



## ING. AUTOMOTRIZ

Trabajo integración curricular previa a la obtención del título  
de Ingeniería en Mecánica Automotriz

**AUTOR:**

Mogrovejo Cueva Jesús David

**DIRECTOR:**

Juan Fernando Iñiguez

Análisis de vibraciones de motores a combustión interna, con relación al uso  
de combustibles nacionales eco plus y súper

## CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA

Yo, **MOGROVEJO CUEVA JESÚS DAVID** declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y que se ha consultado la bibliografía detallada.



Firmado electrónicamente por:  
**JESUS DAVID**  
**MOGROVEJO**  
**CUEVA**

.....  
**MOGROVEJO CUEVA JESÚS DAVID**

## APROBACIÓN DEL TUTOR

Yo, **JUAN FERNANDO IÑIGUEZ** certifico que conozco al autor/a del presente trabajo siendo la responsable exclusiva tanto de su originalidad y autenticidad, como de su contenido.

JUAN  
FERNANDO  
INIGUEZ  
IZQUIERDO

Firmado  
digitalmente por  
JUAN FERNANDO  
INIGUEZ IZQUIERDO  
Fecha: 2023.02.13  
14:08:50 -05'00'

---

JUAN FERNANDO IÑIGUEZ

## **DEDICATORIA**

Dedicado para Dios por sobre todas las cosas al ser todo poderoso que guía mi camino y hace posible los sueños e ilusiones que alimentan mi alma con amor y cariño, a mi núcleo familiar principal, mis padres Luis Mogrovejo y Jenny Cueva, por ser la razón de mi vida, ejemplo y enseñanza que perduraran para siempre a lo largo de mi camino, para mis hermanos Adrián y Ángeles a mi familia paterna y materna que con sus enseñanzas valores y principios me enseñaron que en la vida todo se puede, tal cual como sus palabras lo dicen todo esfuerzo tiene su recompensa por eso hoy les dedico mi esmero plasmado en cada una de sus enseñanzas hecho realidad.

**Jesús David Mogrovejo Cueva**

## **AGRADECIMIENTO**

Con todo el corazón para quienes son y serán mi admiración e inspiración para superarme día tras día.

Gracias Papito Dios por darme la oportunidad de poder estudiar, por hacer que mis días en toda esta etapa de mi vida hayan sido los mejores acompañados siempre de tu bendición en cada momento.

A mi Padre Luis Marcelo Mogrovejo Granja por inculcarme educación, respeto, valores, y disciplina que fueron indispensables en el desarrollo de esta etapa universitaria para cumplir este objetivo, por eso te admiro y te valoro por tu fuerza y valentía por hacerme una persona de bien.

Para mi madre Jenny Alexandra Cueva Recalde que con su amor y cariño me enseñó que para estar de pie ante mundo primero tengo que estar de rodillas ante Dios, gracias por ser esa mujer valiente admirable e inigualable que el amor brindado acompañado de enseñanzas hoy da frutos, tu fortaleza de madre me han formado como hombre de bien y los valores inculcados son el reflejo de tus enseñanzas.

Para tres personas que admiro y amo con todo mi corazón, gracias infinitas por estar siempre pendientes a mis Tías Martha Cerda, Nelly Cerda y Gloria Cerda la palabra admirable les queda corta, son el vivo ejemplo de Principios Valores, Educación y Constancia los cuales siempre estarán presentes en mi vida, el cariño y ejemplo entregado es el tesoro más valioso que tengo, sus consejos, enseñanzas y el apoyo incondicional que he recibido de cada una hoy lo reflejo con mucho orgullo culminando esta etapa de mi vida.

A mi tutor de tesis Juan Fernando Iñiguez por su ayuda y conocimientos brindados que fueron de gran ayuda a lo largo de toda esta vida universitaria siendo ejemplo de superación profesional.

Y a todas las personas sin excepción alguna que formaron parte de este ciclo, familia amigos amigas y docentes agradecerles de corazón por ser parte vital de este logro los momentos vividos y enseñanzas plasmadas quedaran grabadas en mi corazón muchas gracias.

**Jesús David Mogrovejo Cueva**

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA .....	2
APROBACIÓN DEL TUTOR.....	3
ACUERDO DE CONFIDENCIALIDAD .....	4
DEDICATORIA .....	5
AGRADECIMIENTO .....	6
RESUMEN.....	9
ABSTRACT.....	10
Introducción .....	11
Fundamentación teórica.....	13
Vibración mecánica.....	13
Combustibles nacionales .....	13
Métodos y Materiales.....	15
Metodología .....	15
Materiales .....	18
Especificaciones de los Vehículos .....	20
Resultados.....	23
Análisis de Valores .....	25
Análisis comparativo de la gasolina super y eco plus.....	26
Mazda CX6.....	27
<b>Kia Sportage</b> .....	28
Conclusiones .....	29

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Precios referenciales regulados por el estado .....	14
Tabla 2: Tipos de Vibraciones.....	14
Tabla 3: Limite de velocidad .....	16
Tabla 4: Vibración máxima.....	16
Tabla 5: Descripción de la simbología.....	17
Tabla 6: Valores de vibración.....	18
Tabla 7: Especificaciones técnicas Chevrolet Sail.....	20
Tabla 8: Especificaciones técnicas Mazda CX6 .....	21
Tabla 9: Especificaciones técnicas Kia Sportage .....	22
Tabla 10: Pruebas Gasolina Super .....	23
Tabla 11: Pruebas Gasolina Super .....	24
Tabla 12: Pruebas Gasolina Eco Plus.....	24
Tabla 13: Pruebas Gasolina Eco Plus.....	25
Tabla 14:Análisis comparativo Chevrolet Sail .....	26
Tabla 15:Análisis comparativo Mazda CX6 .....	27
Tabla 16:Análisis comparativo Kia Sportage .....	28

## ÍNDICE DE GRAFICOS

Gráfico 1: Frecuencia.....	13
Gráfico 2: Pruebas a gasolina súper y eco plus .....	23
Gráfico 3: Pruebas gasolina eco plus de los vehículos.....	25
Gráfico 4: Análisis comparativo de gasolina en vehículo Chrevrolet Sail.....	26
Gráfico 5:Analisis comparativo de gasolina en vehículo Mazda CX6.....	27
Gráfico 6: Análisis comparativo de gasolina en vehículo Kia Sportage.....	28

## **Análisis de vibraciones de motores a combustión interna, en relación al uso de combustibles nacionales eco plus y súper**

Ing. Juan Fernando Iñiguez<sup>1</sup>, Jesús David Mogrovejo Cueva. <sup>2</sup>,

<sup>1</sup>Ingeniería Automotriz – Universidad Internacional del Ecuador,

<sup>2</sup>Ingeniería Automotriz Universidad Internacional del Ecuador,

<sup>3</sup>Ingeniería Automotriz – Universidad Internacional del Ecuador,

### **RESUMEN**

**Introducción:** El artículo de investigación “Análisis de vibraciones de motores a combustión interna, en relación al uso de combustibles nacionales eco plus y súper”, identifica el comportamiento en el proceso de combustión que se da en el motor en la puesta en marcha del vehículo, para ello se tiene como referencia al vehículo Chevrolet Sail, Mazda CX6 y Kia Sportage, además es necesario contemplar las condiciones estáticas - dinámicas donde se recogerá los datos de las pruebas en conjunto con el relieve que presenten las vías del país.

**Objetivo:** El objetivo principal de la investigación es identificar el comportamiento de los vehículos con motor a combustión interna que han sido parte del proceso de estudio, a partir del uso de gasolina Eco Plus y Super, de tal forma es importante que se realice un análisis comparativo de los datos obtenidos, con el propósito de identificar qué tipo de gasolina brinda mejores condiciones en la puesta en marcha y en la reducción de vibraciones del motor.

**Metodología:** El aspecto metodológico de la investigación comprende tres vehículos de distintas marcas y cilindraje, por tal razón es necesario aplicar el uso del analizador de vibraciones, que es un instrumento que permite mejorar la calidad de los valores obtenidos. Por ende, el uso de la gasolina Eco plus y Súper son determinantes, ya que el nivel de detonación al momento de la combustión interna en el motor, está ligado a la calidad y pureza de la gasolina.

**Resultados:** En los resultados obtenidos en la investigación se han realizado gráficos que permiten reconocer que la gasolina Eco Plus tiene un mayor índice de vibraciones en comparación de la Gasolina Súper, en un valor aproximado del 2 a 3 puntos.

**Conclusión:** En conclusión, del uso de la gasolina Súper permite reducir el nivel de vibraciones en la zona del motor de los vehículos analizados, además de considerar que existe un mayor cuidado de los componentes internos y externos de la zona del motor.

**Palabras Clave:** Cilindraje, combustibles, detonación, gasolina, vibraciones.

## ABSTRACT

The research article "Analysis of vibrations of internal combustion engines, about to the use of national eco plus and super fuels", identifies the behavior in combustion process that occurs in the engine at the start of the vehicle, this is taken as a reference to the Chevrolet Sail, Mazda CX6 and Kia Sportage vehicle, it is also necessary to contemplate the static - dynamic conditions where the test data will be collected together with the relief presented by the roads of Latacunga city.

The main objective of the research is identify the behavior of vehicles with internal combustion engines that have been part of the study process, based on the use of Eco Plus and Super gasoline, so it is important to carry out a comparative analysis of the data obtained, to identify which type of gasoline provides better conditions in the start-up and the reduction of engine vibrations.

The methodological aspect of the investigation includes three vehicles of different brands and cylinder capacity, for this reason, it is necessary to apply the use of the vibration analyzer, which is an instrument that allows for improving the quality of the values obtained. Therefore, the use of Eco plus and Super gasoline is decisive, since the engine's level of detonation at the time of internal combustion is linked to the quality and purity of the gasoline.

In the results obtained in the investigation, graphs have been made that allow us to recognize that Eco Plus gasoline has a higher vibration index compared to Super Gasoline, with an approximate value of 2 to 3 points. In conclusion, the use of Super gasoline allows for reducing the level of vibrations in the engine area of the analyzed vehicles, in addition to considering that there is greater care of the internal and external components of the engine area.

**Keywords:** cylinder, fuels, detonation, gasoline, vibrations.

## Introducción

El presente artículo de investigación plantea el estudio sobre el análisis de vibraciones de motores, en relación al uso de combustibles nacionales eco plus y súper, donde se toma en cuenta el proceso de combustión en base a los combustibles encontrados en el país.

La mayor parte de los vehículos son importados por las grandes franquicias en cada tipo de marca, dentro del automotor considerado en la investigación se puede destacar que era un vehículo que se lo armaba en el país, ayudando de esta forma a identificar datos de pruebas relacionadas con el nivel de quemados de los combustibles, por otro lado también es necesario considerar para las pruebas que la ciudad de Latacunga se encuentra a una altura de 2860 metros sobre el nivel de mar, lo que es un condicionante no solo para el desempeño del vehículo sino también para la combustión incompleta de la gasolina.

Por otro campo se busca realizar la comparación de los combustibles nacionales eco plus y súper, con el fin de realizar un análisis de vibraciones en motores a combustión interna.

Dentro de la metodología el método que se utilizará dentro del artículo tiene un enfoque mixto (cualitativo - cuantitativo), ya que recabara datos técnicos encontrado en el manual del fabricante del vehículo, donde se establece el nivel de calibración que se da en la zona de motor, asociado al uso de los combustibles nacionales, que al no tener una calidad alta reduce el nivel de quema total del combustible en el proceso de combustión. En la investigación, "Performance and cost analysis for ecopaís and super fuels", brinda un estudio controlado y sistemático, a partir del análisis del rendimiento de la gasolina Eco país y Super, en un vehículo de motor de 1500cc, compuesto por cuatro cilindros. De tal forma se realiza una comparación a través de rutas preestablecidas y de instrumentos como el Husdpeed y el GPS velocímetro, que son utilizados para determinar el consumo de combustible (Moequecho, 2018). Por ello se identifica que los costos en base al rendimiento de la gasolina, brinda una mejor prestación el uso de gasolina Super a diferencia de la gasolina Eco país, que es un poco menos costosa, pero por la falta de absorción del etanol existe una corrosión en las partes metálicas así también como la humedad.

La investigación "Análisis de las vibraciones de un motor ciclo Otto con una mezcla de combustible a base de gasolina y de etanol", las pruebas realizadas en el motor se realizaron en condiciones dinámicas y estáticas a partir de la combustión de gasolina de tipo eco país y de gasolina extra, para ello las vibraciones fueron registradas por medio de dispositivos de comunicación móvil y sensores de aceleración (Gutierrez, Puente, &

Iniguez, 2017). Es así que es necesario comprender que la gasolina de tipo Eco país está constituida por un 95% de gasolina de tipo extra y un 5% de etanol, evidenciando que hay un menor nivel de vibraciones en comparación de la gasolina extra.

