear la tendencia del comportamiento de las variables del sistema de 500 kV a medida que la generación de la central CCS se incrementa en condiciones de operación desbalanceada. Para alcanzar este objetivo, se plantean 4 escenarios de producción en la

central CCS. En cada uno de estos escenarios se simula una falla monofásica con despeje únicamente de la fase fallada con la finalidad de monitorear y evaluar:

- Corrientes de secuencia negativa en generadores.
- Desbalance de voltajes en la red de 500 kV.
- Tiempo crítico para pérdida de sincronismo de las unidades de generación.
- Variación de potencia eléctrica en las unidades de CCS y diferencia angular previa a la sincronización de la fase abierta.

Escenario	Unidades	Generación total	Tiempo de Recierre	Voltaje en terminales de máquina	Máxima potencia por línea*	Máxima potencia en U1*	Salto de potencia activa en U1 durante sincronismo	Oscilación de potencia activa en línea de transmisión	Ángulo de voltaje en polos del interruptor previo al sincronismo	ΔV en polos del interruptor previo al sincronismo
		MW	ms	pu	MW	MW	ΔMW	MW	°	kV
1	U1, U2	200	500	1,06	131	60	28	90	24	15
2	U1, U2	200	700	1,06	131	60	24	76	22	20
3	U1, U2	340	700	1,09	220	96	40	140	39	36
4	U1, U2, U3	400	700	1,08	257	77	37	178	39	37
5**	U1, U2, U3, U4	720	500	1,13	450	96	76	473	90	80

\* Este valor es medido durante el "tiempo muerto", previo al recierre.

\*\* En este escenario la simulación predice que se mantiene la estabilidad debido al uso de barra infinita, en la realidad corresponde a una pérdida de estabilidad.

Tabla 4: Ajustes sugeridos sincronismo y recierre en líneas de 500 kV

Parámetro	Ajuste
$\Delta\Theta$ [grados]	25
$\Delta V$ [%]	10
$\Delta f$ [Hz]	0,1
Tiempo Muerto [mseg]	500
Habilitación Recierre	Fallas Monofásicas

## 4. Conclusiones y Recomendaciones

### 4.1 Conclusiones

1. Los ajustes sugeridos para sincronismo y recierre de la línea de transmisión El Inga – San Rafael 500 kV se indican en la Tabla 4.
2. De los resultados obtenidos al final de las simulaciones, existirían recierres no exitosos debido a falta de condiciones de sincronismo por: diferencia angular a partir de 200 MW, y diferencia de voltaje a partir de 300 MW de generación en CCS.

## **4.2 Recomendaciones**

- 1.** Habilitar los recierres monofásicos cuando se encuentren operando las dos líneas de transmisión entre la central CCS y la subestación El Inga, y deshabilitarlo cuando se encuentre operando una sola línea de transmisión entre estas dos instalaciones.
- 2.** Revisar la calibración de los estabilizadores de potencia (PSS, por sus siglas en inglés), de las unidades de la central CCS, con la finalidad de reducir el tiempo y magnitud de las oscilaciones de potencia.

## **Bibliografía**

- [1] Ministerio de **Electricidad y Energía Renovable**, Plan Maestro de Electricidad 2016 – 2025
- [2] ROSERO CARLOS A., Análisis del Arco Secundario en Recierres Monopulares en el Sistema de Transmisión de 500 kV, Tesis de Grado EPN, Abril 2014.
- [3] Centro de Operación de Transmisión, COT, Ecuador, Estudio Operativo de Recierre Monofásico en la Línea de Transmisión El Inga – San Rafael, Octubre 2016.
- [4] Centro de Despacho Económico de Carga del Sistema Interconectado Central Chile, Estudios de Parámetros Mínimos para la Reconexión Tripolar y Monopolar – Tiempo de Reconexión Automática y Estabilidad Transitoria, Chile, Octubre 2011.
- [5] GRAINGER John J. STEVENSON William D. Jr., Análisis de Sistemas de Potencia, México: Editorial McGraw Hill, 1996.

# COMPARACIÓN NUMÉRICA DEL MODELO DE TURBULENCIA $\kappa - \varepsilon$ EN FLUIDOS MULTIFÁSICOS

## NUMERICAL COMPARISON OF THE $\kappa - \varepsilon$ TURBULENCE MODEL IN MULTI-PHASE FLUIDS

Luis Fernando Toapanta Ramos<sup>1a\*</sup>, William Quitiaquez Sarzosa<sup>1b</sup>

<sup>a</sup>Universidad Politécnica Salesiana – Quito

<sup>a</sup>[ltoapanta@ups.edu.ec](mailto:ltoapanta@ups.edu.ec), <sup>b</sup>[wquitiaquez@ups.edu.ec](mailto:wquitiaquez@ups.edu.ec)

### Resumen:

La comparación de dos modelos habituales de turbulencia en la mecánica de fluidos computacional CFD es el tema central de esta investigación, los modelos de turbulencia  $\kappa - \varepsilon$  fueron analizados en un fluido multifásico, en la dinámica de fluidos computacional se encuentran varios de estos, como son: estándar, RNG y realizable. Los investigadores se encuentran en el dilema de que modelo de turbulencia se utilizará. En este trabajo se pretende evaluar los tres sub-modelos de turbulencia anteriormente citados, en el interior del gran modelo  $\kappa - \varepsilon$ , buscando cuál es más fiable y evaluar el cambio en las variables de proceso de fluidos multifásicos. Para alcanzar la finalidad deseada se utilizó un software comercial de CFD, Fluent de ANSYS, donde se estableció el mallado adecuado para este tipo de simulaciones, además de colocar condiciones de frontera al ingreso y salida del fluido, así como en las paredes de las tuberías. Se establece que la turbulencia causada por el sub-modelo estándar es mayor que los otros sub-modelos.

**Palabras claves:** Turbulencia; modelos; fluidos multifásicos; CFD.

### Abstract:

*Comparing two common turbulence models in computational fluid mechanics CFD is the central theme of this research, the  $\kappa - \varepsilon$  turbulence models were analyzed in a multiphase fluid, in computational fluid dynamics, we find several of these, such as are: standard, RNG and realizable. Researchers are in the dilemma of which turbulence model will be used. In this work, we intend to evaluate the three sub-models of turbulence previously mentioned, inside the large  $\kappa - \varepsilon$  model, looking for which is more reliable and to evaluate the change in the multiphase fluid process variables. To achieve the desired objective, commercial CFD software, Fluent of ANSYS, was used to establish the appropriate mesh for this type of simulations, as well as to place boundary conditions at the entrance and exit of the fluid as well as on the walls of the pipes. It is established that the turbulence caused by the standard sub-model is greater than the other sub-models.*

**Keywords:** Turbulence; models; multi-phase fluids; CFD.

## 1. Introducción

Los fluidos multifásicos se encuentran en muchas aplicaciones de la ingeniería, tales como: calderas, reactores nucleares, procesos químicos, petroquímicos y equipos de intercambio de calor entre muchos otros, así como en innumerables fenómenos naturales. La presencia de varias fases y la discontinuidad de las características en la interfase, dificultan a la física de este tipo de fluidos y comprenden un gran reto en predecir el comportamiento. Los fluidos multifásicos se diferencian por el estado de cada una de las fases (es decir, sólido, líquido o

gas, continuo o disperso), su complejidad inherente hace que su generalización en el modelado sea extremadamente complicada. Entre esta gran pluralidad de flujos, en el presente documento se encuentran los flujos de líquido-gas, y en particular el proceso de evaporación del agua.

A pesar de que se ha estudiado durante décadas las disciplinas de la hidráulica térmica, la dinámica de fluidos computacional (CFD) ha sido explotada en toda las ramas de la ingeniería y casi todos los sectores industriales (Colombo & Fairweather, 2015). En años más recientes la dinámica de fluidos computacional en fluidos multifásicos ha comenzado a emerger como una herramienta promisoria para la simulación y posterior análisis de este tipo de flujos, un problema que normalmente se resuelve está en el campo nuclear, sin olvidarse de los campos de ingeniería mecánica (Yadigaroglu, 2014).

Durante 1970-1990, se hicieron muchos intentos de modelar la turbulencia en flujos multifásicos. Los primeros trabajos se basaron en modificaciones fenomenológicas a los modelos de turbulencia para la fase líquida (Drew & Lahey, 1981; Michiyoshi & Serizawa, 1986; Sato, Sadatomi, & Sekoguchi, 1981).

La resolución directa de las ecuaciones de Navier-Stokes, o DNS (*Direct Numerical Simulation*) es la manera más precisa de predecir un flujo turbulento. Se resuelven todas las escalas espaciales y temporales del flujo turbulento sin promediados o aproximaciones; los únicos errores provienen de las discretizaciones numéricas. La idea es tan sencilla como difícil de llevar a la práctica por lo alto de su coste computacional (Tajadura, 2005). Los modelos de dos ecuaciones son históricamente los modelos de turbulencia más utilizados en los CFD industriales. Resuelven dos ecuaciones de transporte y modelan las tensiones de Reynolds utilizando el enfoque Viscosidad *Eddy*. El modelo estándar de ANSYS Fluent pertenece a esta clase de modelos y se ha convertido en el caballo de batalla de los cálculos prácticos de flujo de ingeniería en el tiempo desde que fue propuesta por Launder y Spalding (ANSYS, 2016).

El modelo  $\kappa - \varepsilon$  fue propuesto por (Launder & Spalding, 1974) en donde  $\kappa$  es la energía cinética turbulenta y  $\varepsilon$  es la velocidad de disipación. (Yakhot & Orszag, 1986) desarrollaron una mejora al modelo estándar, este es descrito como el modelo de turbulencia *RNG*  $\kappa - \varepsilon$ , en donde se añaden nuevos términos a las ecuaciones de transporte de energía cinética y disipación. El modelo más reciente fue desarrollado por (Shih, Liou, Shabbir, Yang, & Zhu, 1995) y llamado “ $\kappa - \varepsilon$  realizable” este utiliza nuevas ecuaciones de transporte para la viscosidad turbulenta y la tasa de disipación.

El modelo de turbulencia  $\kappa - \varepsilon$  se ha convertido en uno de los modelos más utilizados, ya que proporciona varias ventajas, tales como: economía, robustez y gran precisión para flujos turbulentos. A través de los años se han realizado mejoras al modelo estándar, estas aumentan su rendimiento, dos variantes están disponibles en Fluent: el modelo RNG (grupo de desnormalización) y el modelo realizable (Cable, 2009). Las tres variedades del modelo  $\kappa - \varepsilon$  se investigarán aquí.

## 2. Metodología

### 2.1. Descripción de la sección de análisis

En este trabajo se tomará como base de análisis, la sustancia multifásica, vapor de agua, que proviene generalmente desde una caldera pirotubular hasta un distribuidor de vapor, donde se derivan varias líneas de vapor de alta y media presión, condensados y gases no condensables. El análisis se enfocará en una de las líneas de presión regulada, en este se conocen algunas variables de proceso como son: la presión y temperatura. La sección para realizar la modelación numérica con el código comercial Fluent de ANSYS, es una ampliación subida de diámetro,

figura 1, en donde se verificará la turbulencia generada, además de la condensación que provoca la turbulencia con los tres modelos de  $\kappa - \varepsilon$ .

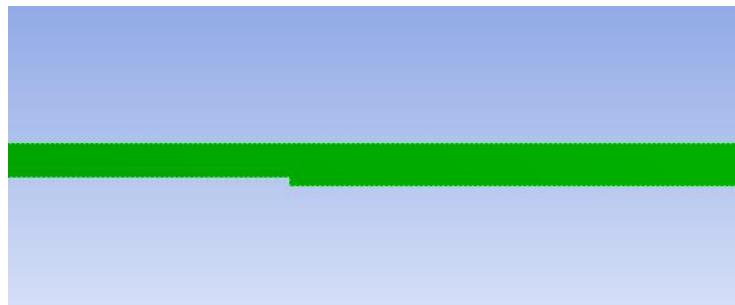


Figura 1: Sección de análisis.

La longitud total es de 1000 mm, con diámetro mayor y menor de 20 y 15 mm respectivamente, la reducción se localiza a 300 mm desde la parte izquierda.

### 2.1. Modelos de turbulencia

El simulador de *Computational Fluids Dynamics* (CFD), que se utiliza en esta investigación es el software ANSYS Fluent, como ya se comentó en la sección anterior, entre los modelos de turbulencia disponibles se encuentran el  $\kappa - \varepsilon$ ,  $\kappa - \omega$ , entre otros. Los modelos de dos ecuaciones se consideran los más exitosos para la ingeniería práctica y los que requieren menos recursos computacionales para simular flujos (Anderson, Newman, Whittfield, & Nielsen, 2001).