Además, es necesario recalcar que el combustible Eco país, ha generado una mejor combustión, donde la transformación de la energía de combustible a mecánica, brinda una efectividad progresiva a la transmisión del tren de rodaje.

A partir de la investigación “Detección de fallas a través de análisis de vibraciones mediante la transformada de Wavelets de un motor de combustión interna Sonata 2.0 a gasolina”, donde el manejo adecuado de señales temporales permite reconocer anomalías que se pueden dar en la puesta en marcha del motor del vehículo (Auquilla & Beltran, 2016), por ende la aplicación del método Fourier en conjunto con el análisis Wavelet brindan una mejor presión en zonas que presente un espectro frecuencia que tenga segmentos continuos.

Por ello la señal temporal en base a las vibraciones mecánicas encontradas en el motor, se las debe trabajar en secciones que permitan reconocer el muestreo a partir de la frecuencia del límite o más conocida como el ciclo de trabajo.

En base al resumen ejecutivo del proyecto de titulación “Propuesta de un plan de mantenimiento automotriz para la flota vehicular del gobierno autónomo de la ciudad de Azogues”, se encuentra el estudio del ciclo de vida de los vehículos en base al estado de los componentes internos y externos del equipo, por lo que al momento de realizar actividades de mantenimiento se observa que no existe un documento físico ni virtual de actividades programadas, buscando de esta manera realizar formatos que son entendibles tanto para las personas que omiten la orden como para los operarios que son los encargados de dar el mantenimiento preventivo a los vehículos (Apolo Christian, 2016).

Las investigaciones analizadas brindan una base potencial de datos en post de la mejora del tema de estudio vibraciones de motores a combustión interna, con relación al uso de combustibles nacionales eco plus y súper. Donde el uso de instrumentos y de la toma de pruebas dinámicas y estáticas, son esenciales para identificar como es el trabajo del motor con el uso de los combustibles mencionados y cual nos permite reducir las vibraciones.

Las vibraciones presentan un número ínfimo de actividades que se presenta al colocar al vehículo en la puesta en marcha, donde tanto los niveles de ruido y vibraciones que hacen referencia al caso de estudio, son trascendentales en el análisis de los valores RPM.

## Fundamentación teórica

### Vibración mecánica

Se describe como un movimiento que va en relación a un cuerpo sólido, alrededor de una posición de equilibrio, que se produce por un desplazamiento neto, dicha energía produce diversos efectos, la misma puede ser absorbida por un cuerpo que presente características definidas (Conferencia de Empresarios de Pontevedra, 2014).

La vibración ocasiona desplazamientos y movimientos en una frecuencia inferior de 3 Hz, de tal forma al cuerpo se lo considera como una unidad, que asocia la frecuencia de vibración en la forma diferencial de las distintas fuerzas fluctuantes. Es así que los valores se reflejan de la siguiente forma:

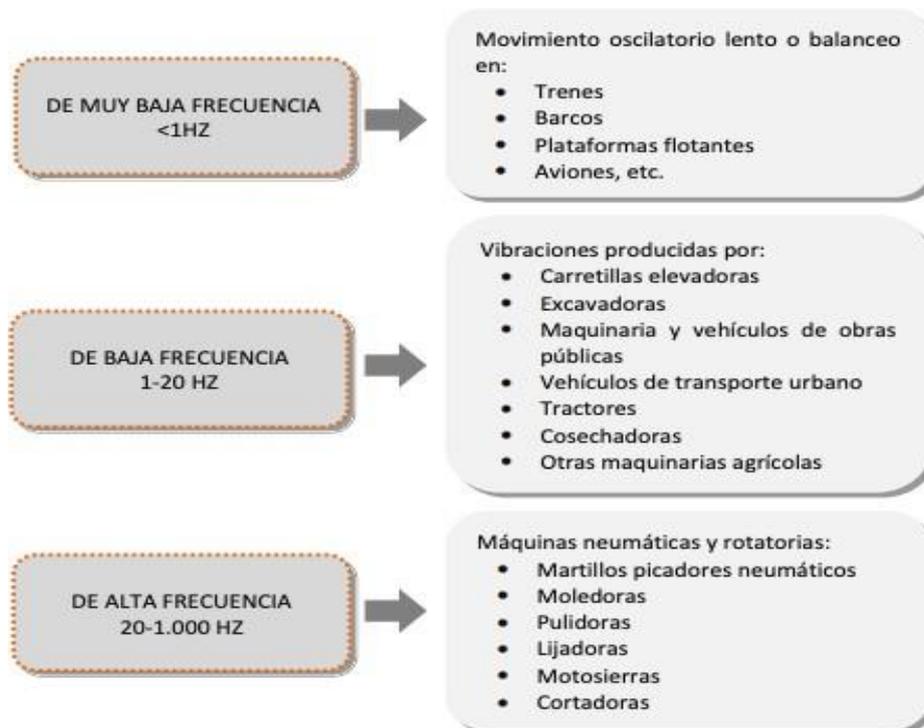


Gráfico 1: Frecuencia

Fuente: (Conferencia de Empresarios de Pontevedra, 2014)

### Combustibles nacionales

El ARC, es la agencia de regulación y control de energías y recursos naturales no renovables que se encargan de verificar el valor en el que el estado ecuatoriano da el valor del combustible a los ciudadanos. Además, se encuentra regido por el decreto ejecutivo 1183 realizando el cálculo de precios en referencia de la gasolina extra con etanol y extra (Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables, 2019).

Tabla 1: Precios referenciales regulados por el estado

Segmento: Automotriz, camaronero, atunero y otras pesquerías		Extra/extra con etanol	Diésel
Precio Terminal (sin I.V.A)	Límite inferior de la banda	\$ 1,876498	\$ 1,306876
	Límite superior de la banda	\$ 2,074025	\$ 1,387713
Solo segmento automotriz		Extra/extra con etanol	Diésel
Precio Venta al Público (en surtidor)	Límite inferior	\$ 2,101677	\$ 1,463701
	Límite superior	\$ 2, 502458	\$ 1, 698088

Fuente: (Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables, 2019)

Tabla 2: Tipos de Vibraciones

CONCEPTOS	DESCRIPCIÓN DE LOS CONCEPTOS
<b>Vibración</b>	Estos movimientos se dividen en dos tipos, de forma natural lo cual significa que es un movimiento propio del cuerpo, esto se da sin ningún estímulo y por otro lado se encuentran el sistema de vibración forzada que es aquella que se mueve mediante estímulos de excitación
<b>Vibraciones de un motor</b>	También se menciona que las vibraciones se dan de forma horizontal en donde recibe una fuerza posicionada en el centro de gravedad del motor
<b>Vibración libre</b>	Sistema ejecutado cuando se separa de su posición de equilibrio y se abandona libremente. La frecuencia correspondiente a la vibración libre del sistema se denomina frecuencia natural
<b>Vibraciones inarmónicas</b>	Las vibraciones se caracterizan porque el período depende de la amplitud y no puede ser representado por funciones armónicas

<b>Vibraciones periódicas</b>	Aquellas en las que el movimiento oscilatorio alrededor de la posición de referencia se repite exactamente después de un cierto periodo de tiempo
<b>Vibraciones amortiguadas</b>	Cada ciclo el sistema pierde energía debido a las características disipadas de la misma razón por la cual la amplitud de la oscilación está disminuyendo
<b>Vibración forzada</b>	Movimiento vibratorio realizado por un sistema mecánico cuando su movimiento es forzado por una perturbación externa. Se llama frecuencia forzada a la frecuencia de la vibración asociada con un sistema excitado periódicamente
<b>Vibraciones aleatorias</b>	Se dice que el movimiento vibratorio es armónico cuando puede ser representado por una función trigonométrica. Esto sucede, en general, cuando la amplitud inicial del movimiento es pequeña, en este caso el período del movimiento es independiente de la amplitud.

---

Fuente: (Moyer, 2022), (Westreicher, 2018), (Vidal, 2021), (Gimeno, 2021), (Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables, 2019) y (Puyol & Velásquez, n.d.)

## **Métodos y Materiales**

### **Metodología**

El análisis de vibraciones se lo realizara en tres vehículos que son Chevrolet Sail - Mazda CX6 - Kia Sportage, llevara un análisis cuantitativo y comparativo de los datos obtenidos de acuerdo con cada una de las características de cada vehículo con los diferentes combustibles, estas pruebas se lo realizo con un equipo apropiado y calibrado bajo las normativas que rigen en el país, así mismo podemos encontrar rangos de vibraciones con un aumento proporcional en base al combustible, para ello se implementa la norma ISO 10816 - 1, que está compuesta por 4 clases que son:

Tabla 3: Límite de velocidad

Velocidad/ Severidad		Límites de Velocidad y Clase de Máquinas					
Mm/s <sup>2</sup> RMS	In/s Peak	Maquinas Pequeñas Clase I	Machinas Medianas Clase II	Machinas Largas			
				Soportes Rígidos Clase III		Soportes Flexibles Clase IV	
0,28	0,02						
0,45	0,03						
0,71	0,04						
1,12	0,06						
1,80	0,10						
2,80	0,16						
4,50	0,25						
7,10	0,40						
11,20	0,62						
18,00	1,00						
28,00	1,56						
45,00	2,51						
	<b>BUENO</b>		<b>NORMAL</b>		<b>ALERTA</b>		<b>PELIGRO</b>

Por otro lado, también se identifica la norma ISO 10816 - 1, que está compuesta por 7 clases, en base a la vibración de gravedad y vibración máxima, dichos datos son:

Tabla 4: Vibración máxima

Vibración Gravedad Nivel	Vibración Máxima			Clase de Maquina						
	Vibración Desplaza. $\mu\text{m}$ RSM	Vibración Velocidad Mm/s RMS	Vibración Acelerar m/s <sup>2</sup> RMS	1	2	3	4	5	6	7
1.1.	< 17.8	< 1.12	< 1.76	A/B	A/B	A/B	A/B	A/B	A/B	A/B
1.8.	< 28.3	< 1.78	< 2.79							
2.8	< 44.8	< 2.82	< 4.42							
4.5	< 71.0	< 4.46	< 7.01							

7.1.	< 113	< 7.07	< 11.1	C						
11	< 178	< 11.1	< 17.6	D	C					
18	< 283	< 17.8	< 27.9			C				
28	< 448	< 28.2	< 44.2				C			
45	< 710	< 44.6	< 70.1		D			C		
71	< 1125	< 70.7	< 111			D			C	
112	< 1784	< 112	< 176				D			C
180	> 1784	> 112	> 176							D

**Nota:** Los valores se derivaron del desplazamiento constante en el rango 2Hz a 10 Hz, velocidad constante a 10Hz a 250 Hz y aceleración constante a 250 Hz a 1000Hz.

A continuación, se presenta la descripción de la simbología.

Tabla 5: Descripción de la simbología

Símbolo	Descripción
A	Maquinas nuevas
B	Funcionamiento continuo sin restricción posible
C	No apto para funcionamiento continuo, operabilidad reducida hasta el próximo mantenimiento programado
D	Vibración demasiado alta, no se pueden excluir daños a la maquina

Es importante identificar los valores de severidad vibracional para que de esa forma puedan asociarse con un tipo de maquina apropiado que considera la masa y el tamaño en base a las características del montaje y las condiciones de operación. Por ello es necesario considerar los grados de severidad vibracional, el mayor valor de la longitud de la maquina sobre el entorno y la aplicación/diseño de los elementos que se encuentran fuera del alcance del estándar, además se identifican las siguientes líneas generales:

- Para aisladores de vibración se considera la ISO 2017
- Efectos vibracionales para edificios se considera ISO 4866

Tabla 6: Valores de vibración

Posición	Valores de Vibración		
	Desplazamiento $\mu\text{m}$ (r.m.s)	Velocidad mm/s (r.m.s)	Aceleración m/s <sup>2</sup> (r.m.s)
R3. 1x	100 [grade 7,1]	15 [grade 7,1]	9 [grade 7,1]
R3. 1y	150 [grade 11]	16 [grade 7,1]	8 [grade 7,1]
R3. 1z	250 [grade 18]	22 [grade 7,1]	10 [grade 7,1]

## Materiales

### Equipos de medición

Tabla 7: Especificaciones técnicas Analizador de Vibraciones

#### ANALIZADOR DE VIBRACIONES



Marca	ADQ
Dimensiones pupitre de comunicación	43*34*18
	Mm
Entradas dinámicas	16
Entradas de Trigger	2
Frecuencia de muestreo	100 a 24000
	muestras/segundo
Exactitud	+/- 0,1 %
Alimentación	110 a 220 VAC

Tabla 8: Especificaciones técnicas Juego de Rodillos

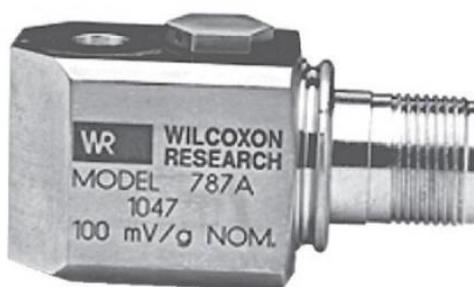
**JUEGOS DE RODILLO**



	Serie R200
Marca	
Diámetro min, de rueda ensayar	0 – 10000
Diámetro de rodillo	318 mm
Distancia entre rodillo	565 mm
Precisión	+/- 2%
Rango RPM	10 – 10000
Fuerza de tracción	Max. 15 Kn
Velocidad de ensayo	Max.200 km/h
Alimentación	400 V 50 Hz

Tabla 9: Especificaciones técnicas Acelerómetro

**ACELERÓMETRO**



Marca	WILCOXON RESEARCH
Fuente de voltaje	18 - 30 VDC
Sensibilidad	100 m V/g
Dimensiones	43 * 34 * 18 mm
Peso	90 gramos
Respuesta de frecuencia	0,7 - 12000 Hz
Rango de aceleración	80 g pico

## Especificaciones de los Vehículos

Tabla 7: Especificaciones técnicas Chevrolet Sail

### CHEVROLET SAIL



### ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Motor	1.5L DOHC WT
Válvulas	16
Potencia (HP@rpm)	109 @ 6.000
Torque (Nm@rpm)	141 @ 4.000
Relación de compresión	10.2:1
Relación final	4.358
Transmisión	Manual - 5 velocidades
Suspensión delantera	McPherson
Suspensión posterior	Eje de torsión
Frenos delanteros	Discos ventilados
Frenos posteriores	Tambor
Llantas	195/55 R15

Tabla 8: Especificaciones técnicas Mazda CX6

**MAZDA CX6**



**ESPECIFICACIONES TÉCNICAS**

**MOTOR SKYACTIV-G 2.5 / Dual S-VT**

<b>Cilindrada</b>	2.488
<b>Potencia</b>	188 @ 6.000
<b>Torque</b>	252 @ 4.000

**TRANSMISIÓN**

Tipo	SKYACTIV-DRIVE(AT) de 6 velocidades
Modo de conducción Sport	Equipado
Cambios al volante	2WD

**FRENOS**

Tipo	Hidráulicos con servicios independientes
Freno	Disco ventilado delantero / Disco solido
Tipo de freno de estacionamiento	EPB (Eléctrico)

**SUSPENSIÓN Y DIRECCIÓN**

Dirección tipo	Asistida eléctrica (EPS)
Suspensión tipo	SKYACTIV-CHASSIS
Suspensión delantera	McPherson Strut con barra estabilizador
Neumáticos	225/45R19
Aros	Aleación de aluminio

Tabla 9: Especificaciones técnicas Kia Sportage

**KIA SPORTAGE**



**Especificaciones Técnicas**

**MOTOR 1.6GDI – manual**

Cilindrada (cc)	1.591
Diámetro x carrera (mm)	77.0 x 85.4
Ratio de compresión	11
Potencia máxima (cv @ rpm)	132 @ 6.300
Par máxima (kg.m @ rpm)	16.4 @ 4.850
Coefficiente aerodinámico	0,33

**TRANSMISIÓN**

Tipo	4 x 2
Transmisión	6 velocidades
Relación final	4.5663

**DIRECCIÓN**

Tipo	Asistida Eléctrica (R - MDIPS)
Diámetro de giro	(4x2: 14.34) / (4x4 : 14.39)
Vueltas de volante (de tope a tope)	2.71
Radio mínimo de giro (m)	5.3

## Resultados

Pruebas realizadas en los vehículos:

- Chevrolet Sail
- Mazda CX6
- Kia Sportage

Tabla 10: Pruebas Gasolina Super

	RALENTÍ	1500 RPM	2500 RPM	3500 RPM
CHEVROLET SAIL	10,1	13,8	54,2	114,4
MAZDA CX6	14,5	36	87,3	164,6
KIA SPORTAGE	19,9	75,2	116,4	157,9

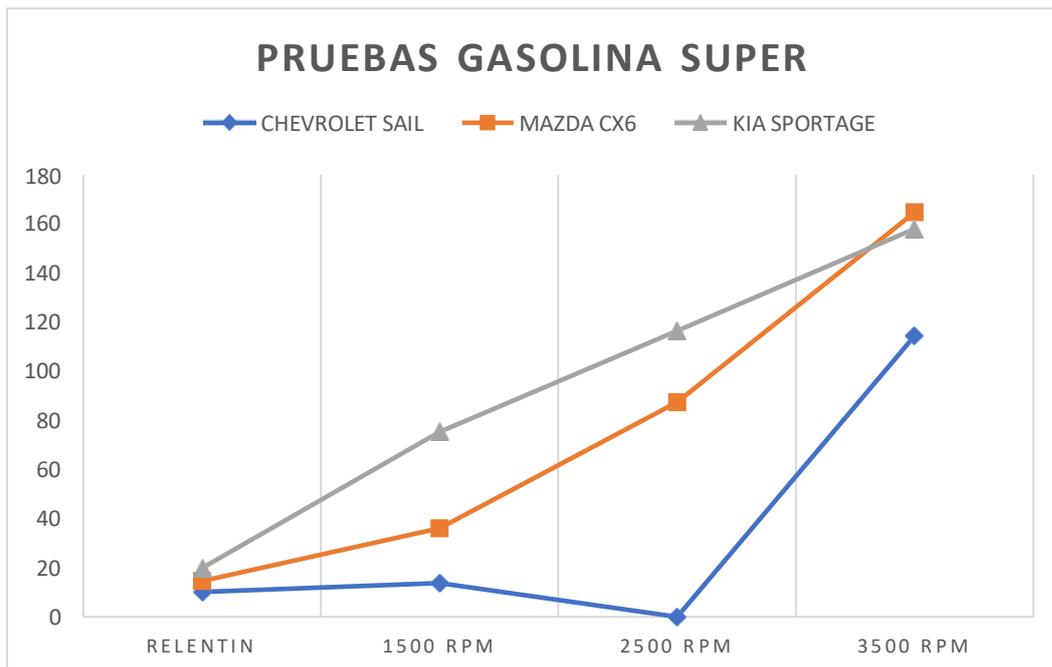


Gráfico 2: Pruebas a gasolina súper y eco plus

### Análisis de Valores

El análisis de vibraciones, en las pruebas de **GASOLINA SUPER** para los vehículos, se identifica los siguientes datos que arrojaron las pruebas a partir de ralentí, 1500 RPM, 2500 RPM, 3500 RPM:

Tabla 11: Pruebas Gasolina Super

<b>RALENTÍ</b>		
<b>Vehículo</b>	<b>Valor</b>	<b>Datos</b>
Chevrolet Sail	Bajo	10,1 (m. s <sup>2</sup> )
Kia Sportage	Alto	19,9 (m. s <sup>2</sup> )
<b>1500 RPM</b>		
<b>Vehículo</b>	<b>Valor</b>	<b>Datos</b>
Chevrolet Sail	Bajo	13,8 (m. s <sup>2</sup> )
Kia Sportage	Alto	75,2 (m. s <sup>2</sup> )
<b>2500 RPM</b>		
<b>Vehículo</b>	<b>Valor</b>	<b>Datos</b>
Chevrolet Sail	Bajo	54,2 (m. s <sup>2</sup> )
Kia Sportage	Alto	116,4 (m. s <sup>2</sup> )
<b>3500 RPM</b>		
<b>Vehículo</b>	<b>Valor</b>	<b>Datos</b>
Chevrolet Sail	Bajo	114,4 (m. s <sup>2</sup> )
Kia Sportage	Alto	157,9 (m. s <sup>2</sup> )

Dentro de los datos obtenidos en pruebas estáticas en los vehículos se menciona que, en 3500 RPM, son los valores más altos

Tabla 12: Pruebas Gasolina Eco Plus

	<b>RALENTÍ</b>	<b>1500 RPM</b>	<b>2500 RPM</b>	<b>3500 RPM</b>
<b>CHEVROLET SAIL</b>	12,1	15,8	56,2	116,4
<b>MAZDA CX6</b>	16,5	38	89,3	166,6
<b>KIA SPORTAGE</b>	21,9	77,2	118,4	159,9

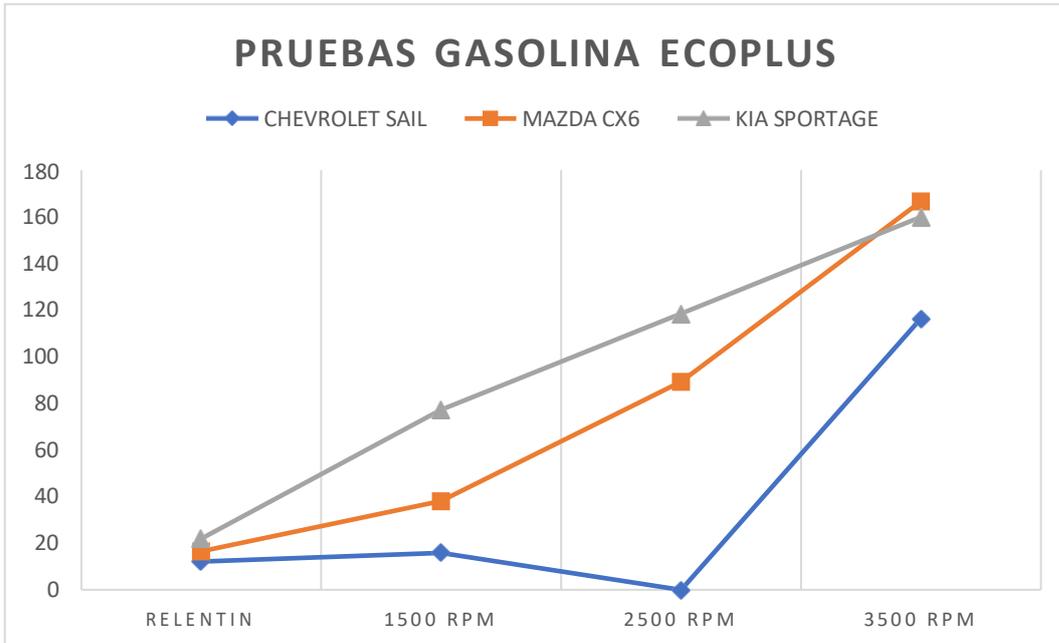


Gráfico 3: Pruebas gasolina eco plus de los vehículos

### Análisis de Valores

Por lo general dentro del análisis de vibraciones, en las pruebas de gasolina **ECO PLUS**, se identifica los siguientes datos que arrojaron las pruebas:

Tabla 13: Pruebas Gasolina Eco Plus

RALENTÍ		
Vehículo	Valor	Datos
Chevrolet Sail	Bajo	12,1 (m. s <sup>2</sup> )
Kia Sportage	Alto	21,9 (m. s <sup>2</sup> ).
1500 RPM		
Vehículo	Valor	Datos
Chevrolet Sail	Bajo	15,8 (m. s <sup>2</sup> )
Kia Sportage	Alto	118,4 (m. s <sup>2</sup> )
2500 RPM		
Vehículo	Valor	Datos
Chevrolet Sail	Bajo	56,2 (m. s <sup>2</sup> )
Kia Sportage	Alto	118,4 (m. s <sup>2</sup> )
3500 RPM		
Vehículo	Valor	Datos

Chevrolet Sail	Bajo	116,4 (m. s <sup>2</sup> )
Kia Sportage	Alto	159,9 (m. s <sup>2</sup> ).