En la ecuación uno y dos se observan las ecuaciones de transporte para el modelo de turbulencia  $\kappa - \varepsilon$  estándar, las que corresponden a la energía cinética y velocidad de disipación respectivamente.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\kappa) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho\kappa u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j}\left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\kappa}\right)\frac{\partial\kappa}{\partial x_j}\right] + G_\kappa + G_b - \rho\varepsilon - Y_M + S_\kappa \quad (1)$$

y

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho\varepsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j}\left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon}\right)\frac{\partial\varepsilon}{\partial x_j}\right] + C_{1\varepsilon}\frac{\varepsilon}{\kappa}(G_\kappa + C_{3\varepsilon}G_b) - C_{2\varepsilon}\rho\frac{\varepsilon^2}{\kappa} + S_\varepsilon \quad (2)$$

En estas ecuaciones,  $G_\kappa$  representa la generación de energía cinética de turbulencia debido a los gradientes de velocidad,  $G_b$  es la generación de energía cinética de turbulencia debido a la flotabilidad,  $Y_M$  representa la contribución de la dilatación fluctuante en la turbulencia

comprimible a la tasa de disipación global,  $C_{1\kappa}, C_{2\kappa}, C_{3\kappa}$  son constantes.  $\sigma_\kappa$  y  $\sigma_\varepsilon$  son los números de Prandtl turbulentos para  $\kappa$  y  $\varepsilon$ , respectivamente.  $S_\kappa$  y  $S_\varepsilon$  son términos de origen definidos por el usuario.

La viscosidad turbulenta (o eddy), se calcula combinando  $\kappa$  y  $\varepsilon$  como sigue:

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{\kappa^2}{\kappa \varepsilon} \quad (3)$$

El modelo de turbulencia basado en RNG se deriva de las ecuaciones instantáneas de Navier-Stokes, usando una técnica matemática llamada "grupo de renormalización", estas se aprecian en las ecuaciones cuatro y cinco.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\kappa) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho\kappa u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j}\left[\left(\alpha_\kappa \mu_{eff}\right) \frac{\partial \kappa}{\partial x_j}\right] + G_\kappa + G_b - \rho\varepsilon - Y_M + S_\kappa \quad (4)$$

y

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho\varepsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j}\left[\left(\alpha_\varepsilon \mu_{eff}\right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j}\right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{\kappa} (G_\kappa + C_{3\varepsilon} G_b) - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{\kappa} - R_\varepsilon + S_\varepsilon \quad (5)$$

La viscosidad efectiva se puede modelar con la siguiente ecuación:

$$d\left(\frac{\rho^2 \kappa}{\sqrt{\varepsilon \mu}}\right) = 1.72 \frac{\hat{v}}{\sqrt{\hat{v}^3 - 1 + C_v}} d\hat{v} \quad (6)$$

donde:

$$\hat{v} = \frac{\mu_{eff}}{\mu} \quad (7)$$

El modelo  $\kappa - \varepsilon$  realizable difiere del modelo  $\kappa - \varepsilon$  estándar en dos formas importantes: el modelo  $\kappa - \varepsilon$  realizable contiene una formulación alternativa para la viscosidad turbulenta y una ecuación de transporte modificada para la tasa de disipación,  $\varepsilon$ , se ha derivado de una ecuación exacta para el transporte de la fluctuación de la vorticidad, estas se observan en las ecuaciones ocho y nueve.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\kappa) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho\kappa u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j}\left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\kappa}\right) \frac{\partial \kappa}{\partial x_j}\right] + G_\kappa + G_b - \rho\varepsilon - Y_M + S_\kappa \quad (8)$$

y

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho\varepsilon u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j}\left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon}\right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j}\right] + \rho C_1 S_\varepsilon - \rho C_2 \frac{\varepsilon^2}{\kappa + \sqrt{\nu\varepsilon}} + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{\kappa} (C_{3\varepsilon} G_b) + S_\varepsilon \quad (9)$$

### 3. Resultados y Discusión

A través del flujo multifásico evaluado con los modelos de turbulencia  $\kappa - \varepsilon$  que contiene Fuent de ANSYS en este trabajo se espera comparar, el efecto que provoca la turbulencia en un tubo de acero. El flujo con el que se trabajó fue vapor de agua en la fase primaria y agua líquida en la fase secundaria, debido al alto recurso computacional que se necesita para simular en 3D, es optó por realizar el modelamiento en dos dimensiones. En la figura 2 se observa el mallado para la selección de análisis.

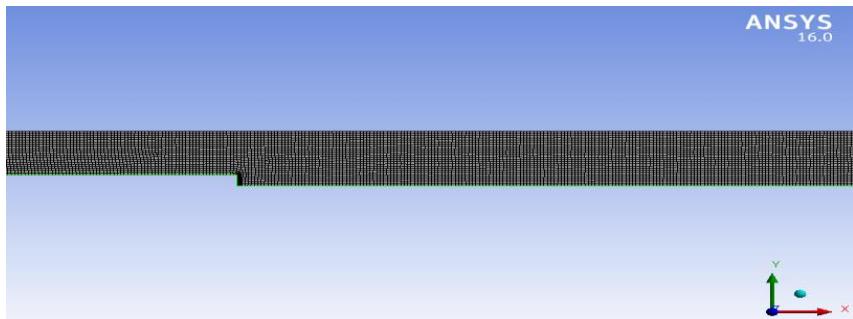
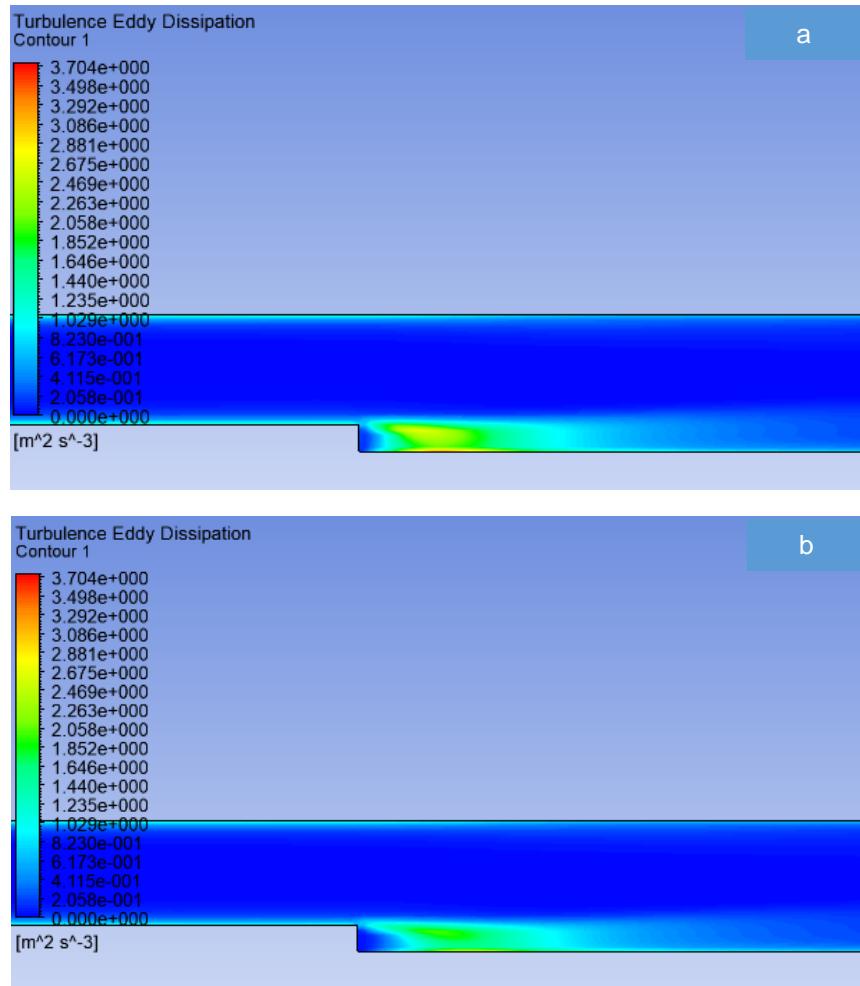


Figura 2: Mallado de la expansión súbita

En la figura 3 se visualiza la tasa de disipación de turbulencia, debido a los tres modelos de turbulencia  $\kappa - \varepsilon$ , la figura 3c, corresponde al modelo realizable, debido a las características internas de este modelo, la turbulencia incrementa en la ampliación súbita, por otro lado, las figuras 3a y 3b corresponden a los modelos estándar y RNG respectivamente, es estas figuras se aprecia que, la turbulencia tiene una pequeña variación con referencia a la figura 3c.



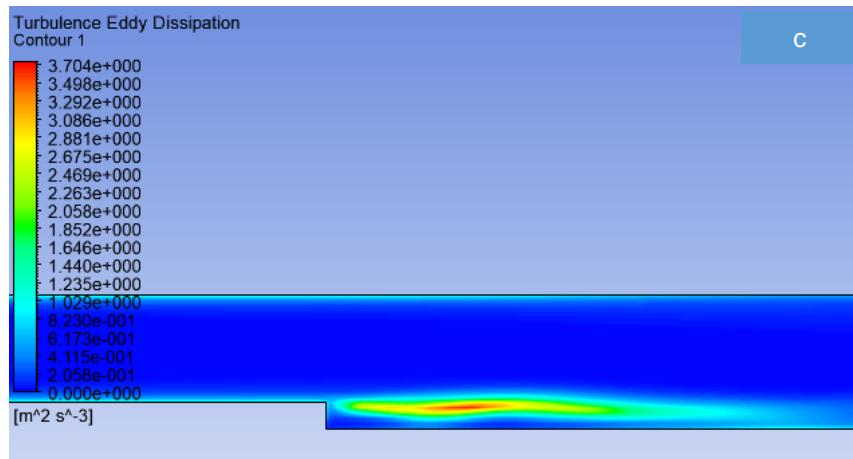


Figura 3: Tasa de disipación de turbulencia  $\varepsilon$ , a) Modelo estándar, b) Modelo RNG,  
c) Modelo realizable

En la figura 4, se visualiza la tasa de energía cinética de turbulencia, en el modelo  $\kappa - \varepsilon$ , la energía cinética al contrario que la disipación no varía mucho en cualquiera de los tres casos de análisis, lo que sugiere que es más crítico la tasa de disipación.

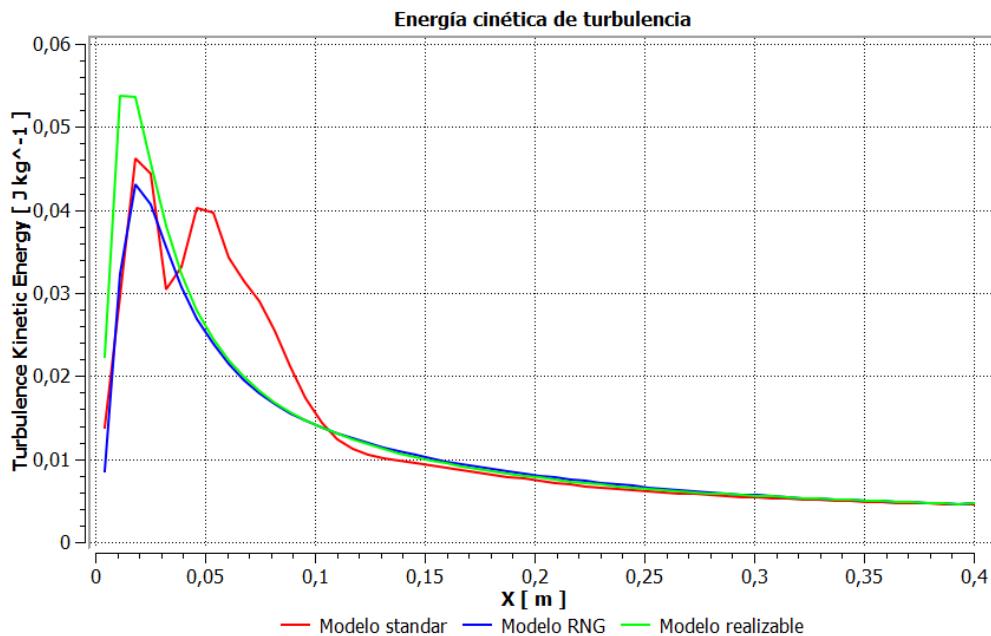


Figura 4: Energía cinética de turbulencia  $\kappa$  en la expansión súbita

#### 4. Conclusiones y Recomendaciones

La simulación con CFD ayuda a comprender el comportamiento interno de los fluidos, así como interpretar de mejor manera el cambio en las propiedades de transporte en los fluidos multifásicos.

Al comparar los modelos de turbulencia  $\kappa - \varepsilon$  que posee el software comercial Fluent de ANSYS, se verificó que el modelo realizable genera mejores resultados en la ampliación súbita.

La turbulencia siempre se encuentra presente en el interior de las tuberías, esta se intensifica cuando la tubería posee cambios de sección, sin embargo, el observar el comportamiento del fluido en el interior es muy complicado, por lo que el uso de un software ayuda a interpretar este comportamiento y de forma específica la turbulencia y la tasa de disipación.