Dentro de los datos obtenidos en pruebas estáticas en los vehículos se menciona que, en 3500 RPM, son los valores más altos

### Análisis comparativo de la gasolina super y eco plus

Tabla 14: Análisis comparativo Chevrolet Sail

#### Chevrolet Sail

	Gasolina Super	Gasolina Eco Plus
<b>RALENTÍ</b>	10,1	12,1
<b>1500 RPM</b>	13,8	15,8
<b>2500 RPM</b>	54,2	65,2
<b>3500 RPM</b>	114,4	116,4

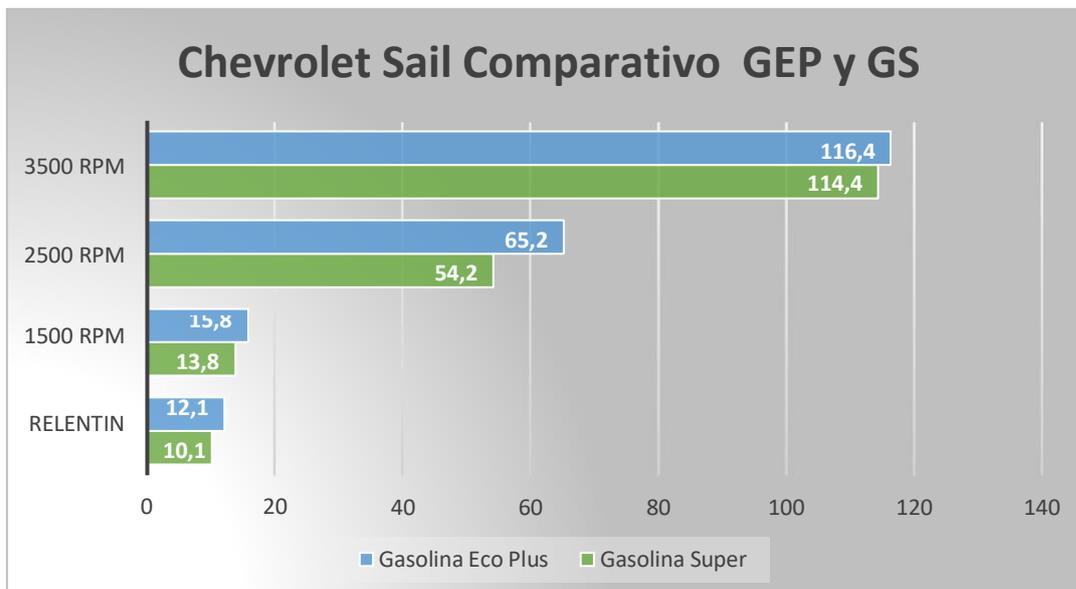


Gráfico 4: Análisis comparativo de gasolina en vehículo Chevrolet Sail

Dentro de los valores que se muestran en el gráfico 4 análisis comparativo de gasolina vehículo Chevrolet Sail, se observa que los valores en las pruebas de ralentí, 1500 RPM y 3500 RPM difieren en un 2%. Excepto el valor de la prueba de 2500RPM, que difiere en un 11% a relación de las demás pruebas. Por tal motivo el uso de gasolina súper

reduce el nivel de vibraciones y frecuencia que se da en la zona del motor, al momento del proceso de combustión.

Tabla 15: Análisis comparativo Mazda CX6

**Mazda CX6**

	<b>Gasolina Super</b>	<b>Gasolina Eco plus</b>
RALENTÍ	14,5	16,5
1500 RPM	36	38
2500 RPM	87,3	89,3
3500 RPM	164,6	166,6

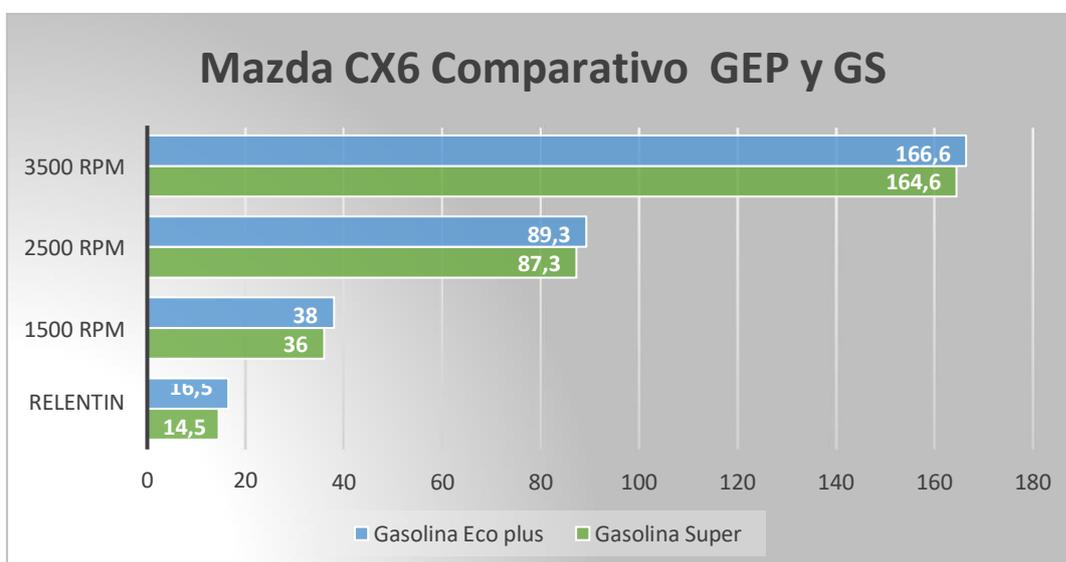


Gráfico 5: Análisis comparativo de gasolina en vehículo Mazda CX6

Dentro de los valores que se muestran en el gráfico 6 análisis comparativo de gasolina vehículo Mazda CX6, se observa que los valores en las pruebas de ralenti, 1500 RPM, 2500 RPM y 3500 RPM, difieren en un 2% lo cual hace referencia que el uso de gasolina súper reduce el nivel de vibraciones y frecuencia que se da en la zona del motor, al momento del proceso de combustión.

Tabla 16: Análisis comparativo Kia Sportage

**Kia Sportage**

	<b>Gasolina Super</b>	<b>Gasolina Eco plus</b>
<b>RALENTÍ</b>	19,9	21,9
<b>1500 RPM</b>	75,2	77,2
<b>2500 RPM</b>	116,4	118,4
<b>3500 RPM</b>	157,9	159,9

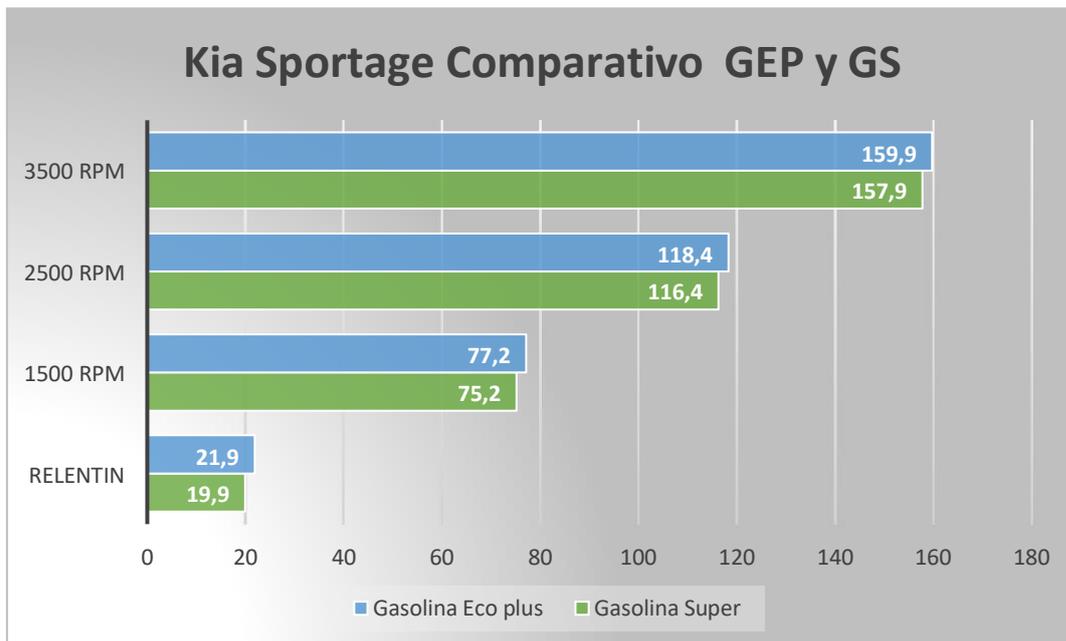


Gráfico 6: Análisis comparativo de gasolina en vehículo Kia Sportage

Dentro de los valores que se muestran en el gráfico 6 análisis comparativo de gasolina vehículo Kia Sportage, se observa que los valores en las pruebas de ralentí, 1500 RPM, 2500 RPM y 3500 RPM, difieren en un 2% lo cual hace referencia que el uso de gasolina súper reduce el nivel de vibraciones y frecuencia que se da en la zona del motor, al momento del proceso de combustión.

## Conclusiones

Se concluye que los efectos que tienen los combustibles nacionales eco plus y súper, al momento del proceso de combustión en los vehículos seleccionados, tiene una relación directa en las vibraciones del motor, además de los efectos producidos por la variación de octanaje que poseen los combustibles nacionales, de esta forma se expresa que la gasolina súper reduce notablemente las vibraciones del motor al momento de la puesta en marcha.

El análisis realizado en los vehículos Chevrolet Sail, Mazda CX6 y Kia Sportage, han tenido diferentes parámetros uno de los más altos es en las pruebas a 3500 RPM, dichas pruebas se realizaron de manera estática en los vehículos, además de considerar el análisis comparativo en base al combustible utilizado para ello se observa que:

En el vehículo Chevrolet Sail a utilizar gasolina súper las vibraciones se reducen en un 2% en pruebas de ralentí, 1500RPM y 3500RPM excepto en la prueba de 2500RPM que presenta un valor de 11%.

En los vehículos Mazda CX6 y Kia Sportage al utilizar gasolina súper las vibraciones se reducen en un 2% a nivel general, en contraparte con el uso de gasolina Eco Plus las vibraciones aumentaron en un 7% en la prueba a 3500RPM del vehículo Kia Sportage en consideración del vehículo Mazda CX6, este aumento se da por la calidad del combustible que tienen un menor octanaje al momento de la combustión en el motor.

En síntesis, el análisis de vibraciones en los vehículos mencionados va acorde al tipo de gasolina que se utilice por lo que se ha visto que las pruebas realizadas tienen una mejor composición al utilizar gasolina Súper, por el nivel de octanaje que tiene dicha gasolina. Por ello también los mecanismos internos tienen un mejor nivel de durabilidad por la calidad en la combustión del combustible.

## Referencias

- [1] Auquilla, H., & Beltran, C. (2016). Detección de fallas a través de análisis de vibraciones mediante la transformada de Wavelets de un motor de combustión interna Sonata 2.0 a gasolina. Obtenido de Repositorio Universidad Politécnica Salesiana: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/12028/1/UPS-CT005834.pdf>
- [2] Análisis microestructural y diseño de cigüeñal. (2019). Ciencia Digital, 3(1).  
Cabrera, M. (diciembre de 2019). Utilidad de un pistón y un forjado en un Chevrolet Aveo 1.4 cc. 2008. Polo del conocimiento, 4(12), 67-86.  
Gimeno, P. (2021). Descubre los principales componentes del motor. Recuperado el septiembre de 2022, de DOLZ: <https://www.idolz.com/2021/08/12/descubre-los-principales-componentes-del-motor-y-sus-funciones/>
- [3] Guamán, H., & Ávila, O. (2020). Análisis de la degradación y vida útil del lubricante motor. Recuperado el septiembre de 2022, de Repositorio Universidad Politécnica Salesiana: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/18781/1/UPS-CT008777.pdf>
- [4] Gutierrez, M., Puente, E., & Iniguez, J. (2017). Análisis de las vibraciones de un motor ciclo Otto con una mezcla de combustible a base de gasolina y de etanol. INNOVA Research Journal , 2(10), 138-146.  
Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables: <https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/precios-combustibles/>
- [5] Moequecho, F. (2018). Performance and cost analysisi for ecopaís and super fuels. INNOVA Research Journal, 3(10), 135-149.  
Análisis microestructural y diseño de cigüeñal. (2019). Ciencia Digital, 3(1).  
Apolo Christian, M. C. (2016). Propuesta de un Plan de Mantenimiento Automotriz para la flota vehicular del Gobierno Autonomo de la Ciudad de Azogues. Universidad Politécnica Salesiana de Cuenca, Cuenca.  
Auquilla, H., & Beltran, C. (2016). Detección de fallas a través de análisis de vibraciones mediante la transformada de Wavelets de un motor de combustión interna Sonata 2.0 a gasolina. Obtenido de Repositorio Universidad Politécnica Salesiana: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/12028/1/UPS-CT005834.pdf>
- [6] Cabrera, M. (Diciembre de 2019). Utilidad de un pistón y un forjado en un Chevrolet Aveo 1.4 cc. 2008. Polo del conocimiento, 4(12), 67-86.  
Conferencia de Empresarios de Pontevedra. (2014). Vibraciones mecanicas. Factore relacionados con la fuente y medida de control . Obtenido de Es importante analizar la compresión y la posición de los pistones en el caso de motores de más de un cilindro, ya que, en el motor de combustión interna, las vibraciones son causadas por las masas de movimiento alternativo y giratorio del motor,  
Gimeno, P. (2021). Descubre los principales componentes del motor. Recuperado el Septiembre de 2022, de DOLZ: <https://www.idolz.com/2021/08/12/descubre-los-principales-componentes-del-motor-y-sus-funciones/>

- [7] Guamán, H., & Ávila, O. (2020). Análisis de la degradación y vida útil del lubricante motor. Recuperado el Septiembre de 2022, de Repositorio Universidad Politécnica Salesiana: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/18781/1/UPS-CT008777.pdf>
- [8] Gutierrez, M., Puente, E., & Iniguez, J. (2017). Análisis de las vibraciones de un motor ciclo Otto con una mezcla de combustible a base de gasolina y de etanol. INNOVA Research Journal , 2(10), 138-146.
- Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables. (2019). Precios de Combustibles. Recuperado el Septiembre de 2022, de Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables: <https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/precios-combustibles/>
- [9] Moequecho, F. (2018). Performance and cost analysisi for ecopaís and super fuels. INNOVA Research Journal, 3(10), 135-149.
- Molina, J., & Tapuy, D. (2018). Repositorio ESPOCH. Recuperado el Septiembre de 2022, de Análisi de materiales alternativos para la fabricación del block de un motor Pyp 10 mediante los métodos CAD,CAE, CAM: <http://dspace.esepoch.edu.ec/bitstream/123456789/9961/1/65T00284.pdf>
- [10] Moyer, M. (Julio de 2022). El motor de combustión interna. Investigación y Ciencia, 1(1).
- Puyol, P., & Velásquez, C. (s.f.). Análisis de las vibraciones generadas en la suspensión de vehículos comercializados en el Ecuador. Recuperado el Septiembre de 2022, de Repositorio UNACH: <http://dspace.esepoch.edu.ec/bitstream/123456789/10131/1/65T00296.pdf>
- [11] RODESPREX. (2016). Norma ISO 10816. Obtenido de EXPOR- - IMPORT S.L.: <https://www.rodamientos.com/assets/img/services/servbenf04.pdf>
- [12] Velástegui, S., & Benítez, J. (2015). Repositorio Dspace. Recuperado el Septiembre de 2022, de Análisis de los parámetros característicos de un motor de combustión interna con inyección directa de hidrógeno: <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/9512>
- Vidal, F. (2021). STEL Order. Recuperado el Septiembre de 2022, de Mantenimiento Preventivo: <https://www.stelorder.com/blog/mantenimiento-preventivo/>
- [13] Westreicher, G. (2018). Economipedia. Recuperado el Septiembre de 2022, de Mantenimiento: <https://economipedia.com/definiciones/mantenimiento.html>
- [14] Vidal, F. (2021). STEL Order. Recuperado el septiembre de 2022, de Mantenimiento Preventivo: <https://www.stelorder.com/blog/mantenimiento-preventivo/>

**Anexos:**

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE MATRIZ CUENCA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA AUTOMOTRIZ**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico  
Automotriz**

**“DETECCIÓN DE FALLAS A TRAVÉS DE ANÁLISIS DE VIBRACIONES  
MEDIANTE LA TRANSFORMADA DE WAVELETS DE UN MOTOR DE  
COMBUSTIÓN INTERNA SONATA 2.0 A GASOLINA”**

**Autores:**

**Héctor Adrián Auquilla Veintimilla**

**César Daniel Beltrán Orellana**

**Director:**

**Ing. Néstor Diego Rivera Campoverde Msc.**

**Cuenca, Abril 2016**

## 1 INTRODUCCIÓN

La Teoría Wavelet se desarrolló en los años 30, pero en aquella época no se consideraba como una teoría coherente, con el transcurso de los años en la época de los 80 se considera dar importancia a esta teoría de wavelet gracias a la contribución de Goupillaud, Grosman y Morlet con avances en trabajos e investigaciones los cuales establecieron los criterios y bases para lo que hoy se conoce como la Transformada de Wavelet Continua, además de Ingrid Daubechéis quien propuso las wavelets ortogonales.

Debido al avance que se ha tenido en la actualidad sobre el mantenimiento de maquinaria mediante el análisis de vibraciones, se introduce este análisis al mantenimiento de motores térmicos alternativos complementado con el análisis wavelet el cual tuvo su desarrollo en el análisis de señales y formas temporales permitiendo así identificar valores característicos.

## 2 PROBLEMA

En la actualidad se han realizado varios trabajos en el manejo de señales temporales para detectar anomalías en el funcionamiento de motores alternativos, dichos estudios se han desarrollado principalmente utilizando la Transformada de Fourier, [1], [2], sin embargo se ha visto la necesidad de poder analizar señales que no se comportan de forma estacionaria, o que presentan cambios bruscos en intervalos muy pequeños de tiempo, donde el método de Fourier pierde su alcance resultando imposible determinar el instante de un determinado evento; el análisis Wavelet permite el uso de intervalos grandes de tiempo en aquellos segmentos en los que se requiere mayor precisión en baja frecuencia y zonas o regiones específicas a lo largo de todo el espectro frecuencial, [3] por lo que constituye un método ideal para el análisis y manejo de las variables como las señales de: Aceleración, emisión acústica y de detonación

### 2.1 ANTECEDENTES

Actualmente se han desarrollado técnicas y análisis de vibraciones que permiten optimizar el Mantenimiento Predictivo de máquinas rotativas, principalmente mediante el análisis de señales por la Transformada de Wavelets se notan muy buenos y eficientes resultados en la detección automática de defectos en rodamientos [4]; sin

## ESPECIFICOS.

- Desarrollar el plan experimental para realizar las pruebas y obtener los datos de las mismas.
- Adquirir las señales y datos mediante un método experimental que garantice la fidelidad de los datos.
- Analizar las señales mediante la Transformada de Wavelets.
- Extraer los valores característicos de las señales.

## 4 ESTADO DEL ARTE

### 4.1 Transformada Discreta de Fourier

Una Transformada Discreta de Fourier o por sus siglas en inglés DFT, es el nombre dado a la transformada de Fourier cuando se aplica a una señal digital (discreta) en vez de una analógica (continua) [11].

### 4.2 Transformada Rápida de Fourier

Las Transformadas Rápidas de Fourier son algoritmos especializados que permiten a un procesador digital hacer el cálculo de la Transformada Discreta de Fourier de una forma eficiente, en lo que respecta a carga computacional y tiempo de procesamiento [12].

También se describe como la transformación del dominio del tiempo al dominio de frecuencia, esto siendo muy útil para el análisis de los fenómenos que están en función del tiempo [13].

### 4.3 Transformada Continua de Wavelet (CWT)

La Transformada Continua de Wavelet es capaz de detectar señales tanto estacionarias como señales transitorias, volviéndose una técnica de gran importancia y utilidad ya que a través del análisis de sonidos o vibraciones se puede diagnosticar fallas de maquinarias.

El proceso de esta técnica de la CWT es una descomposición de tiempo-frecuencia el cual vincula una función de dominio de tiempo para una representación en el dominio wavelet tiempo-escala, siendo el concepto de escala relacionado directamente con la frecuencia. Se considera que las pequeñas escalas relacionadas con duración corta

corresponde a las características de alta frecuencia, mientras que las escalas grandes relacionadas con duración larga tienen características de baja frecuencia.

La transformada Continua de Wavelet de una señal con respecto al tiempo  $f(t)$  puede estar descrita por lo siguiente:

$$(CWTx)(a, b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad (4.1)$$

En la ecuación 4.1, indica que la CWT de la  $f(t)$  es igual al producto de la señal analizada por la función familia, cual está definida por:

$$\psi_{a,b} = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (4.2)$$

Siendo la función Wavelet,  $\psi(t)$  en el espacio  $L^2(\mathcal{R})$ , mientras que  $a$  y  $b$  son los parámetros de dilatación y traslación respectivamente.

Para que la función wavelet sea la correcta esta debería satisfacer dos condiciones:

1. Que la  $\psi(t)$  y su transformada de Fourier  $\tilde{\psi}(f)$ , satisfaga la condición de admisibilidad.

$$C_{\psi} = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{|\tilde{\psi}(f)|^2}{f} df < \infty \quad (4.3)$$

Esta condición indica que la reconstrucción desde el CWT es posible de la señal original.

$$f(t) = \frac{1}{C_{\psi}} \int_{-\infty}^{\infty} \int_0^{\infty} (CWTf)(a, b) \psi_{a,b}(t) \frac{da db}{a^2} \quad (4.4)$$

2. Una wavelet  $\psi(t)$  es una función de promedio cero.

$$\int_{-\infty}^{\infty} \psi(t) dt = 0 \quad (4.5)$$

La CWT y sus coeficientes comprenden información de tiempo y bandas de escala, mientras que los parámetros de dilatación y traslación, siendo  $a$  y  $b$  correspondientemente están sujetos a variaciones continuas haciendo que la CWT sea más compleja y que consuma tiempo.

La discretización de los parámetros de la dilatación y traslación ayuda a reducir la complejidad el tiempo de calcula de la CWT [14], [15].

#### 4.3.1 Familias de Funciones Wavelets

Para realizar la descomposición de una señal se tiene que depender de una función básica llamada Wavelet madre.

A estas funciones wavelets se les denominan familias, teniendo cada una de ellas características como:

**Momentos de desvanecimiento:** Es la propiedad que se relaciona con la compresión de información y eliminación de ruido, además estará directamente relacionada con la selectividad de la descomponían wavelet.

**Tamaño del soporte:** Esta relaciona directamente con la cantidad de momentos de desvanecimiento, normalmente esta característica está relacionada con la cantidad de coeficientes del filtro.

**Regularidad:** es la capacidad que tiene una wavelet para reconstruir una señal a partir de los coeficientes calculados [16].

**Ortogonalidad:** Es una característica de gran importancia ya que permite que los análisis sean estables, matemáticamente es una propiedad que se obtiene cuando el producto punto de dos vectores es igual a cero [17].

A continuación se describirán brevemente las familias wavelets más empleadas:

##### 4.3.1.1 Haar

Las familias wavelet empiezan con la familia de Wavelet Haar, siendo la más empleada para análisis de señales debido a su forma de onda sencilla, siendo esta en forma de escalón [17], como se indica en la figura 1.

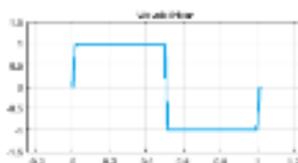


Figura 1. Familia Haar.  
Fuente: Matworks®

#### 4.3.1.2 Daubechies

El nombre corto de esta familia es  $dbN$ , en donde  $N$  va a representar el número de momentos de desvanecimientos deseados, además de tener ortogonalidad, esta wavelet puede ser empleada para realizar transformadas discretas y continuas, teniendo en cuenta que  $db1$  es igual que a la wavelet Haar [17]. En la figura 2 se indica la familia Daubechies desde el nivel 2 al nivel 7

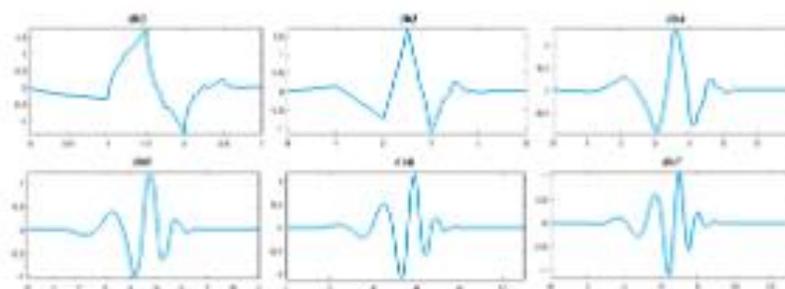


Figura 2. Familia Daubechies desde el nivel 2 al 7  
Fuente: Matworks®

#### 4.3.1.3 Symmlets

Esta familia tiene la característica de entregar algo de simetría a la familia Daubechies, siendo esto denotando como  $symN$ , siendo  $N$  el orden, empezando desde 2 hasta 45 [17]. En la figura 3 se indica la familia Symmlet desde un orden 2 hasta un orden 7.