Como recomendación, se sugiere que se realice un estudio similar utilizando el modelo de turbulencia  $\kappa - \omega$ , y verificar el comportamiento del fluido bajo este modelo.

## Bibliografía

1. Anderson, W. K., Newman, J. C., Whitfield, D. L., & Nielsen, E. J. (2001). Sensitivity Analysis for Navier-Stokes Equations on Unstructured Meshes Using Complex Variables. *AIAA Journal*, 39(1), 56–63. <https://doi.org/10.2514/2.1270>.
2. Cable, M. (2009). An Evaluation of Turbulence Models for the Numerical Study of Forced and Natural Convective Flow in Atria, (May), 1–136.
3. Colombo, M., & Fairweather, M. (2015). Multiphase turbulence in bubbly flows: RANS simulations. *International Journal of Multiphase Flow*, 77, 222–243. <https://doi.org/10.1016/j.ijmultiphaseflow.2015.09.003>
4. Drew, D. A., & Lahey, R. T. (1981). Phase Distribution Mechanisms in Turbulent Two-Phase Flow in Channels of Arbitrary Cross Section. *Journal of Fluids Engineering*, 103(4), 583. <https://doi.org/10.1115/1.3241773>
5. Launder, B. E., & Spalding, D. B. (1974). The numerical computation of turbulent flows. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 3, 269–289.
6. Michiyoshi, I., & Serizawa, A. (1986). Turbulence in two-phase bubbly flow. *Nuclear Engineering and Design*, 95, 253–267.
7. Sato, Y., Sadatomi, M., & Sekoguchi, K. (1981). Momentum and heat transfer in two-phase bubble flow-I. Theory. *International Journal of Multiphase Flow*, 7(2), 167–177. [https://doi.org/10.1016/0301-9322\(81\)90003-3](https://doi.org/10.1016/0301-9322(81)90003-3)
8. Shih, T.-H., Liou, W. W., Shabbir, A., Yang, Z., & Zhu, J. (1995). A new  $k-\epsilon$  eddy viscosity model for high reynolds number turbulent flows. *Computers & Fluids*, 24, 227–238.
9. Tajadura, R. B. (2005). Turbulencia. *Universidad de Oviedo, Área de Me*, 1–25.
10. Yadigaroglu, G. (2014). CMFD and the critical-heat-flux grand challenge in nuclear thermal-hydraulics – A letter to the Editor of this special issue. *International Journal of Multiphase Flow*, 67, 3–12.
11. Yakhot, V., & Orszag, S. A. (1986). Renormalization group analysis of turbulence. I. Basic theory. *Journal of Scientific Computing*, 1, 3–51.

# TEMA: SISTEMAS DE CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN

---

## ANÁLISIS DEL SISTEMA DE CONTROL DE EMISIONES DEL VEHÍCULO MAZDA 3, 1.6L POR MEDIO DEL EQUIPO BOSCH FSA 740

### VEHICLE EMISSION CONTROL SYSTEM ANALYSIS MAZDA 3, 1.6L THROUGH THE BOSCH FSA 740

***Marco V Noroña M<sup>1a</sup>, Edwin G Puente M<sup>1b</sup>***

<sup>1</sup>Universidad Internacional del Ecuador, Guayaquil – Ecuador

<sup>a</sup>manoroname@uide.edu.ec, <sup>b</sup>epuente@uide.edu.ec

#### **Resumen:**

Este artículo presenta el análisis de emisiones que posee el vehículo Mazda 3. El objetivo es dar a conocer las consecuencias que conlleva el anular o tener en mal estado los componentes de este sistema. Dentro del estudio que se va a tratar se incluye una descripción en general de la contaminación vehicular y los gases que son emitidos por los vehículos, como el monóxido de carbono, dióxido de carbono, óxidos nitrosos vapor de agua, etc. Además, se realiza un estado del arte de la clasificación de los elementos que conforman el sistema de control de emisiones en general, como los catalizadores, entre otros. Se habla sobre las normas aplicadas en la revisión técnica vehicular que se encuentra actualmente en Ecuador, de tal manera que con estos parámetros se procederá a realizar las comprobaciones y obtención de datos, localización de los componentes del sistema y los valores obtenidos con el analizador de gases en diferentes condiciones. Finalmente se realizará el análisis de los valores obtenidos, comparando los datos con parámetros establecidos por fábrica y SGS, datos numéricos y gráficos. La función que cumplen los elementos del sistema de control de emisiones dentro del vehículo es fundamental no solo para reducir el nivel contaminación, sino también para el rendimiento óptimo del motor, el adulterar o simplemente anular cualquier tipo de componente afectará directamente al desempeño del vehículo. En el análisis los valores arrojados de los diferentes gases contaminantes al momento de manipular dichos componentes, si bien es cierto en algunos casos los parámetros de cierto gas se mantienen muy por debajo de los parámetros, pero se elevan en otro gas. Esto quiere decir el trabajo en conjunto que existe entre los componentes para mantener un equilibrio de la emisión de los gases.

**Palabras Clave:** Sistema de control; emisiones; sensores; actuadores; contaminación; analizador.

#### **Abstract:**

This article presents the emissions analysis of the Mazda 3 vehicle. The objective is to make known the consequences of canceling or having in bad condition the components of this system. The study to be treated includes a general description of vehicle pollution and the gases emitted by vehicles, such as carbon monoxide, carbon dioxide, nitrous oxides, water vapor, etc. In addition, a state of the art of classification of the elements that make up the emission control system in general, such as catalysts, among others, is carried out. There is talk about the standards applied in the vehicle technical review currently in Ecuador, in such a way that with these parameters will proceed to carry out the checks and data collection, location of the system components and the values obtained with the analyzer gases in

different conditions. Finally, the analysis of the values obtained will be performed, comparing the data with parameters established by the factory and SGS, numerical data and graphs. The function of the elements of the emission control system inside the vehicle is fundamental not only to reduce the contamination level, but also for the optimum performance of the engine, the adulteration or simply cancel any type of component will directly affect the performance of the vehicle. In the analysis the values of the different pollutant gases at the moment of manipulating these components, although it is true in some cases the parameters of a certain gas are kept well below the parameters, but they rise in another gas. This means the joint work that exists between the components to maintain a balance of the emission of the gases.

**Keywords:** Control system; emissions; sensors; actuators; contamination; analyzer

## 1. Introducción

Esta investigación se trata sobre el control de emisiones de los gases emitidos por los vehículos que son perjudiciales para los seres humanos y el medio ambiente. Actualmente todos los seres vivos que nos rodean se ven afectados por la contaminación, principalmente por la vehicular. Para poder disminuir la contaminación vehicular se ha implementado en los mismos un sistema de control de emisiones de gases que con el pasar de los años ha ido evolucionando e implementándose en la mayoría de los vehículos con el propósito de controlar los niveles de gases contaminantes y evitar perjudicar más a nuestro planeta.

El problema para investigar se da en las posibles emisiones contaminantes del vehículo Mazda 3, 1.6 L por mal funcionamiento de los dispositivos de control. También se podrá tener daño de ciertos componentes del sistema de control de emisiones. Las emisiones de gases de los vehículos en la actualidad son una de las principales causas de la contaminación hacia el medio ambiente. Uno de los principales factores que causan la contaminación de los vehículos es el mal funcionamiento de ciertos componentes que ayudan al control de emisiones de gases. Por lo que al tener componentes defectuosos se provoca una lectura errónea de ciertos parámetros afectando así al control de emisiones de gases del vehículo. Otra principal causa es la suspensión de ciertos componentes del sistema de control de emisiones; como puede ser el catalizador. Debido al elevado costo que representa la adquisición de un catalizador nuevo. Ciertos usuarios prefieren suspenderlo o retirarlo y dejan una vía libre para los gases de escape, lo cual eleva el porcentaje de contaminación del vehículo.

La hipótesis que se plantea es la siguiente: ¿En base a un estudio, análisis y enfoque en los beneficios del sistema de control de emisiones del vehículo Mazda 3, 1.6 L? es posible controlar y disminuir los niveles de contaminación.

## **2. Materiales y métodos**

### **2.1 Contaminación Vehicular**

Los vehículos representan un porcentaje bastante elevado dentro las causas directas de la contaminación hacia el medio ambiente. Las emisiones procedentes de los gases de escape emitidos por los vehículos contienen gases tóxicos y no tóxicos. La gasolina es el principal combustible en los motores de combustión interna. Es un hidrocarburo complejo compuesto de varios elementos, 86% de carbono y 14% de hidrógeno; incluyendo pequeñas cantidades de azufre. Si la combustión es perfecta es decir una mezcla estequiométrica aire/combustible. Solo produciría dióxido de carbono, agua y nitrógeno que son gases no tóxicos.

Para llegar a tener una combustión perfecta entran en juego varios factores importantes, como la presión, temperatura, entre otros factores, producto de esto el vehículo también produce gases tóxicos que son altamente perjudiciales para la salud y el medio ambiente. Estos gases tóxicos son el monóxido de carbono, óxido de nitrógeno e hidrocarburos.

### **2.2 Sistema De Control De Emisiones En Un Automóvil**

En la actualidad existen varias formas o métodos por los cuales el vehículo logra controlar y reducir el nivel de emisión de gases contaminantes que afectan tanto al medio ambiente como a la salud de las personas, a continuación, el detalle de cuales son:

- 1) Sistema de control de emisiones evaporativas.
- 2) Sistema de recirculación de los gases de escape (EGR).
- 3) Sistema de ventilación positiva del cárter (PCV).
- 4) Convertidor catalítico.

Estos sistemas aparte de ayudar con la disminución de la contaminación también tienen la finalidad de alcanzar los límites de emisiones permitidos según las normas de cada país.

Tabla 1. Sistema de Control de Emisión

Fuente: Manual, Sistema de Control de Emisiones, Mazda.

Abreviación	Nombre del Sistema de Control de Emisiones	Gas para el cual fue efectuado el dispositivo			Condición Principal de Funcionamiento
		HC	CO	NOx	
PCV	Ventilación Positiva del carter	x			Motor encendido
EVAP	Control de emisión de combustible evaporado	x			Motor apagado
EGR	Recirculación de gases de escape			x	Motor encendido caliente
<b>Convertidores Catalíticos</b>					
OC	Catalizador de oxidación	x	x		Motor encendido caliente
TWC	Catalizador de 3 vías	x	x	x	Motor encendido caliente
TWC-OC	Catalizador de 3 vías y oxidación	x	x	x	Motor encendido caliente

### 2.3 Normativas De Emisiones Contaminantes

Las normativas son un conjunto de leyes o reglas a seguir que deben ser aplicadas para ciertos parámetros, en este caso los parámetros son para los niveles de contaminación vehicular permitidos en la ciudad de Guayaquil.

Tabla 2. Límites máximos de emisiones permitidas hidrocarburos no combustionados SGS  
(ralentí y media carga)

Fuente: Instructivo de Revisión Técnica Vehicular, ATM. Pág. 182-183.

AÑO	UMBRAL	UNIDAD
$X \geq 2000$	$0 \leq X < 250$	(ppm)
$1990 \leq X \leq 1999$	$0 \leq X < 700$	(ppm)
$X \leq 1989$	$0 \leq X < 1200$	(ppm)
<b>MONÓXIDO DE CARBONO (CO)</b>		
AÑO	UMBRAL	UNIDAD
$X \geq 2000$	$0 \leq X < 1.2$	%
$1990 \leq X \leq 1999$	$0 \leq X < 4.5$	%
$X \leq 1989$	$0 \leq X < 6$	%
<b>OXÍGENO (O<sub>2</sub>)</b>		
AÑO	UMBRAL	UNIDAD
$X \geq 2000$	$0 \leq X < 3$	%
$1990 \leq X \leq 1999$	$0 \leq X < 3$	%
$X \leq 1989$	$0 \leq X < 3$	%

Los parámetros de medición en ralentí y media carga (2500rpm) son los mismos valores, solo aplican para los vehículos livianos a excepción de las motocicletas, para ellas y demás vehículos los parámetros varían.

## 2.5 Instalación Del Analizador De Gases

El analizador de gases de escape es un equipo que mide y analiza cada uno de los gases contaminantes que son evacuados por el vehículo, dependiendo del diseño o tecnología que este use, puede medir hasta 5 gases. Está equipado de filtros, una sonda, pantalla digital, adicional a los gases mide también los rpm, temperatura de aceite.

## 2.6 Localización De Componentes Del Sistema De Control De Emisiones En El Mazda 3

Para empezar a realizar las pruebas en el vehículo Mazda 3 es necesario conocer en qué parte están ubicados los componentes que van a ser anulados y posteriormente evaluados sus resultados. Al tener una certeza se recurre al manual técnico de taller del vehículo, en él se encuentra la información necesaria de la ubicación, funcionamiento, remoción e instalación de los componentes del sistema de control de emisiones que este vehículo posee.

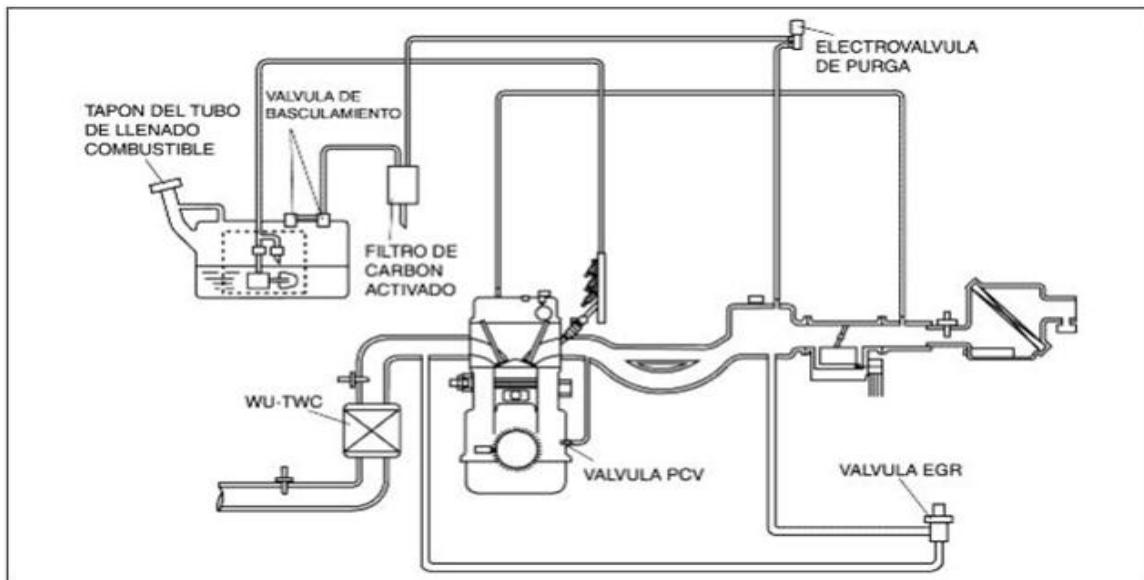


Figura 3. Esquema sistema de control de emisiones

## 3. Resultados y Discusión

Una vez ubicados los componentes del sistema de control de emisiones del Mazda 3, se comienza a realizar las pruebas con el analizador de gases. Se realizan tres mediciones diferentes, en ralentí, media carga (2500rpm) y plena carga (4000 rpm). Estas mediciones

son realizadas con el vehículo estándar y anulando los componentes del sistema de control de emisiones.

### **3.1 Reglaje de emisiones de fábrica del vehículo Mazda 3**

Los valores obtenidos de las diferentes mediciones con el vehículo estándar y anulando los componentes de sistema de control de emisiones van a ser comparados con los valores de fábrica del vehículo, estos pueden apreciarse en la tabla 3.

Tabla 3. Valores de fábrica, Mazda 3

CONDICIÓN	RALENTÍ	UNIDAD
<b>TEMP</b>	80	°C
<b>RPM</b>	750±50	1/MIN
<b>CO</b>	0,5	%VOL.
<b>CO2</b>	14,5 -16	%VOL.
<b>HC</b>	100	PPMVOL
<b>O2</b>	0,1 - 0,5	%VOL.

### **3.2 Toma de datos en condiciones normales**

Se realiza la primera prueba con el vehículo estándar, sin alterar ni anular componentes o dispositivos del vehículo, es decir con el correcto funcionamiento de la PCV, el catalizador y los sensores de oxígeno. Esta prueba es una de las más importantes, a partir de aquí comienza la obtención de datos para posteriormente ser analizados y comparados. En la tabla 4 se obtienen los siguientes valores que fueron tomados mediante el analizador de gases de escape.

Tabla 4. Valores obtenidos con el vehículo estándar

	<b>RALENT Í</b>	<b>A 2500 rpm</b>	<b>A 4000 rpm</b>	<b>UNIDAD</b>
<b>TEMP</b>	93	95	97	°C
<b>RPM</b>	780	2610	4120	1/MIN
<b>CO</b>	0,32	0,53	0,09	%VOL.
<b>CO2</b>	14,5	13,8	14,5	%VOL.
<b>HC</b>	185	183	116	PPMVOL
<b>O2</b>	1,43	1,06	1,35	%VOL.
<b>LAMBDA</b>	1,05	1,028	1,057	

Tal como se muestra en la tabla 4 se analiza que los valores varían según las revoluciones del vehículo. Con estos datos se analizará los parámetros en base a las normas de regulación que posee la SGS.

### 3.3 Toma de datos eliminando cada componente del sistema de emisiones

Para realizar la toma de datos se eliminarán los siguientes componentes; con el fin de obtener los resultados de posibles fallas.

1. PCV
2. Sensores de oxígeno

#### 3.3.1 Vehículo sin válvula PCV

Se anula la PCV por una tubería de vacío que va conectada directamente a la válvula, esta queda fuera de servicio y se procede a realizar nuevamente el análisis de los gases de escape, se repiten las tres mediciones. En la tabla 5 se muestran los valores obtenidos.

Tabla 5. Valores obtenidos con el vehículo sin válvula PCV

	<b>RALENTÍ</b>	<b>a 2500 rpm</b>	<b>a 4000 rpm</b>	<b>UNIDAD</b>
<b>TEMP</b>	91	94	94	°C
<b>RPM</b>	790	2810	4050	1/MIN
<b>CO</b>	0,06	0,03	0,62	%VOL.
<b>CO2</b>	7,9	7,8	7	%VOL.
<b>HC</b>	679	333	215	PPMVOL
<b>O2</b>	10,42	10,13	11,48	%VOL.
<b>LAMBDA</b>	1,823	1,86	1,989	

En la tabla 5 se observa que los valores varían, en especial en el incremento de HC. Esto se debe a que la PCV trabaja directamente con los gases que se generan dentro del cárter y los envía nuevamente al múltiple de admisión para sean combustionados.

### 3.3.2. Vehículo sin sensores de oxígeno

Se procede a desconectar los sockets de los sensores de oxígeno, al hacer esto la ECU no recibe señales de estos sensores y quedan anulados del sistema, se realizan las mediciones en tres condiciones ya mencionadas. Los sensores de oxígeno ayudan a detectar la cantidad de O<sub>2</sub> que sale por el escape y le indica a la PCM si la mezcla está rica (menos oxígeno) o pobre (más oxígeno). En la tabla 6 se observa los valores obtenidos.

Tabla 6. Valores obtenidos con el vehículo sin sensores O2

SIN SENORES DE OXIGENO				
	RALENTÍ	a 2500 rpm	a 4000 rpm	
<b>TEMP</b>	92	93	93	°C
<b>RPM</b>	780	2760	4080	1/MIN
<b>CO</b>	1,79	0,01	0,09	%VOL.
<b>CO2</b>	13,7	13,9	13,8	%VOL.
<b>HC</b>	221	80	99	PPMVOL
<b>O2</b>	0,94	2,12	2,08	%VOL.
<b>LAMBDA</b>	0,983	1,103	1,098	

En la tabla 6 se ve el aumento de oxígeno debido a que la computadora del vehículo detecta una lectura errónea por parte de los sensores anulados y trata de equilibrar la mezcla aire-combustible.

### 3.4 Análisis de todos los gases - parámetros SGS – Ralentí

En la tabla 7 se tiene la recopilación de los valores obtenidos de la medición en ralentí de los gases de escape, con el vehículo estándar y anulando los componentes.

El vehículo estándar cumple con los parámetros definidos por la SGS, como se aprecia en la figura 4 las barras del vehículo en modo estándar se encuentran por debajo del límite permitido. Al momento de anular los componentes del sistema de control de emisiones que posee el vehículo se empieza a tener una variación considerable de los valores, ocasionando estar fuera de los parámetros permitidos. Hay que tener muy en cuenta el estado de estos componentes previos a una revisión de gases ya que el mal funcionamiento o anulación de los mismos provoca un incremento de los gases que emite el vehículo.

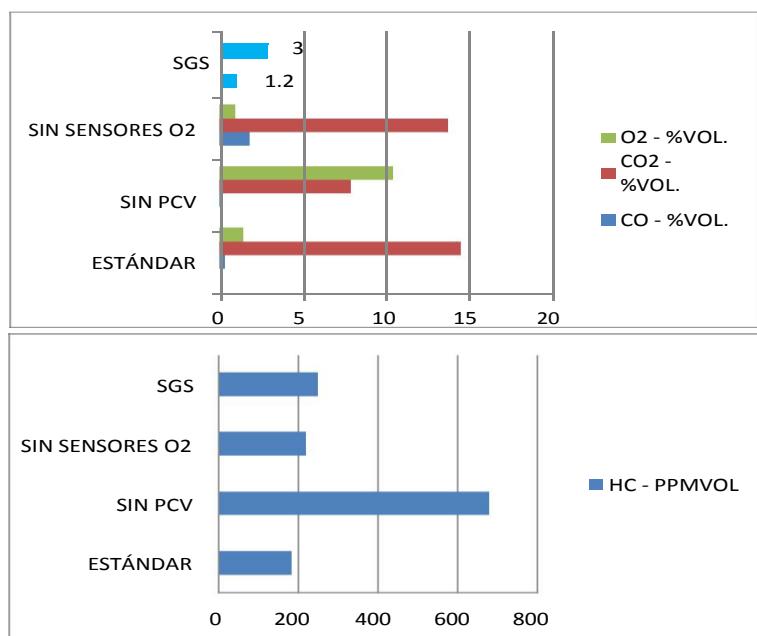


Figura 4. Análisis según SGS – Ralentí

Tabla 7. Comparativa según SGS – Ralentí

GASES	CO - %VOL.	CO <sub>2</sub> - %VOL.	O <sub>2</sub> - %VOL.	HC - PPMVOL
ESTÁNDAR	0,32	14,5	1,43	185
SIN PCV	0,06	7,9	10,42	679
SIN SENORES O2	1,79	13,7	0,94	221
SGS	1,2	±	≤ 3	≤ 250

### 3.5 Análisis De Todos Los Gases - Parámetros SGS – Media Carga

A media carga, 2500 rpm aproximadamente nuevamente el vehículo en modo estándar sí cumple con los parámetros de la SGS establecidos al igual que en ralentí. En la tabla 8 y figura 5 se visualiza que anulando los componentes el vehículo queda fuera de parámetros con los diferentes gases que se analizan al momento de la revisión.

La función que cumplen los elementos del sistema de control de emisiones dentro del vehículo es fundamental no solo para reducir el nivel contaminación, sino también para el rendimiento óptimo del motor, el adulterar o simplemente anular cualquier tipo de componente afectará directamente al desempeño del vehículo. Se puede observar claramente los valores arrojados de los diferentes gases contaminantes al momento de manipular dichos componentes, si bien es cierto en algunos casos los parámetros de cierto gas se mantienen muy por debajo de los parámetros, pero se elevan en otro gas. Esto quiere decir el trabajo en conjunto que existe entre los componentes para mantener un equilibrio de la emisión de los gases.