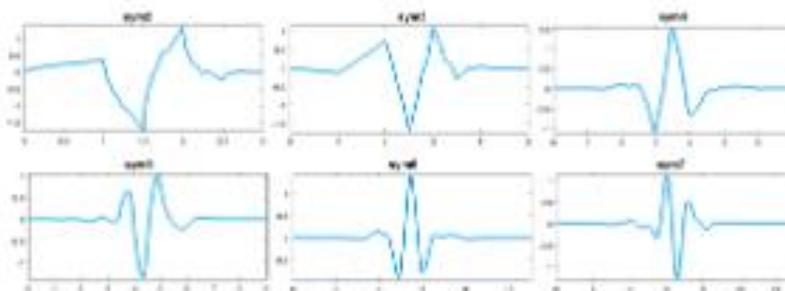


Figura 3. Familia Symmlet de orden 2 al 7  
Fuente: Matworks®

### 7.3 Resultados del Análisis con wavelet cruzada y coherencia entre fase de señales

El programa detecta automáticamente las escalas y desfase en los que las dos señales temporales son más coincidentes (línea blanca Figura 45 y 46) y más diferentes (línea negra Figura 45 y 46). Los resultados de cruzar señales iguales y distintas se muestran en las tablas 11 y 12 respectivamente.

Tabla 11. Resultados CWT Cruzada para las señales SONATA2.0.GAS.0,3-1-22,06-100-760\_1\_STD y SONATA2.0.GAS.0,3-1-22,06-100-760\_2\_STD

Señales cruzadas	Máxima Coherencia		Mínima Coherencia	
	Covarianza	Desfase	Covarianza	Desfase
SONATA2.0.GAS.0,3-1-22,06-100-760_1_STD	0,98429213	0,48231264	0,62196393	0,2925983
SONATA2.0.GAS.0,3-1-22,06-100-760_2_STD				

Tabla 12 Resultados CWT Cruzada para las señales SONATA2.0.GAS.0,3-1-22,06-100-760\_1\_STD y SONATA2.0.GAS.0,125-1-14,8-62,5-760\_1

Señales cruzadas	Máxima Coherencia		Mínima Coherencia	
	Covarianza	Desfase	Covarianza	Desfase
SONATA2.0.GAS.0,3-1-22,06-100-760_1_STD	0,97975963	0,0586807	0,70061003	-0,40384155
SONATA2.0.GAS.0,125-1-14,8-62,5-760_1				

Para la validación de resultados se toman los valores extraídos de las señales de dos pruebas y sus respectivas corridas, generando un cuadro de variación en el que se muestra que los valores entre las corridas tienen poca variabilidad, mientras que entre pruebas distintas existe mayor variabilidad. La variabilidad entre pruebas son muy pequeñas, esto se debe a que se está tratando con fallas insipientes cuyos efectos son minúsculos pero demostrables.

En la figura 47 se muestra la gráfica de caja de los valores característicos obtenidos con la FFT para cada una de las corridas de las pruebas SONATA2.0.GAS.0,3-1-22,06-100-760\_STD y SONATA2.0.GAS.0,125-1-14,8-62,5-760\_FALLA, aunque 5 de los 9 parámetros se separen, ninguno tiene una separación considerable para poder inferir que hay alguna diferencia entre las señales, en consecuencia no se puede

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE CUENCA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA AUTOMOTRIZ**

*Trabajo de titulación previo  
a la obtención del título de  
Ingeniero Mecánico Automotriz*

**PROYECTO TÉCNICO:**

**“ANÁLISIS DE LA DEGRADACIÓN Y VIDA ÚTIL DEL LUBRICANTE  
MOTOR, EN UN VEHÍCULO MODELO ACTROS 3353S MEDIANTE  
ENSAYOS DE VISCOSIDAD Y TBN”**

**AUTORES:**

HENRY ROLANDO GUAMÁN ALBARRACÍN  
OSWALDO MARCELO ÁVILA PESÁNTEZ

**TUTOR:**

ING. LAURO FERNANDO BARROS FAJARDO, MSc.

CUENCA - ECUADOR

2020

## ANTECEDENTES DEL PROBLEMA DE ESTUDIO

La Compañía De Transporte Pesado BRACAZUA S.A. se dedica al transporte de materiales pétreos para las diversas construcciones en la localidad del Austro y a nivel del país, por lo tanto, los socios de la compañía utilizan vehículos modernos con motores potentes superando los doce mil centímetros cúbicos, ya que son motores que permiten un rendimiento óptimo para el transporte de carga pesada favoreciendo la entrega y distribución de los materiales pétreos.

Estos vehículos genera altos costos de mantenimiento preventivo por su tipo de carga, las distancias largas y el tipo de vías que frecuentemente recorren, es por tal razón que los socios de la compañía buscan la forma de abaratar costos de mantenimiento preventivo, talvez en el cambio de aceite ya que los vehículos recorren un promedio de 450 kilómetros diariamente, necesitando realizar cada 18 días o 8100 km de trabajo un cambio de lubricante, es así que se consideran 15 cambios anuales aproximadamente a un costo de 460USD por cada unidad, de esta manera anualmente genera un costo de 6.900USD en el año.

En este grupo de transporte pesado se ha realizado limitadas pruebas o análisis de la vida útil del lubricante, rigiéndose a recomendaciones de distribuidores y mecánicos. Estas unidades necesitan un mantenimiento preventivo para su correcto funcionamiento generando así varios gastos siendo uno de estos el deterioro del aceite del motor

La carencia de estudios de tribología y técnicas no intrusivas en la compañía "BRACAZUA S.A. de transporte de materiales pétreos, genera incertidumbre en la durabilidad del lubricante empleado, este tipo de transporte demanda alto costo de operación por lo que la confiabilidad de un equipo puede aumentar al analizar el comportamiento del lubricante.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

- Analizar la degradación y vida útil del lubricante motor, en un vehículo modelo Actros 3353s mediante ensayos de viscosidad y TBN.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICO**

- Realizar el estudio del estado del arte para determinar los factores que inciden la degradación del lubricante en motores diésel.
- Realizar el muestreo del lubricante motor diésel, mediante el seguimiento de un protocolo a determinados kilómetros de recorridos para un análisis de las propiedades de viscosidad y TBN mediante ensayos en un laboratorio.
- Evaluar los resultados obtenidos en el laboratorio, haciendo una comparativa de los límites dados por el fabricante, determinando los factores de la degradación y la pérdida de sus propiedades de viscosidad y TBN permitiendo descubrir con mayor certeza la vida útil del lubricante.

#### 1.4. TIPOS DE LUBRICACION

Los tipos de lubricación bajo el cual va a trabajar un mecanismo dependerá mucho de la forma de película lubricante que este entre las dos superficies metálicas. A continuación, se describe la curva de Stribeck apreciando en la Figura 1.20. (Roberto García, 2011)

La variación del coeficiente de fricción fue descrita en el año 1902 por Stribeck utilizando el parámetro de Hersey.

$$H = \frac{\eta \cdot v}{FN} \quad \text{Ec. (4)}$$

Donde:

- [V] Es la velocidad de deslizamiento
- [ $\eta$ ] La viscosidad dinámica
- [Fn] Fuerza normal aplicada



Figura 1.20 Parámetros de Lubricación  $\eta \cdot v / f_n$

Fuente: (Roberto García, 2011)

Partiendo del punto más bajo de la curva:

1. Si el parámetro [H] (**Parámetro de Hersey**) aumenta, el coeficiente de fricción [f] aumenta muy poco en relación, esto significa que entre los elementos en contacto se dispone una película gruesa y estable de lubricante que evita el contacto directo. (Zona de lubricación Hidrodinámica)
2. En el caso de que la variable [H] disminuya, la variable [f] aumenta exponencialmente hasta alcanzar un valor fijo. La capa de lubricación se hace

Tabla 3.14 Valores de viscosidad en función del recorrido.

Fuente: Autor

N° Muestra	KILOMETROS	VISCOSIDAD (cSt) a 100°C	Lim Min	Lim Max	N° Base
	0	14,9	11,92	17,88	14,9
1	1148	14,08	11,92	17,88	14,9
2	2148	13,93	11,92	17,88	14,9
3	3150	13,91	11,92	17,88	14,9
4	4344	13,93	11,92	17,88	14,9
5	5211	13,84	11,92	17,88	14,9
6	6155	13,79	11,92	17,88	14,9
7	7148	13,58	11,92	17,88	14,9
8	8248	13,63	11,92	17,88	14,9
9	9400	13,58	11,92	17,88	14,9
10	10835	13,49	11,92	17,88	14,9
11	11835	13,51	11,92	17,88	14,9
12	12434	13,48	11,92	17,88	14,9

Las muestras de aceite se tomaron cada 1.000 Km de recorrido. Comparando con el valor de viscosidad de la tabla 3.9 a los 8.546 Km es de 8.546 Km es de 13.5 cSt a 100 °C y el valor actual la viscosidad a los 8.346 Km es de 13.63 cSt a 100 °C podemos ver que en la figura 3.4 existe una degradación más lenta gracias a un adecuado mantenimiento de la maquinaria.

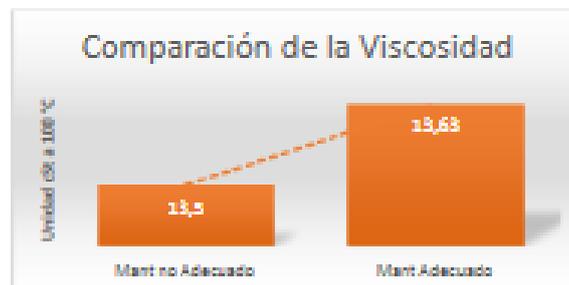


Figura 3.4 Comparativa de Viscosidad

Fuente: Autor.

Obteniendo un margen de diferencia de 0.13 cSt y se pudo recorrer un valor aproximado de 2.000 Km más para llegar a un valor de viscosidad de 13.49 cSt

Al graficar la tabla 3.14 obtenemos la variación de la viscosidad en función del kilometraje recorrido. Esto lo podemos apreciar en la figura 3.5.

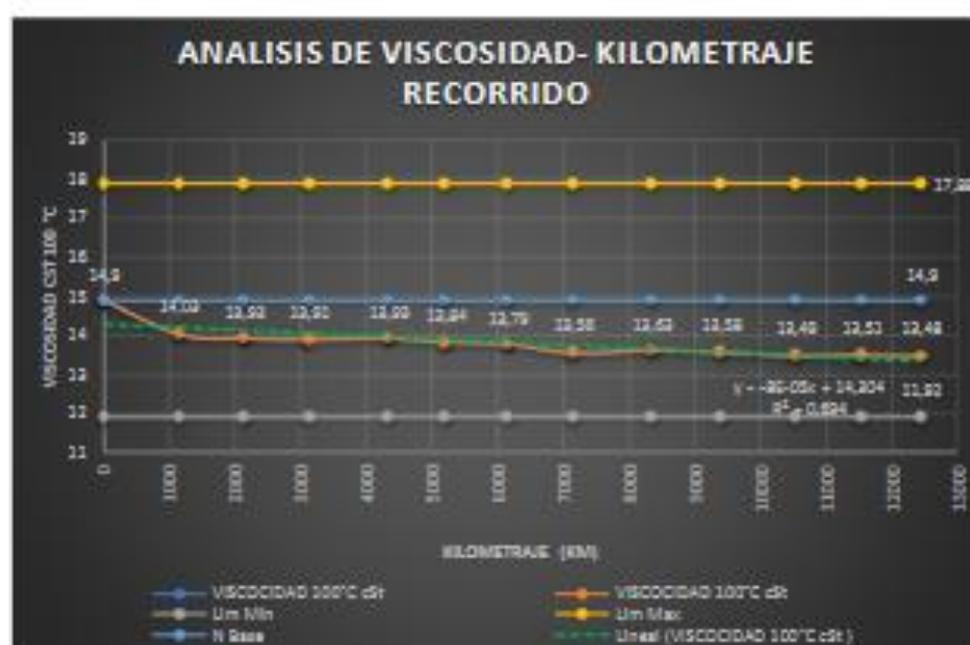


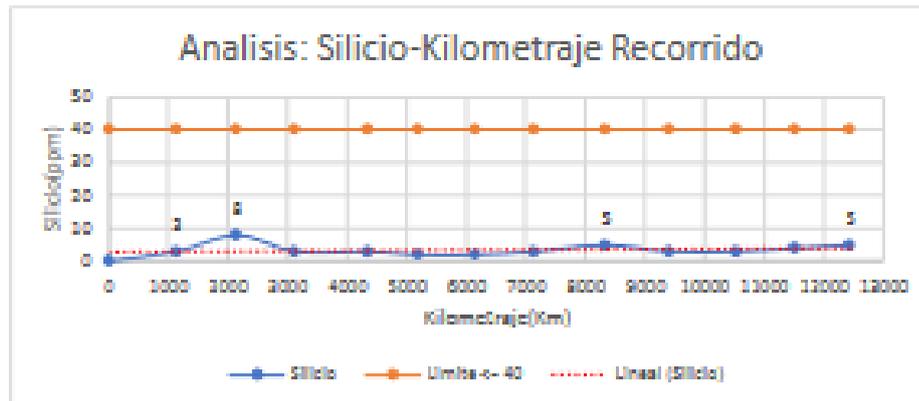
Figura 3.5 Comportamiento de la Viscosidad del aceite Delo 400XLE SAE 15W-40

Fuente: Autor

Los valores de viscosidad están dentro del rango establecido por los límites condensationarios para lubricantes SAE15W-40. Se grafica también una línea de tendencia que predice la trayectoria de esta propiedad. El lubricante Delo 400XLE SAE15W-40 con un correcto mantenimiento le permite obtener un recorrido hasta 12.434 Km y el porcentaje utilizado de viscosidad es -9.54%. El valor más bajo de viscosidad es de 13.48 cSt, si el valor fuera inferior a 11.92 cSt, podría ser por diversos factores entre estos están: contaminación, el lubricante no es el adecuado, dilución de aditivos y alta presencia de hollín en el motor.