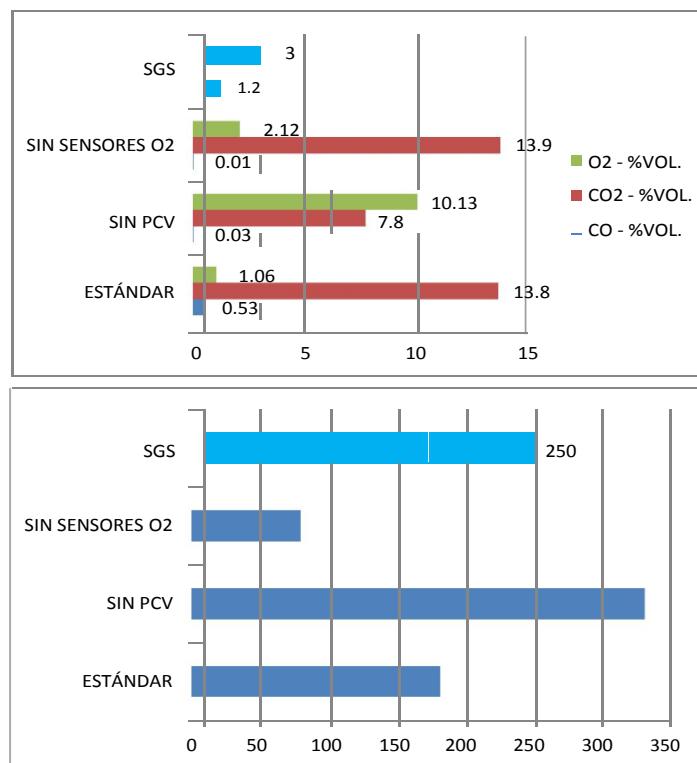


Figura 5. Análisis Según SGS – Media Carga

Tabla 8. Tabla comparativa según SGS – Media carga

GASES	CO - %VOL.	CO2 - %VOL.	O2 - %VOL.	HC - PPMVOL
ESTÁNDAR	0,53	13,8	1,06	183
SIN PCV	0,03	7,8	10,13	333
SIN SENSORES O2	0,01	13,9	2,12	80
SGS	1,2	±	3	250

#### 4. Conclusiones y recomendaciones

- ✓ Mediante el equipo se pudo realizar las pruebas y obtener los valores de la emisión de gases con el vehículo estándar y anulando sus componentes del sistema de control de emisiones.
- ✓ Se comparó los resultados obtenidos con el equipo y se realizó el análisis individual de cada gas, usando como referencia los parámetros emitidos por fábrica y SGS. Aquí se verifica la importancia y eficacia de los diferentes elementos del sistema que este vehículo posee al momento de controlar y disminuir la emisión de gases contaminantes.
- ✓ Se evaluaron las facilidades o prestaciones que cada elemento cumple dentro del sistema, el componente que más afecta al momento de anular aparte de los catalizadores es la válvula PCV, al no cumplir sus funciones se elevan considerablemente los niveles de contaminación hacia el medio ambiente lo que ocasiona que el vehículo no cumpla con los parámetros permitidos por SGS.
- ✓ Se recomienda antes de realizar un análisis o investigación sobre un sistema conocer cada elemento que lo conforma, funcionamiento y demás prestaciones que tenga y contar principalmente con el manual de taller y demás elementos que sirvan como guía para obtener mejores resultados.
- ✓ Se recomienda tener en óptimas condiciones los componentes del sistema de control de emisiones ya que desempeñan un rol fundamental dentro del sistema, así mismo realizar mantenimientos preventivos o correctivos según lo amerite para lograr mantenerse dentro de los parámetros establecidos.

## Bibliografía

1. Bosch, R. (2012). *Gestión del motor de gasolina*. Reverté S.A.
2. Bosch, R. (sf). *Manual de la técnica del automóvil, 4ta Edición*. Reverté S.A.
3. Bosch, R. (sf). *Técnica de los gases de escape*. Reverté S.A.
4. Bosch, S. (2014). Manual Operaciones FSA 740.
5. Callejo, D. G. (2014). *Mantenimiento mecánico preventivo del vehículo*. España: Paraninfo.
6. Company, F. M. (09 de Enero de 2015). Ford Service Manual. North América.
7. Hermógenes, G. (s.f.). *Manual del Automóvil*. España.
8. Julián Ferrer, Gema Checa. (s.f.). *Mantenimiento Mecánico Preventivo del vehículo*. Editex.
9. Mazda, S. (sf). *Manual de Taller*.
10. Miguel, C. (s.f.). *Manual del Automóvil*. España: Ceac.
11. Motortester, B. (2014). *Manual Bosch FSA 740*.
12. Normalización, I. E. (s.f.). *Normas INEN*. Obtenido de <https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.2203.2000.pdf>
13. Pardiñas, J. (2013). *Sistemas Auxiliares del Motor*. Editex.
14. Puerto Martín A, J.A García Rodríguez. (s.f). *La Contaminación Atmosférica*. Salamanca.

# **GESTIÓN DE INFORMACIÓN DE RED EN TIEMPO REAL MEDIANTE FLOODLIGHT EN CONVERGENCIA CON SDN**

## ***REAL-TIME NETWORK INFORMATION MANAGEMENT USING FLOODLIGHT IN CONVERGENCE WITH SDN***

**Félix Mauricio Murillo Calderón<sup>1a\*</sup>**

<sup>1</sup>Universidad Técnica de Cotopaxi, Ecuador

<sup>a\*</sup>[felix.murillo@utc.edu.ec](mailto:felix.murillo@utc.edu.ec)

### **Resumen:**

Este documento presenta el desarrollo del prototipo de red definida por software SDN utilizando para la gestión de información recursos de estándar abierto, en el que se ha desarrollado aplicaciones con controladores OpenFlow que se adhieren a cualquier tipo de infraestructura de red, buscando generar una mayor eficiencia y optimización de la capacidad de la red en el servicio que se brinda a los usuarios; para lo cual se ha utilizado los modelos ágiles XP en la que su principal herramienta es la disponibilidad de cambios a medida que sea necesario. El aplicativo de red SDN debe monitorear el tráfico de información dependiendo de las políticas establecidas por el administrador de red; adicionalmente la aplicación del prototipo de red presentó comportamientos con niveles de satisfacción aceptables en las pruebas iniciales de enrutamiento, monitoreo y de la reducción del número de paquetes que debe generar el servidor de manera que exista un flujo de información sin interrupciones. Esto permite que la infraestructura de red utilizando el protocolo OpenFlow en base a Floodlight se convierta en una red directamente programable, ágil, escalable, de gestión centralizada y con programación configurada mediante la utilización de Mininet para la creación de redes virtuales reales, lo que permite a los administradores optimizar recursos y mantener la simplicidad en los diseños, convirtiéndolas así en redes flexibles, seguras y eficientes

**Palabras clave:** Prototipo; SDN; OpenFlow; Mininet; Floodlight.

### **Abstract:**

This document presents the development of a software defined networking (SDN) prototype to manage open standards for which OpenFlow controller applications were developed. These applications will support any type of networking infrastructure in order to achieve a higher efficiency while optimizing the capacity of the network and the services offered to end users. To accomplish this, the XP extreme programming agile model was used, having as its main tool its ability to make changes as necessary. The SDN networking application not only monitored network traffic based on the policies set by the network administrator, but it also demonstrated how the use of a SDN networking prototype showed network behaviors with acceptable levels of satisfaction in the initial tests of routing, monitoring and reducing the number of packets generated by the server in order to conserve the flow of information without any interruption. All this allowed the networking elements to use the OpenFlow protocol based

on FloodLight to become a direct programmable network. The network infrastructure hence became a network that is agile, scalable, centrally managed and configured using Mininet to create virtual reality networks, allowing the network administrator to optimize resources, maintain simplicity in design while building a flexible, secure and more efficient service.

**Keywords:** Prototype; SDN; OpenFlow; Mininet; Floodlight.

## 1. Introducción

La información en la revolución digital ha tenido cambios esenciales en las maneras en la que el mundo aprende y se comunica desde los grandes proyectos de negocios como lo indica la UTI, hasta las simples comunicaciones entre dispositivos y con el flujo de información se ha convertido en la parte fundamental de la Industria 4.0 (Wahlster, 2016), en la que los datos deben estar estrictamente seguros para ser enviados por el medio de transporte. El avance actual en relación con las infraestructuras de redes no tradicionales en el desarrollo ha innovado su concepción de buscar nuevos modelos de administración con la utilización sistemas eficientes o reglas de conexiones; esto ha promovido a la búsqueda de una arquitectura flexible que contribuya a mejorar la gestión de la misma con la posibilidad de utilizar el uso de SDN que tiene como característica principal la maniobrabilidad y ajuste de las reglas de conexión. Las arquitecturas tradicionales han sido construidas con un largo número de dispositivos de red tales como: switches, routers, firewalls, los cuales utilizan muchos protocolos complejos, los cuales son implementados y concentrados en estos equipos. Esto hace que los administradores de red adquieran la responsabilidad en la configuración para brindar políticas con respuesta inmediata ante eventos de red y aplicaciones incluso en el que se puedan procesar datos y manejar el tráfico de información con sólo recibir órdenes desde un controlador externo; funcionando como un Switch lógico. En la actualidad a nivel de gestión de los administradores de red, es un desarrollo excepcional ya que se puede programar esta nueva infraestructura de red sin necesidad de aplicar las configuraciones de los dispositivos a mano y en cada uno de los mismos que conforman la red; primordialmente es de suma importancia el mantener la seguridad, flexibilidad, confiabilidad, disponibilidad de la información corporativa. Económicamente el presente trabajo se justifica ya que al tener un control centralizado es posible alterar, en tiempo real, el proceder de la red y a su vez desplegar servicios y aplicaciones nuevas en cuestión de horas o días en vez de meses lo que genera gastos innecesarios. Adicionalmente esto puede generar una espera de que los dispositivos nuevos incluyan aplicaciones necesarias. Los servicios se volverán comunes con un control granular de la red en el enrutamiento, multicast, seguridad de información, control de acceso, administración de Ancho de banda, y QoS, etc; consiguiendo mejorar la experiencia del usuario, a su vez ayudará a incrementar la velocidad de innovación con la mejora de la escalabilidad, flexibilidad, administración y agilidad de la red. El prototipo de red definida por software proveerá una mayor flexibilidad, programable, libre de proveedores, costos eficientes y una arquitectura innovadora de red, y obtener una eficiencia energética agradable a los costos de la Empresa, SDN utiliza el protocolo OpenFlow como la interface abierta para el control remoto de los dispositivos de red en la que se separa los planos de control de los planos de datos, así como permitirá utilizar OpenFlow con el Project FloodLight para tener un control inmediato del estado actual de las topologías de la red.(Murillo, 2016)

## 2. Metodología

Los avances actuales en relación a las infraestructuras de redes no tradicionales en el desarrollo ha innovado la concepción de encontrar nuevos tipos de modelos de administración y gestión con la utilización de sistemas eficientes o reglas de conexiones flexibles; esto ha

promovido a la búsqueda de una arquitectura flexible de manejo altamente técnico que contribuya a mejorar la gestión de la misma con la posibilidad de utilizar y sentar un precedente en el uso de SDN que tiene como característica principal la maniobrabilidad y ajuste de las reglas de conexión.

El desarrollo de este proyecto es de suma importancia ya que no se detecta la creación de un diseño SDN en la infraestructura de red los mismos que se han construido con un largo número de dispositivos de red tales como: switches, routers, firewalls, utilizando muchos protocolos complejos, los cuales son implementados, concentrados en estos equipos. Esto hace que los administradores de red adquieran la responsabilidad en la configuración para brindar políticas con respuesta inmediata ante eventos de red y aplicaciones incluso en el que se puedan procesar datos y manejar el tráfico de información con sólo recibir órdenes desde un controlador externo; funcionando como un Switch lógico. En la actualidad a nivel de gestión de los administradores de red, es un desarrollo excepcional ya que se puede programar esta nueva infraestructura de red sin necesidad de aplicar las configuraciones de los dispositivos a mano y en cada uno de los mismos que conforman la red de datos; primordialmente es de suma importancia el mantener la seguridad, flexibilidad, confiabilidad, disponibilidad de la información corporativa.

Económicamente el presente trabajo se justifica ya que al tener un control centralizado es posible alterar, en tiempo real, el proceder de la red y a su vez desplegar servicios y aplicaciones nuevas en cuestión de horas o días en vez de meses lo que genera gastos innecesarios. Adicionalmente esto puede generar una espera de que los dispositivos nuevos incluyan aplicaciones necesarias. Los servicios se volverán comunes con un control granular de la red en el enrutamiento, multicast, seguridad de información, control de acceso, administración de Ancho de banda, y QoS, etc; consiguiendo mejorar la experiencia del usuario, a su vez ayudará a incrementar la velocidad de innovación con la mejora de la escalabilidad, flexibilidad, administración y agilidad de la red.

En el desarrollo de la investigación se logrará implementar una red definida por software la cual proveerá una mayor flexibilidad, programable, libre de proveedores, costos eficientes y una arquitectura innovadora de red, y obtener una eficiencia energética agradable a los costos de la Empresa, la implementación de este prototipo permitirá construir laboratorios SDN usando OpenFlow como una interface abierta para el control remoto de los dispositivos de red separando los planos de control de los planos de datos, así como permitirá utilizar OpenFlow para cloud computing Networking.

La red tradicional en cuanto a la infraestructura y QoS<sup>2</sup> de prestación de servicios ha generado actualmente la necesidad de buscar arquitecturas puntuales que relacionen la flexibilidad como la parte más fundamental en la innovación hacia tendencias marcadas que incluyan menos errores de administración y gestión, es así que basándose en experiencia previa la selección de la metodología ágil XP (Echeverry & Delgado Carmona, 2007), para el desarrollo del prototipo de red el proceso comienza con interacción con el usuario próximo a la arquitectura, reuniones previas de trabajo e indicación previa de lo que puede desarrollarse todo esto en la etapa de planificación. Seguidamente, se plantea el diseño de requerimientos en la misma no es posible verificar errores específicos.

La tercera parte del proceso de la metodología ágil XP que se denomina codificación e integra secuencialmente los requerimientos para formar la base necesaria del prototipo, el trabajo entre el desarrollador y el administrador de red se convierte en paralelo y se crean las pruebas necesarias de conexión entre los dispositivos. En la etapa final del desarrollo se crea una clasificación de pruebas analizando coherentemente la implementación con las pruebas de aceptación entre los dispositivos así mismo se aplica correctivos necesarios en el producto final.