### 3.3. TBN

El TBN o número total base es la cantidad de aditivos detergentes dispersantes que tiene el aceite. La elaboración de estudio tiene como objetivo el análisis detallado de esta propiedad por tratarse de las más importante al momento de extender el uso de un lubricante.



*Figura 3.15 Comportamiento del Silicio del aceite Delo 400XLE SAE15W-40.*

*Fuente: Autor*

Si los resultados seguían ascendiendo en los próximos muestreos es motivo para detener la operación de la maquinaria y realizar un diagnóstico. A pesar de que el análisis 2 es el más elevado no representa un nivel de alerta ya que el límite condinatorio es de 40 ppm. La presencia de silicio en el aceite es por arena y polvo atmosférico.



## PRECIOS DE COMBUSTIBLES

La Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables (ARC) publica mensualmente los precios de los combustibles regulados por el Estado ecuatoriano.

Con base al Decreto Ejecutivo 1183, de 4 de noviembre de 2020, la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables (ARC) realiza el cálculo de precios referenciales de la gasolina Extra y Extra con etanol, para abastecedora y comercializadoras autorizadas del país.

El Decreto Ejecutivo 1183 establece que "con el fin de perfeccionar la metodología del sistema de banda de precios y el cálculo de los precios de los combustibles: Diésel 2, Diésel Premium, Gasolina Extra y Extra con Etanol Anhidro (Ecopal) para el segmento automotriz, (...) es necesario que los precios referenciales que recogen las fluctuaciones de los mercados y las bandas sean fijados por el Ente de Control y no por un actor de la cadena de comercialización", por lo cual, la Agencia de Regulación y Control realiza el cálculo de este precio.

Con base en el Decreto Ejecutivo N° 1222 (de actualización), expedido el 11 de enero de 2021, la ARC realiza el cálculo de los precios referenciales para el abastecimiento de Diésel 2 y Diésel Premium, para abastecedora y comercializadoras autorizadas del país.

PRECIOS REFERENCIALES REGULADOS POR EL ESTADO					
PERIODO DE VIGENCIA: 12/10/2021 AL 11/11/2021					
PRECIOS REFERENCIALES (\$/galón)	SEGMENTOS: AUTOMOTRIZ, CAMARONERO, ATUNERO		EXTRA / EXTRA CON ETANOL	DIESEL	
	PRECIO TERMINAL (sin I.V.A.)	LÍMITE INFERIOR DE LA BANDA	1,876498	1,306876	
		LÍMITE SUPERIOR DE LA BANDA	2,074025	1,387713	
	PRECIO VENTA AL PÚBLICO (EN SURTIDOR)	SEGMENTO AUTOMOTRIZ			
LÍMITE INFERIOR		2,101677	1,463701		
	LÍMITE SUPERIOR	2,502458	1,698088		

Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables

República del Ecuador Gobierno y al Ecuador Juntos lo logramos

El precio de la gasolina Súper se encuentra sujeto a condiciones de mercado, conforme lo establece el Decreto Ejecutivo 1054.



Los precios a nivel de terminal de todos los segmentos de mercado serán definidos por la o las abastecedoras:

- EP PETROECUADOR (<https://www.eppetroecuador.ec/?p=8062>)

Mayor información sobre los precios internacionales:





**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE  
CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**“Análisis de materiales alternativos para la fabricación del block  
de un motor PyP 10 mediante los métodos CAD, CAE, CAM”**

**Molina Proaño, Jorge Luis;**

**Tapuy Benavides, Danny Pablo**

**TRABAJO DE TITULACIÓN**

**TIPO: PROYECTO TECNOLÓGICO**

**Previo a la obtención del título de:**

**INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**RIOBAMBA – ECUADOR**

**2018**

**ESPOCH**  
Facultad de Mecánica

---

## CAPÍTULO I

### 1. Antecedentes

Acorde a (Barrera, 2012 pág. 1), "Los trabajos de Leonardo Da Vinci muestran técnicas del CAD actuales como el uso de perspectivas. En la historia de CAD/CAM se pueden encontrar precursores de estas técnicas en dibujos de civilizaciones antiguas como Egipto, Grecia o Roma". No obstante, el desarrollo de estas técnicas está ligado a la evolución de ordenadores que se produce a partir de la década de los 50.

El diseño y fabricación asistidos por ordenador CAD-CAM (Computer Aided Design y Computer Aided Manufacturing) es una disciplina que estudia el uso de sistemas informáticos como herramienta de soporte en todos los procesos involucrados en el diseño y fabricación de cualquier tipo de producto. Esta disciplina se ha convertido en un requisito indispensable para la industria actual que se enfrenta a la necesidad de mejorar la calidad, disminuir los costes y acortar los tiempos de diseño y producción. (S/A pág. 35).

Esta pauta ha modificado este método de trabajo mejorando la forma en que se llevan las tareas de diseño. Siendo originalmente una herramienta de dibujo 2D, esta ha evolucionado en el tiempo a la fase intermedia de 2.5D, hasta la fase 3D y la realidad virtual.

CAD es el acrónimo de inglés "Computer Aided Design" y significa Diseño Asistido por Computador. La tecnología CAD se dirige a los centros técnicos y de diseño de una amplia gama de empresas: sector metalmeccánico, ingeniería electrónica, sector textil y otros. El uso de la tecnología CAD supone para el diseñador un cambio en el medio de plasmar los diseños industriales: antes se utilizaba un lápiz, un papel y un tablero de dibujo. (Barrera, 2012).

Se trata de la tecnología implicada en el uso de ordenadores para realizar tareas de creación, modificación, análisis y optimización de un diseño. De esta forma, cualquier aplicación que incluya una interfaz gráfica y realice alguna tarea de ingeniería se considera software de CAD.

Las herramientas de CAD comprenden desde herramientas de modelado geométrico hasta aplicaciones a medida para el análisis u optimización de un producto específico. Entre estos dos extremos se encuentran herramientas de modelado y análisis de tolerancias, cálculo de propiedades físicas como masa, volumen, momentos, modelado y análisis de elementos finitos, ensamblado, etc.

ensamblajes creados en el software CAD para generar trayectorias de herramientas que dirijan las máquinas encargadas de convertir los diseños en piezas físicas. (S/N, 2017 pág. S/N).

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo general**

Analizar materiales alternativos para la fabricación del Block de un motor PYP10 mediante los métodos CAD, CAE, CAM.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Caracterizar el material actual del motor PYP 10 por medio de la espectrometría, análisis de dureza y microscopía óptica para la generación de la línea base.
- Identificar y analizar todas las partes mecánicas que constituye un motor para su respectivo diseño en el software CAD Solid-Works.
- Simular los esfuerzos del motor de acromodelismo mediante el software CAE ANSYS para determinar el tipo de material a utilizar.
- Realizar análisis de resistencia y temperatura con el programa Solid-Works para generar los códigos de construcción con la ayuda del software Solid-CAM.
- Mecanizar el Block del Motor PYP 10, a través de la máquina CNC para su funcionamiento.

### **1.4. Metodología**

El tipo de estudio corresponde a un proyecto tecnológico, como un trabajo investigativo para sustentar una propuesta de solución a un problema relacionado con las áreas de formación de la carrera, en este caso para la formulación del diseño, construcción y validación de nuevos materiales para el Block de un Motor modelo PYP 10 mediante los métodos CAD, CAE y CAM para la Escuela de Ingeniería Automotriz de la ESPOCH.

En cuanto a la modalidad de la investigación, las técnicas e instrumentos a ser empleados, son detallados en la siguiente tabla N° 1-1:

### 3.2.2. Propiedades físicas

De este modo, el material de fundición gris EN GJL 300 tiene sus propiedades físicas, ver tabla N° 13-3.

Tabla 13-3: Propiedades físicas

PROPIEDADES FÍSICAS	
Densidad	$\rho = 7,2e^3 - 7,3e^3 \text{ kg/m}^3$

Fuente: CES-EDUPACK, 2015  
Realizado por: Antares, Melissa Jorja, Tapsy Dany

### 3.2.3. Propiedades mecánicas

De este modo, el material de fundición gris EN GJL 300 tiene sus propiedades mecánicas, ver tabla N° 14-3.

Tabla 14-3: Propiedades mecánicas

PROPIEDADES MECÁNICAS	
Módulo de Young	$\rho = 121 - 140 \text{ GPa}$
Límite de elasticidad (límite elástico)	$\rho = 195 - 228 \text{ MPa}$
Resistencia a la tracción	$\rho = 300 - 400 \text{ MPa}$
Elongación	$\rho = 0,25 - 0,33\% \text{ de cesa}$
Resistencia a la compresión	$\rho = 390 - 460 \text{ MPa}$
Módulo de flexión	$\rho = 171 - 140 \text{ GPa}$
Resistencia a la flexión (módulo de ruptura)	$\rho = 225 - 265 \text{ MPa}$
Módulo de corte	$\rho = 47 - 56 \text{ GPa}$
Módulo a granal	$\rho = 82 - 100 \text{ GPa}$
Proporción de Poisson	$\rho = 0,255 - 0,265$
Factor de forma	$\rho = 24$
Dureza - Vickers	$\rho = 171 - 285 \text{ HV}$
Resistencia a la fatiga	$\rho = a 10^{-7} \text{ ciclos } 85 - 158 \text{ MPa}$
Modelo de resistencia a la fatiga (rango de tensión)	$\rho = 63,2 - 116 \text{ MPa}$
Coefficiente de pérdida mecánica (tan delta)	$\rho = 0,01 - 0,035$

Fuente: CES-EDUPACK, 2015  
Realizado por: Antares, Melissa Jorja, Tapsy Dany

**Tabla 48-4:** Compendio de materiales seleccionados

Material/ Características	Aluminio 413.0	Aluminio 6061T6	Fundición Gris EN GJL300
Usos típicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>▣ Equipos electrónicos</li> <li>▣ Equipo dental</li> <li>▣ Pistones</li> <li>▣ Bloques</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▣ Equipos de transporte</li> <li>▣ Estructuras de servicio pesado</li> <li>▣ Usos marinos</li> <li>▣ Puentes, rieles, tornes, tornos de alta velocidad.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▣ Discos de freno y tambores</li> <li>▣ Árboles de levas</li> <li>▣ Bloques de motor</li> <li>▣ Camisas de cilindros, anillos de pistón</li> </ul>
Densidad	$2,69 \times 10^3 - 2,68 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$	$2,67 \times 10^3 - 2,71 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$	$7,2 \times 10^3 - 7,3 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$
Módulo de Young	69,6 - 72,4 GPa	68 - 74 GPa	121 - 140 GPa
Resistencia a la tracción	241 - 265 MPa	241 - 320 MPa	300 - 400 MPa
Resistencia a la compresión	105 - 116 MPa	207 - 290 MPa	390 - 460 MPa
Módulo de flexión	69,6 - 72,4 GPa	68 - 74 GPa	121 - 140 GPa
Punto de fusión	572 - 584 °C	580 - 630 °C	1,13e3 - 1,27e3 °C
Temperatura máxima de servicio	150 - 170 °C	130 - 150 °C	350 - 450 °C
Temperatura mínima de servicio	-273	- 273 °C	-150 - -50 °C
Precio	\$2,3-2,54*/kg	\$2,14 - 2,36 */kg	\$0,639 -0,705 */kg