### **3. Resultados y Discusión**

La gestión del administrador de la arquitectura de red definida por software, en este punto obtendrá mayor flexibilidad, programación en tiempo real, adaptación a nuevos API's y libre de proveedores con gastos más moderados aportando una arquitectura emergente e innovadora de red controlando eficientemente la energía consumida por los dispositivos, para que todo este funcionamiento sea posible es necesario el utilizar el protocolo OpenFlow como la interfaz que separa el plano de datos del plano de control, es así que conjuntamente con el proyecto FloodLight (D 'souza, Sundharan, Lokanath, & Mittal, 2016) sobre mininet se describió la topología necesaria para el caso de estudio.

La arquitectura de control de red SDN original propuso el desacoplamiento del control de red del reenvío de paquetes y una programación directa de la función de control de red. Además, la inteligencia de red está (lógicamente) centralizada en controladores SDN basados en software, que mantienen una visión global de la red. Los controladores SDN, a su vez, son los responsables de programar las reglas de reenvío o flujo en las funciones de reenvío de red (Pegado Boureghida, 2015). En esta definición existente de SDN, las funciones de reenvío no admiten los propios protocolos de enrutamiento, es así que todo su comportamiento está controlado por los controladores SDN (Awad, 2015). Por lo tanto, las funciones de reenvío se denominan "white boxes".(Murillo, 2017)

El protocolo OpenFlow se implementa entre la infraestructura de los dispositivos de red y el software de control de SDN (Murillo, 2016), utilizando el concepto de flujos para identificar el tráfico de red basado en reglas de coincidencia predefinidas que pueden ser programadas de forma estática o dinámica por el un controlador SDN lo cual permite definir cómo el tráfico debe fluir a través de los dispositivos de red. Considerando los controladores adaptables OpenSource se estableció la siguiente comparación que se verifica en la Tabla 1:

Tabla 1: Tipos de Controlador SDN.

CONTROLADOR	CARACTERÍSTICA	AMBIENTE DE DESARROLLO
NOX	Desarrollado paralelamente con OpenFlow Instalación y ejecución en el Controlador Define reglas para la administración de flujo en SDN. Posee una API Entrada y salida asíncrona	Python C++
POX	Similar a NOX Rápido desarrollo Reglas dinámicas para el flujo	Python
BEACON	Multiplataforma se ejecuta en máquinas virtuales Open Source licencia GPLv2 Funcionamiento rápido Interfaz web de manera opcional en Jetty Entreprise	Java
FLOODLIGHT	Corre sobre un gestor de máquinas virtuales Trabaja en dispositivos físicos y virtuales Es modular (se lo denomina Learning Switch) Instalación en Ubuntu Requiere Java Development Kit JDK Conmuta tráfico entrante y de envío.	Java - Python

El prototipo implementado está conformado por un switch conectado a un servidor y sus respectivos clientes, el control de conexión entre los clientes del switch se lo hace a través del envío de información mediante la interfaz web al controlador Floodlight, el cual a su vez procesa información y establecerá las reglas de conexión de los clientes en función de la misma, la arquitectura se detalla en la Figura 1.:

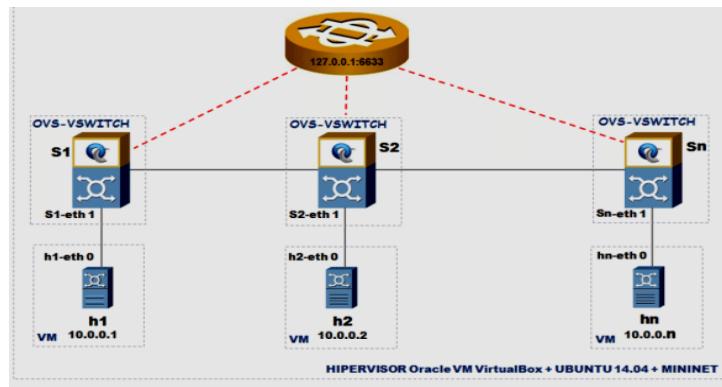


Figura 1: Arquitectura de la red SDN

Fuente:

[https://www.researchgate.net/publication/319097382\\_SDN\\_Network\\_vs\\_Traditional\\_Network](https://www.researchgate.net/publication/319097382_SDN_Network_vs_Traditional_Network)

El módulo desarrollado en el controlador es el que recibe las órdenes para su ejecución a través de la interfaz Web, la cual a su vez genera peticiones de forwarding con el comando curl utilizando el REST API de Floodlight (D'souza et al., 2016), con el objetivo de obtener información de los dispositivos conectados a la red y establecer las reglas de flujo de información esenciales para su comunicación. En la Figura 2 se indica el código de la creación

de la topología el cual se lo codifica en el lenguaje de programación Phyton dentro de la máquina virtual de mininet, además en la Figura 3 se establece el arranque del controlador y la confluencia con el enlace de la topología.

```

mininet@mininet-vm:~/mininet/custom
$ script de la topología de la red en phyton
Esta topología conecta al servidor con nueve clientes
...
From mininet.topo import Topo
class MyTopo( Topo ):

    def __init__( self ):
        # Create custom topo
        Topo.__init__( self )

        # Add hosts and switches
        h1 = self.addHost( 'h1', ip='192.168.1.2' )
        h2 = self.addHost( 'h2', ip='192.168.1.3' )
        h3 = self.addHost( 'h3', ip='192.168.1.4' )
        h4 = self.addHost( 'h4', ip='192.168.1.5' )
        h5 = self.addHost( 'h5', ip='192.168.1.6' )
        h6 = self.addHost( 'h6', ip='192.168.1.7' )
        h7 = self.addHost( 'h7', ip='192.168.1.8' )
        h8 = self.addHost( 'h8', ip='192.168.1.9' )
        h9 = self.addHost( 'h9', ip='192.168.1.10' )
        h10 = self.addHost( 'h10', ip='192.168.1.11' )
        s1 = self.addSwitch( 's1' )

        # Add links
        self.addLink( s1, h1 )

```

Figura 2: Topología codificada en Phyton  
Fuente: Desarrollo de Prototipo de red SDN (Murillo, 2016)

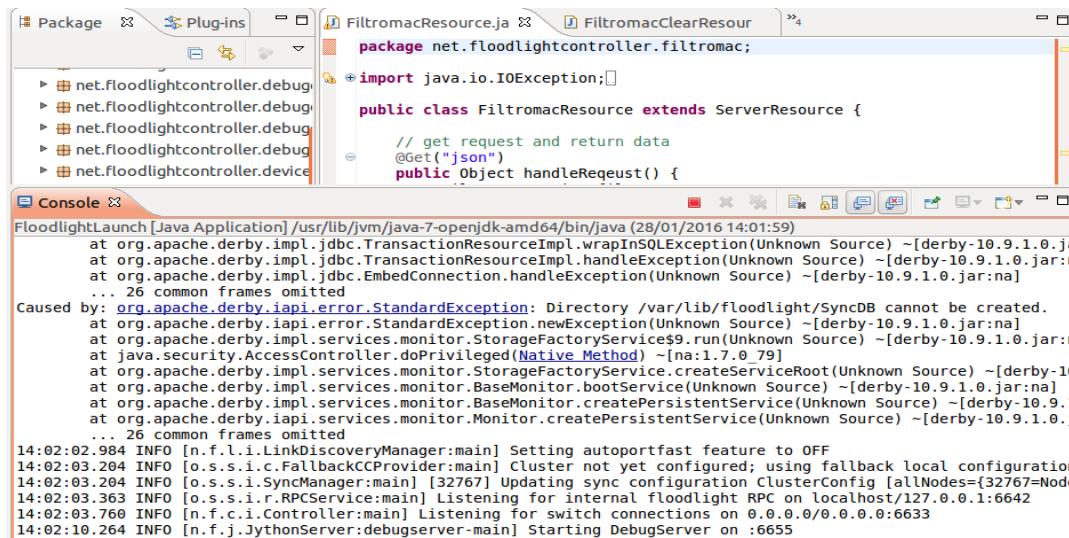


Figura 3: Controlador SDN  
Fuente: Desarrollo de Prototipo de red SDN (Murillo, 2016)

En la Figura 4 se indica el API creado con la funcionalidad de visualizar y brindar información visualizada en la página web, existe una tabla que contiene la información de los dispositivos conectados a la red, y a la vez permite que el administrador pueda otorgar acceso a la red o lo deniegue.

RED					
# DE DISPOSITIVOS CONECTADOS: 10 ENVIAR					
IP	MAC	PUERTO	HABILITAR	DESHABILITAR	STATUS
192.168.1.10	4e:07:f6:c1:e1:a1	9	<input type="checkbox"/> ON	<input type="checkbox"/> OFF	DESACTIVADO
192.168.1.11	86:f0:11:51:ac:b7	10	<input type="checkbox"/> ON	<input type="checkbox"/> OFF	DESACTIVADO
192.168.1.2	56:ef:fa:ba:24:36	1	<input type="checkbox"/> ON	<input type="checkbox"/> OFF	DESACTIVADO
192.168.1.3	Ba:b5:e9:9d:2d:8f	2	<input type="checkbox"/> ON	<input type="checkbox"/> OFF	DESACTIVADO
192.168.1.4	F2:0a:dc:8e:5d:67	3	<input type="checkbox"/> ON	<input type="checkbox"/> OFF	DESACTIVADO
192.168.1.5	fe:a3:c4:da:fe:eb	4	<input type="checkbox"/> ON	<input type="checkbox"/> OFF	DESACTIVADO
192.168.1.6	4e:d7:d4:fd:66:d7	5	<input type="checkbox"/> ON	<input type="checkbox"/> OFF	DESACTIVADO
192.168.1.7	92:59:ac:10:40:bb	6	<input type="checkbox"/> ON	<input type="checkbox"/> OFF	DESACTIVADO
192.168.1.8	66:a2:2e:bb:05:ca	7	<input type="checkbox"/> ON	<input type="checkbox"/> OFF	DESACTIVADO
192.168.1.9	4a:bb:91:83:77:fc	8	<input type="checkbox"/> ON	<input type="checkbox"/> OFF	DESACTIVADO

Figura 4: Interfaz web del prototipo de red SDN

Fuente: Desarrollo de Prototipo de red SDN (Murillo, 2016)

Las reglas de flujo forman parte de la interfaz web, estas indican el puerto otorgado en este prototipo, la vlan, direcciones ip fuente y destino, su cabecera, como se indica en la Figura 5.

#### Flows (4)

Cookie	Priority	Match	Action	Packets	Bytes	Age	Timeout
0	0	port=2, VLAN=-1, src=2e:a5:b6:b0:37:42, dest=9a:a8:64:43:bc:31, ethertype=0x0806, proto=2, src=192.168.1.3, dest=192.168.1.5	output 4	1	42	4 s	15 s
0	-1	port=4, VLAN=-1, src=9a:a8:64:43:bc:31, dest=2e:a5:b6:b0:37:42, ethertype=0x0806, proto=1, src=192.168.1.3, dest=192.168.1.3	output 2	1	42	4 s	15 s
0	-1	port=2, VLAN=-1, src=2e:a5:b6:b0:37:42, dest=9a:a8:64:43:bc:31, ethertype=0x0800, proto=1, IP src port=8, IP dest port=0, src=192.168.1.3, dest=192.168.1.5, TOS=0	output 4	3	294	9 s	15 s
0	-1	port=4, VLAN=-1, src=9a:a8:64:43:bc:31, dest=2e:a5:b6:b0:37:42, ethertype=0x0800, proto=1, IP src port=0, IP dest port=0, src=192.168.1.5, dest=192.168.1.3, TOS=0	output 2	3	294	9 s	15 s

Figura 5: Controlador SDN

Fuente: Desarrollo de Prototipo de red SDN (Murillo, 2016)

#### 4. Conclusiones y Recomendaciones

El desarrollo del prototipo proporciona una clara visión de lo que significa la implementación de la red definida por software SDN con características, y cambios extremos en las condiciones de la infraestructura de la red de las arquitecturas tradicionales.

SDN permitió el mejoramiento de la capacidad de gestión por parte del administrador de red mediante el uso de recursos de estándar abierto, fusionando así a la arquitectura de red en puntos viables como son: escalable, flexible al momento de utilizar controladores.

La selección de controladores de la red definida por software SDN se ajustan a las necesidades de virtualización, funcionalidad, confiabilidad, monitorización, rendimiento y seguridad de la red, tal es el caso de OpenFlow.

Se demostró que la gestión se convierte en centralizada para todos los dispositivos de la red en la topología requerida para la toma de correctas decisiones, lo que genera que exista un poco probabilidad de inconsistencias en las reglas de flujos de red.

## Bibliografía

1. Awad, I. (2015). Seminar: Software Defined Networking. Retrieved from [http://www7.cs.fau.de/de/wp-content/uploads/sites/2/2015/07/sdn\\_seminar.pdf](http://www7.cs.fau.de/de/wp-content/uploads/sites/2/2015/07/sdn_seminar.pdf)
2. D 'souza, D., Sundharan, K. P., Lokanath, S., & Mittal, V. (2016). Improving QoS in a Software-Defined Network, 1–9.
3. Echeverry, L. M., & Delgado Carmona, L. E. (2007). Caso Práctico de la Metodología Ágil Xp al Desarrollo de Software, 110. Retrieved from <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/11059/794/1/0053E18cp.pdf>
4. Murillo, F. M. (2016). Desarrollo de un Prototipo de Red Definida por Software SDN para la Gestión mediante Recursos de Estándar Abierto. *Departamento de Investigación Y Postgrados*. Retrieved from <http://repositorio.pucesa.edu.ec/handle/123456789/1638>
5. Murillo, F. M. (2017). Arquitectura inteligente CPPS integrada en el uso de la Norma IEC-61499, con bloque de funciones altamente adaptables en la Industria 4.0, (Estec), 1–7.
6. Pegado Boureghida, M. T. (2015). Desarrollo de un sistema de monitorización para SDNs (Software Defined Networks), 20.
7. Wahlster, W. (2016). Industrie 4.0: Cyber-Physical Production Systems for Mass Customization, 49(681). Retrieved from <http://www.dfgi.de/~wahlster>

# **PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL SERVICIO DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA GENERADO POR LA SUBESTACIÓN ALLURIQUÍN**

## ***PROCEDURE FOR THE QUALITY EVALUATION OF THE ELECTRICITY DISTRIBUTION SERVICE GENERATED BY THE ALLURIQUÍN SUBSTATION***

***Jimmy Cabrera<sup>1a\*</sup>, Alexis Cordovés Ph.D.<sup>1b</sup>, Ives Torriente Ms.C. <sup>1c</sup>, Leonardo L. Lorente Leyva<sup>2d</sup>***

<sup>1</sup>Universidad Tecnológica Equinoccial, Santo Domingo, Ecuador

<sup>2</sup>Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador

<sup>a</sup>ccja7012330@ute.edu.ec , <sup>b</sup>alexis.cordoves@ute.edu.ec , <sup>c</sup>ives.torriente@ute.edu.ec,  
<sup>d</sup>llorentel1985@gmail.com

### **Resumen:**

En el contexto energético actual, es notorio un incremento del consumo de la energía eléctrica debido, entre otras causas, al surgimiento de nuevas tecnologías y a la ampliación poblacional rural con acceso al servicio eléctrico. Estos criterios, unido a los altos costos de generación de energía y las pérdidas que se originan en la transportación y distribución de energía eléctrica, motivan al estudio de la interrelación entre la calidad de la energía eléctrica, la eficiencia y la productividad. En la presente investigación se propone un procedimiento que facilita la evaluación de la calidad del servicio de distribución eléctrica generado por la subestación Alluriquín. El procedimiento propuesto contribuye a la evaluación de forma rápida y efectiva del suministro eléctrico, y permite establecer valoraciones sobre la calidad del servicio entregado al consumidor, asociado al rango de la normativa CONELEC 004/01, para mitigar lo más posible el porcentaje de perturbaciones que originan pérdidas energéticas, contribuyendo de forma favorable con el sector productivo del país.

**Palabras clave:** Procedimiento, evaluación, calidad energética, perturbaciones, subestación eléctrica.

### **Abstract:**

In the current energy context, there is an increase in the consumption of electric energy due, among other causes, to the emergence of new technologies and the rural population expansion with access to the electricity service. These criteria, together with the high costs of energy generation and the losses that originate in the transportation and distribution of electric power, motivate the study of the interrelationship between the quality of electric energy, efficiency and productivity. The present research proposes a conceptual model that facilitates the evaluation of the quality of the electric distribution service generated by the Alluriquín substation. The proposed model contributes to the rapid and effective evaluation of the electricity supply and allows assessing the quality of the service delivered to the consumer, associated to the range of CONELEC 004/01 regulations, to mitigate as much as possible the percentage of disturbances that cause energy losses, contributing in a favorable way with the productive sector of the country.

**Keywords:** Procedure, evaluation, energy quality, disturbances, electrical substation

## **1. Introducción**

En el sector residencial, el deseo de las personas de mejorar su estatus de vida ha llevado a la necesidad de crear, innovar y desarrollar nuevas tecnologías que ayuden a realizar trabajos de la vida cotidiana de una manera más sencilla y óptima, llevando a un aumento exponencial de la energía eléctrica (Seymour & Horsley, 2005) . En un sector industrial la energía eléctrica es el insumo primordial para el mejoramiento de la productividad dado que las maquinarias y equipos son más eficientes con un servicio eléctrico de calidad.

Es importante resaltar que para que el sistema eléctrico alcance los niveles de calidad y seguridad requeridos en el abastecimiento, es imprescindible el desarrollo paralelo de las etapas de generación, transmisión y distribución (PME, 2012; pág.VII). En el presente estudio nos enfocamos en el abastecimiento eléctrico de la subestación Alluriquín; y se analiza como las cargas no lineales entre otros factores originan distorsiones en la calidad del servicio eléctrico.

En la subestación Alluriquín están entrelazadas un gran número de cargas que no siempre están acorde con el estándar de compatibilidad requerido, generando frecuentemente un incremento en las perturbaciones de la red y distorsionando la calidad del servicio eléctrico entregado por la subestación, lo que anualmente provoca grandes pérdidas económicas al sector por las interrupciones y por la ineficiencia de la calidad del servicio eléctrico entregado.

Por todo lo citado anteriormente la CNEL EP Unidad de Negocio Santo Domingo está forzada a ofrecer un buen nivel de calidad del servicio eléctrico en distribución. Para el correcto cumplimiento de los índices de calidad del servicio eléctrico de distribución las empresas distribuidoras deben acogerse a las disposiciones del Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC), el cual ha establecido regulaciones relacionados con los estándares mínimos de calidad, para garantizar a los consumidores un suministro eléctrico continuo y confiable. Estos índices permiten establecer cuáles de los circuitos de distribución son más vulnerables (Clavijo, 2010; pág 14), en los cuales deben implementar mecanismos y procedimientos que permitan mejorar el servicio eléctrico.

En función de los elementos comentados se define como objetivo principal de la investigación la creación de un procedimiento que ayude al análisis del comportamiento de los índices de calidad del servicio de manera eficaz y sistemática para facilitar el proceso de toma de decisiones para mitigar el efecto negativo de las perturbaciones eléctricas en la calidad del servicio eléctrico.

## **2. Metodología**

Según (IEEE, 1996) el primer paso hacia una solución efectiva de un problema de ineficiencia de calidad eléctrica es diagnosticar el problema correctamente. Sólo cuando el problema está verdaderamente definido será posible realizar un análisis que permita mejorar la calidad.

Para realizar un análisis de los índices de calidad de manera eficaz y sistemática, se propone el cumplimiento del procedimiento siguiente:

- Identificación de los índices de calidad.
- Definición de la importancia de cada índice.
- Procesar datos de distribución de energía eléctrica
- Determinar las causas del no cumplimiento de los índices.
- Graficar el comportamiento de los índices y de la calidad.

- Calcular la calidad de cada índice, la calidad ideal y su variación admisible.
- Proponer alternativas de soluciones para mejorar la operación de los índices de calidad del producto.

## 2.1 Identificación de los índices de calidad

Los índices de calidad con los que se va a trabajar son los de Calidad del Producto: nivel de voltaje, perturbaciones: armónicos y flicker, factor de potencia, los que encontramos en la regulación del CONELEC 004/01 “Calidad del servicio eléctrico de distribución”.

### 2.1.1 Nivel de Voltaje ( $\Delta V_k$ )

Este índice se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$\Delta V_k (\%) = \frac{V_k - V_n}{V_n} * 100 \quad (1)$$

Dónde:

$\Delta V_k$  : Variación de voltaje, en el punto de medición, en el intervalo k de 10 minutos.

$V_k$  : Voltaje eficaz (rms) medido en cada intervalo de medición k de 10 minutos.

$V_n$  : Voltaje nominal en el punto de medición.

#### Límites de aplicación

El Distribuidor no cumple con el nivel de voltaje en el punto de medición respectivo, cuando durante un 5% o más del período de medición de 7 días continuos, en cada mes, el servicio lo suministra incumpliendo los límites de voltaje.

Tabla 1: Variaciones de voltaje admitidas con respecto al valor del voltaje nominal

	Subetapa 2	Subetapa 2
Alto Voltaje	$\pm 7.0\%$	$\pm 5.0\%$
Medio Voltaje	$\pm 10.0\%$	$\pm 8.0\%$
Bajo Voltaje. Urbanas	$\pm 10.0\%$	$\pm 8.0\%$
Bajo Voltaje. Rurales	$\pm 13.0\%$	$\pm 10.0\%$

### 2.1.2 Distorsión de la Fase o Flicker ( $P_{st}$ )

En este caso el índice se determina por los parpadeos de tensión en las fases que sobrepasan porcentajes predeterminados, y se usa la siguiente ecuación:

$$P_{st} = \sqrt{0.0314P_{st} + 0.0525P_1 + 0.0657P_3 + 0.28P_{10} + 0.08P_{50}} \quad (2)$$

Dónde:

Pst: Índice de severidad de flicker de corta duración.

P0.1, P1, P3, P10, P50: Niveles de efecto “flicker” que se sobrepasan durante el 0.1%, 1%, 3%, 10%, 50% del tiempo total del período de observación.

#### Límites de aplicación

El índice de severidad del Flicker Pst en el punto de medición respectivo, no debe superar la unidad. Se considera el límite  $Pst = 1$  como el tope de irritabilidad asociado a la fluctuación máxima de luminancia que puede soportar sin molestia el ojo humano en una muestra específica de población.

### 2.1.3 Armónicos ( $V'_i$ )

Este índice es fundamental para medir la calidad del servicio y se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$V'_i = \frac{V_i}{V_n} * 100 \quad (3)$$

Para el cálculo de los armónicos el factor de distorsión expresado en porcentajes facilita establecer una interpretación de las mediciones realizadas.

$$THD = \left( \frac{\sqrt{\sum_{i=2}^{40} (V_i)^2}}{V_n} \right) * 100 \quad (4)$$

Dónde:

$V'_i$ : Factor de distorsión armónica individual de voltaje.

THD: factor de distorsión total por armónicos, expresado en porcentaje

$V_i$  : Valor eficaz (rms) del voltaje armónico “i” (para  $i = 2 \dots 40$ ) expresado en voltios.

$V_n$  : Voltaje nominal del punto de medición expresado en voltios.

### Límites de aplicación

En la determinación del índice se utilizó los armónicos de voltaje, dado que la base de dato con la cual se trabajó realiza las mediciones según esta magnitud. Es conocido que los armónicos de corriente son los más peligrosos para la red debido a su cambio de sentido dentro de la fase.

### 2.1.4 Factor de Potencia

Para el tipo de medición que se aplica en el estudio el valor mínimo de factor de potencia es de 0,92. Es decir se consideró que la relación existente entre la potencia activa y la potencia aparente es del 92%, planteando por lo tanto que las cargas son preferiblemente resistivas.

## 2.2 Definir la importancia de cada índice, medición de la calidad del servicio.

Para medir la calidad a partir de los índices seleccionados, se propuso la fórmula (5) que según (CONELEC, 2001) es factible dado que relaciona de todos los índices de forma aditiva obteniendo como resultado una magnitud que establece un valor de calidad medible y analizada para apreciar el estado del servicio ofrecido.

$$C = \Delta V_k + P_{st} + THD + FP \quad (5)$$

Dónde:

$\Delta V_k$ = Variación de Voltaje.

$P_{st}$ =Perturbación- Índice de severidad de flicker de corta duración.

THD = Perturbación- factor de distorsión total por armónicos, expresado en porcentaje.

FP = Factor de Potencia

Al tener cada índice de calidad un comportamiento específico y teniendo en cuenta que los índices tienen diversidad de dimensiones, para poder integrar todos los índices en una misma función es indispensable efectuar una normalización de variable la cual se realizó en la fórmula (6). La normalización consiste en obtener un valor real menos un valor nominal todo esto sobre el valor nominal, esta nos permitirá obtener un valor promedio para cada índice lo que al final se podrá cuantitativamente comparar como se comportó la calidad en cada instante de tiempo.

Por otra parte se designó un peso (W) a cada índice, este peso indica la importancia de cada variable dentro de los parámetros de la calidad, teniendo en cuenta que para cada caso concreto para cada S/E determinada esta presenta características locales específicas de su red de distribución.

$$C = W_1 \left( \frac{V_k - V_n}{V_n} \right) + W_2 \left( \frac{P_{st} - P_{stn}}{P_{st}} \right) + W_3 \left( \frac{THD - THD_n}{THD_n} \right) + W_4 \left( \frac{FP - FP_n}{FP_n} \right) \quad (6)$$

Dónde:

Valores nominales

$V_n = 120 \text{ V}$

$P_{stn} = 0,1$

$THD_n = 3$

$FP_n$  = Factor de Potencia

$W_1 = W_2 = W_3 = W_4 = 0.25$ ; Para una correcta apreciación de la calidad a cada índice se le dio la misma importancia.

### 2.3 Procesar datos de distribución de energía eléctrica

Los datos obtenidos están recopilados según las normativas de mediciones presentes en la regulación del CONELEC 004/01 "Calidad del servicio eléctrico de distribución". Donde la data que se presente corresponde a una muestra de toda la data obtenida.

### 2.4 Calcular la calidad de cada índice, la calidad ideal y su variación admisible.

Reemplazando la data obtenida en la fórmula (6), encontramos los valores de la calidad de cada índice de estudio. (Ver tabla 2)

### 2.5 Determinar las causas del no cumplimiento de los índices.

*Variaciones de Voltaje:* El no cumplimiento de este índice se debe principalmente a instalaciones eléctricas deficientes causadas por la utilización de cables muy delgados, conexiones mal hechas, contactos eléctricos desgastados.

*Perturbaciones-Parpadeo (Flicker):* Este índice se ve totalmente afectado por las perturbaciones introducidas durante la generación, transmisión o distribución de energía y el uso de cargas fluctuantes como hornos eléctricos.

*Perturbaciones-Armónicos:* La causa principal del aumento de armónicos en la red es la utilización de equipos electrónicos que consumen energía eléctrica de una forma "no lineal".

*Factor de Potencia:* El no cumplimiento de este índice se debe principalmente a equipos conectados a la red que tienen elevados consumos de Energía Reactiva respecto a la Energía

Activa, produciéndose una circulación excesiva de corriente eléctrica en sus instalaciones y en las redes de la Empresa Distribuidora.

Tabla 2: Calidad obtenida de cada índice, aplicando la ecuación 6.

Hora	NIVEL DE VOLTAJE	CALIDAD			CALIDAD TOTAL
		PERTURBACIONES	FLICKER	ARMONICO	
12:30	0,006	0,275		0,025	0,308
12:40	0,005	0,575		0,025	0,607
12:50	0,005	0,600		0,025	0,633
13:00	0,005	0,500		0,025	0,533
13:10	0,005	0,300		0,033	0,340
13:20	0,005	0,300		0,025	0,332
13:30	0,004	0,475		0,033	0,514
13:40	0,004	0,725		0,033	0,765
13:50	0,003	0,425		0,033	0,465
14:00	0,003	0,275		0,033	0,314
14:10	0,003	0,575		0,025	0,606
14:20	0,003	0,575		0,025	0,606
14:30	0,002	0,475		0,017	0,495
14:40	0,002	0,275		0,025	0,304
14:50	0,002	0,600		0,017	0,622
15:00	0,002	0,650		0,017	0,672
15:10	0,003	0,600		0,017	0,622
15:20	0,003	0,275		0,017	0,297
15:30	0,003	0,650		0,017	0,671
15:40	0,003	0,750		0,017	0,771
15:50	0,003	0,550		0,017	0,573
16:00	0,003	0,275		0,017	0,299
16:10	0,003	0,675		0,008	0,690
16:20	0,003	0,625		0,008	0,641
16:30	0,003	0,450		0,008	0,466
16:40	0,002	0,250		0,017	0,274
16:50	0,003	0,650		0,008	0,665
17:00	0,003	0,600		0,008	0,616
17:10	0,004	0,525		0,008	0,541

## 2.6 Proponer alternativas de soluciones para mejorar la operación de los índices de calidad del producto.

### Variaciones de Voltaje

- Identificar posibles fallas internas en las conexiones de un sistema eléctrico.
- Sistemas de Automatización:* Para monitoreo de voltaje y corriente y de corrección de variaciones de manera automática.
- Sistemas de Respaldo:* En casos donde las variaciones son constantes es conveniente este tipo de servicio.

### Perturbaciones-Parpadeo (Flicker)

- Aumento de la potencia de cortocircuito (con relación a la potencia de carga) en el punto de conexión al cual está acoplada una carga fluctuante.
- Reducción de las variaciones del flujo de potencia reactiva en el sistema por medio de la instalación de compensadores/estabilizadores dinámicos.

### *Perturbaciones-Armónicos*

- Sobredimensionamiento de conductores.
- Utilización de transformadores de aislamiento de estrella-tríangulo.
- Filtros pasivos.
- Filtros activos y convertidores “limpios”.
- Separación de los elementos no lineales de las “cargas limpias” en una instalación eléctrica.
- Impedancias de alisado, conectadas a las cargas no lineales.

### *Factor de Potencia*

- Colocar bancos de capacitores, compensando en forma “central”
- Colocar capacitores en cada motor, compensando en forma individual.
- Usar motores síncronos.
- Colocar condensadores síncronos.

## **3. Resultados y Discusión**

La Variación de Voltaje cumple con la regulación establecida y se encuentra en límite permisible del 5%; por otra parte los parpadeos o perturbaciones Flicker, están dentro de los parámetros de la regulación y muy por debajo de límite de severidad, ambos elementos se muestran en la figura 1.

En el caso del armónico, no cumple con la regulación ya que el factor de distorsión total por armónico (THD) supera el permisible dispuesto por la regulación, por lo cual es perceptible la afectación en la calidad del servicio (Ver figura 2).

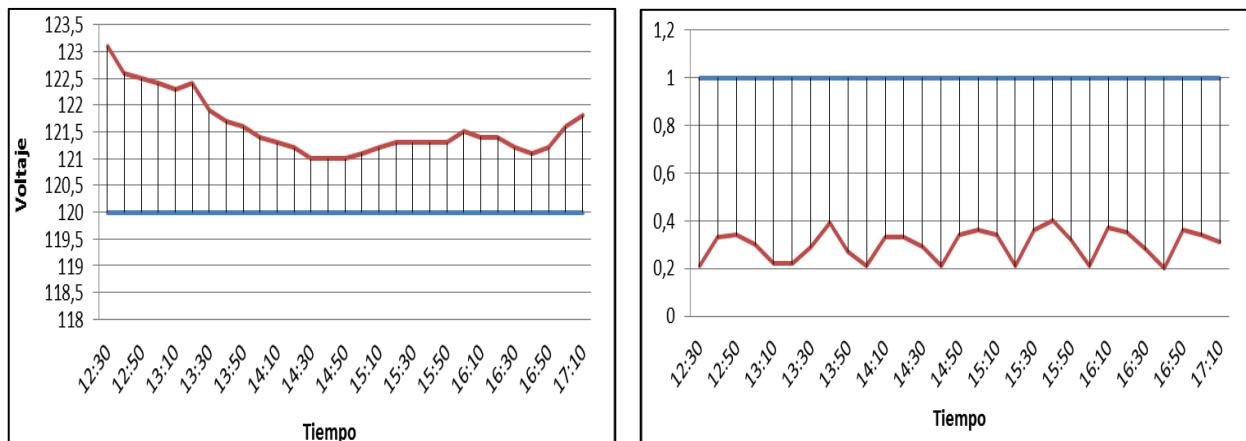


Figura1: Comportamiento de la variación de voltaje y el parpadeo flicker.

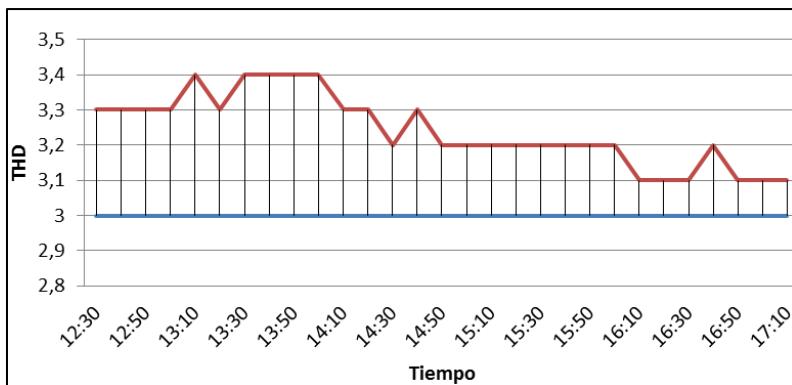


Figura 2: Comportamiento del Armónico.

Para determinar el comportamiento de la calidad total se encontraron 3 valores:

- 1) Valor límite superior de la calidad  $C_l = 0,994$ . Este valor se lo encontró reemplazando en la fórmula 6, valores de los índices de calidad que sobrepasen con los límites propuestos.
- 2) Valor Idóneo de la calidad  $C_p = 0,994$ . Este valor es la calidad promedia encontrada en la tabla 2.
- 3) Valor límite inferior de la calidad  $C_u = 0,035$ . Este valor se lo encontró reemplazando en la fórmula 6, valores de los índices de calidad que estén en el límite inferior permisible por la regulación.

En la figura 3 se aprecia el comportamiento de la calidad total (Tabla 2) en cada lapso de tiempo, esta calidad fue encontrada gracias a la sumatoria de la calidad obtenida de cada índice (aplicando la ecuación 6).

Con la gráfica de la calidad total se concluye que en términos generales la data encontrada en la S/E Alluriquín si se encuentran dentro de los límites permisibles de la calidad, existiendo picos altos, bajos y una variación que oscila en el valor idóneo de la calidad.

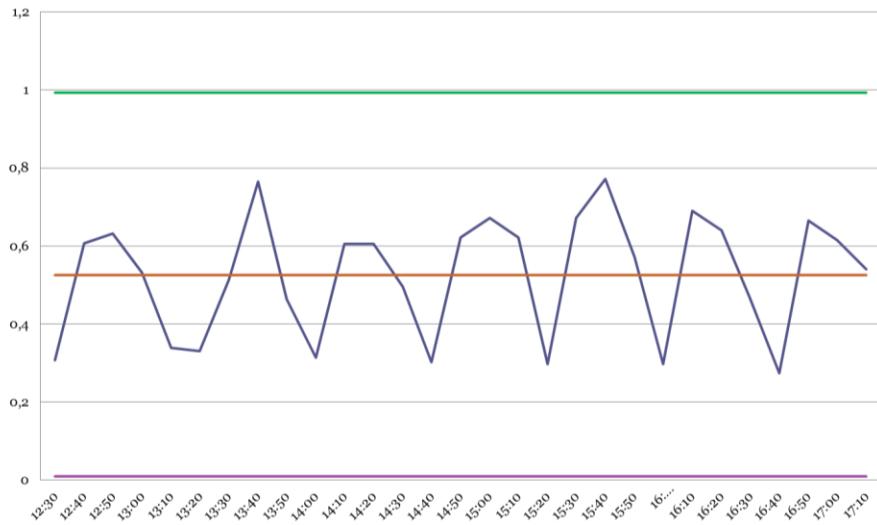


Figura 3: Comportamiento de la Calidad Total de los datos obtenidos

#### **4. Conclusiones**

- La empresa distribuidora estudiada no posee una metodología a seguir para realizar la evaluación de la calidad del servicio eléctrico.
- La creación de este modelo será de mucha ayuda para las empresas distribuidoras al momento de evaluar la calidad del servicio eléctrico.
- El análisis de la solución entregada por el modelo permitirá identificar incumplimientos locales en la calidad del servicio y profundizar en el análisis de las causas y sus posibles soluciones, mediante el estudio del comportamiento específico de cada variable de calidad.

#### **Bibliografía**

1. Clavijo, C. (2010). *Análisis integral de la calidad del servicio eléctrico en la s/e bellavista de 69 kv ubicada en la provincia de Imbabura* (Tesis de pregrado inédita), Escuela Politécnica Nacional , Quito, Ecuador.
2. Colectivo de Autores (2012), Plan Maestro de Electrificación de Ecuador. Ministerio de Electricidad y Energía Renovables.
3. Holguín, M. y Gomezcoello D. (2010) *Análisis de la calidad de energía eléctrica en el “Nuevo Campus” de la Universidad Politécnica Salesiana* (Tesis de pregrado inédita), Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil , Ecuador.
4. Seymour, J. y Horsley, T. American Power Conversion APC (2005). *Los siete tipos de problemas en el suministro eléctrico* (Informe interno Nº18)
5. IEEE Std 602-1196, IEEE “Recommended Practice for Electric Systems in Health Care Facilities”, pp50,1996.
6. CONELEC (2001), “*Calidad del Servicio Eléctrico de Distribución*”, Regulación No. CONELEC - 004/01.
7. Rivera, P. (2008). *Estudio de Armónicos y Calidad de la Energía Eléctrica* (Tesis de pregrado inédita) , Escuela Politécnica Nacional , Quito, Ecuador.

# 1er CICI 2017

Congreso Internacional  
**CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**  
Electromecánica y Automotriz



CompuCAD  
BODEGA COMERCIAL CIA. LTDA