Fuente: C15 E130/PACIC, 2015  
 Realizado por: Antonio Molina Jorje, Tinay Denny

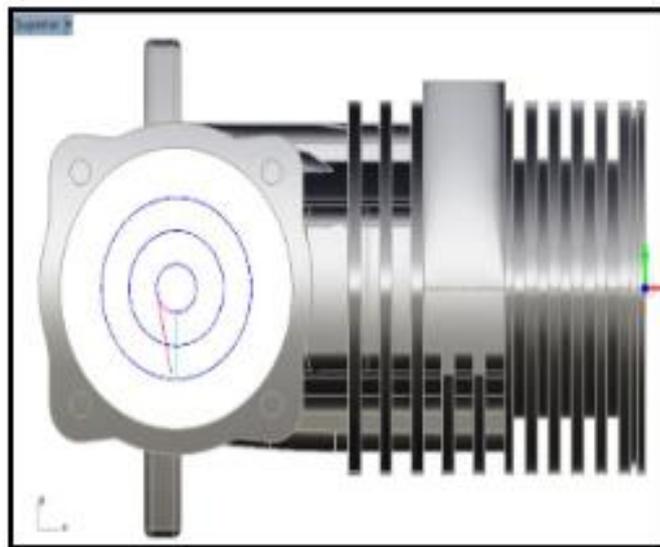
En conclusión, con el compendio de los materiales seleccionados se ha procedido a mecanizar el Block PYP 10 de acuerdo a los materiales alternativos de Aluminio 6061 T6 y Fundición Gris EN GJL300 y la fabricación de las camisas ha sido con el último material alternativo mencionado.

**Tabla 46-4:** Datos de operaciones de mecanizado Rhino-CAM posición 3

Nombre	Estado	Herramienta	Cantidad	Velocidad de corte	# of GOTOs	Tiempo de mecanizado
Preparar						
2 1/2 Axis Pocketing	Sucio	32.1mm End	1	1500.00 mm/min	9935	12.26 min
2 1/2 Axis Pocketing	Limpio	32.1mm End	1	1500.00 mm/min	287	1.04 min
Talado estándar	Limpio	1.0mm HSS	1	50.00 mm/min	9	4.06 min
Perfilado de 2 1/2 ejes	Limpio	21.12mm En	1	1500.00 mm/min	11415	3.30 min
Entre 2 curvas de acabado	Limpio	30.9mm End	1	87.62 mm/min	2976	21.03 min
Grabado	Limpio	30.9mm End	1	1200.00 mm/min	49	0.92 min
Sub-total						42.61 min

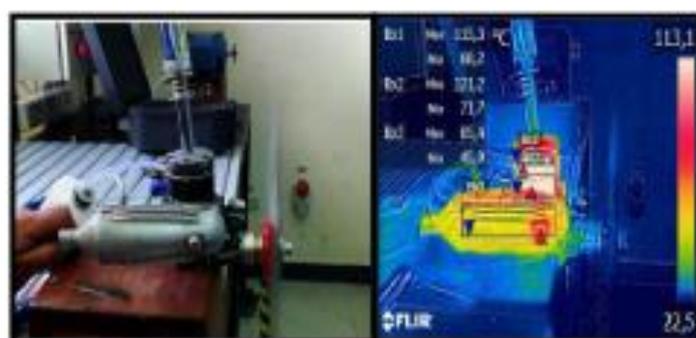
Fuente: Solid-Works, 2017

Realizado por: Antonio, Melissa Jaque y Terey Dancy



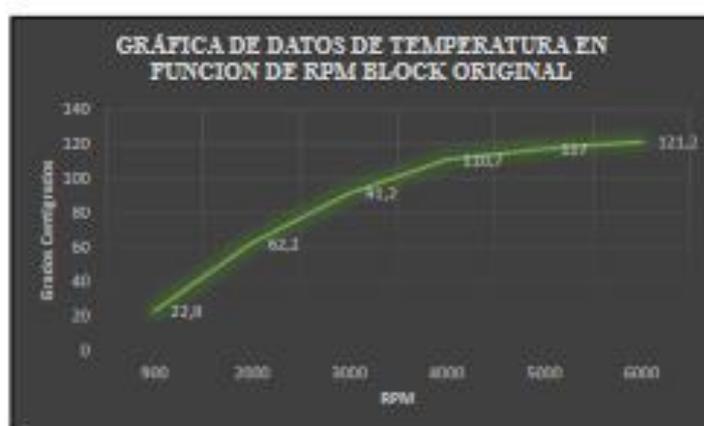
**Figura 88-4:** Perforación axial

Realizado por: Antonio, Melissa Jaque y Terey Dancy



**Figura 100-5:** Valores termográficos del block original a rev. máx.  
(5000 – 6000 rpm)

*Realizado por: Ancoera, Molina Ingr. y Tapay Danny*



**Gráfico 5-5:** Datos de temperatura en función de RPM

*Realizado por: Ancoera, Molina Ingr y Tapay Danny*

#### 5.2.4. Termografía block aleveo de Al 6061 a máx. rev.

Una vez, realizadas las pruebas con el block original se procede a trasladar las piezas al block mecanizado del Aluminio 6061 con camisa de Fundición Gris EN GJL 300 y se logra obtener los siguientes valores térmicos. Estos valores tuvieron una gran variación, debido a que en mínimas revoluciones alcanzó una temperatura máxima de 57,2 °C en el block y en el cabezote la temperatura de 54,5 °C comparado con los valores obtenidos anteriormente, bordan por la mitad esto se deberá a que su camisa es de Fundición Gris GJL 300 y no permite una emisión de calor tan alta como la camisa original, ver en la figura N° 101-5.



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE  
CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**“ANÁLISIS DE LAS VIBRACIONES GENERADAS EN LA  
SUSPENSIÓN DE VEHÍCULOS COMERCIALIZADOS EN EL  
ECUADOR, MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE MODELOS  
MATEMÁTICOS, PARA EVITAR EL ESTRÉS MÚSCULO  
ESQUELÉTICO EN EL CONDUCTOR”**

**PUYOL TORRES PEDRO JOSÉ  
VELÁSQUEZ LEMACHE CRISTIAN JONNATHAN**

**TRABAJO DE TITULACIÓN**

**TIPO: PROYECTO DE INVESTIGACION**

**Previo a la obtención del Título de:**

**INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**Riobamba – Ecuador**

**2019**

## **CAPÍTULO I**

### **1 MARCO TEÓRICO REFERENCIAL**

#### **1.1 Problematización**

La falta de estudio en los sistemas de suspensión utilizados en los vehículos y las vibraciones producidas, provocan afecciones de diferentes categorías en los conductores y acompañantes, la exposición a vibraciones de baja frecuencia puede provocar lumbalgia, afecciones a la visión y a las mujeres que se encuentran en estado de gestación puede causar mal formación y en los peor de los casos la pérdida del bebe.

#### **1.2 Justificación**

##### **1.2.1 *Justificación teórica***

En la actualidad no se realizan estudios de vibración en el conductor, ocasionada por las irregularidades de carreteras, falta de uniformidad en las ruedas y suspensión. Con este proyecto se logrará determinar si existen afecciones en los conductores al encontrarse expuestos a vibraciones por largos periodos de tiempo.

##### **1.2.2 *Justificación metodológica***

Para lograr los objetivos planteados en el presente proyecto de investigación se utilizará fuentes bibliográficas para la recolección de información que será útil para realizar la modelación matemática. Y mediante capacitaciones en el área de electrónica adquirir los conocimientos necesarios para la elaboración del equipo de medición.

### **1.2.3 Justificación práctica**

El docente tendrá la oportunidad de impartir de mejor manera sus clases al hacerlas más didácticas ya que con la simulación se obtendrá un sistema útil para analizar y con el equipo se comprobará la parte práctica.

Los más beneficiados serán los estudiantes ya que con las pruebas prácticas que realicen podrán utilizar los resultados para implementar mejoras en los sistemas de suspensión de los vehículos ya sea para competición o mayor confort.

## **1.3 Alcance**

Se espera construir, analizar e implementar un equipo de medición que permita realizar el estudio de vibraciones en el cuerpo humano producidos por la mala selección de los sistemas de suspensión en los vehículos.

Demostrar que la selección de los sistemas de suspensión de los vehículos puede generar traumas muscular esqueléticos en el ser humano.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo General**

Analizar las vibraciones generadas en la suspensión de vehículos comercializados en el Ecuador, mediante la utilización de modelos matemáticos, para evitar el estrés muscular esquelético en el conductor.

### **1.4.2 Objetivos Específicos**

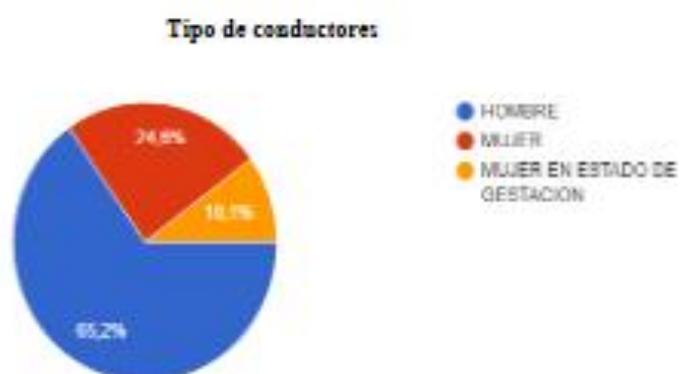
- Revisar fuentes bibliográficas, accediendo a bibliotecas y páginas con documentos científicos, para obtener información actualizada de estudios realizados.

### 2.1.5 Método de procesamiento y análisis estadístico

Se aplicaron métodos, instrumentos y procedimientos de acuerdo con lo siguiente:

- Elaboración de una base de datos
- Revisión de los datos obtenidos
- Tabulación
- Presentación gráfica

#### Análisis estadístico



**Gráfico 2-2:** Tipo de conductores.

Fuente: (Autónoma, 2018).

**Interpretación:** Según la información del gráfico 2-2 se puede constatar que, durante la aplicación de las entrevistas realizadas, los conductores de vehículos en su mayoría son hombres, quizá esto obedece a que en medio donde se realizaron las encuesta la mayor parte de personas son del sexo masculino.

Constante del Neumático

$$F = K_n \times x$$

$$K_n = \frac{F}{x}$$

$$F = 63916 \text{ N}$$

$$x = 0.04\text{m}$$

$$K_n = \frac{63916 \text{ N}}{0.04\text{m}}$$

$$K_n = 1597900 \text{ Nm}^{-1}$$

( 5)

Esquema del vehículo

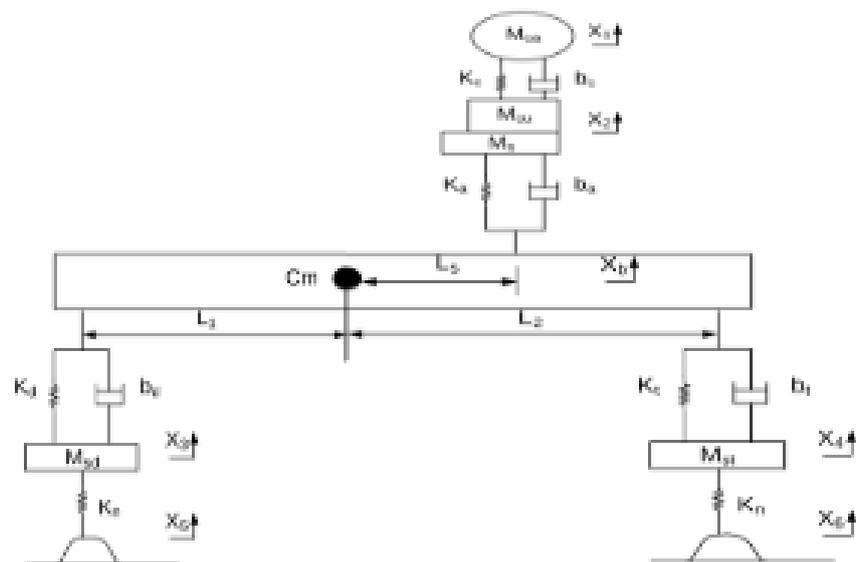


Gráfico 23-3: Esquema del vehículo "VITARA"

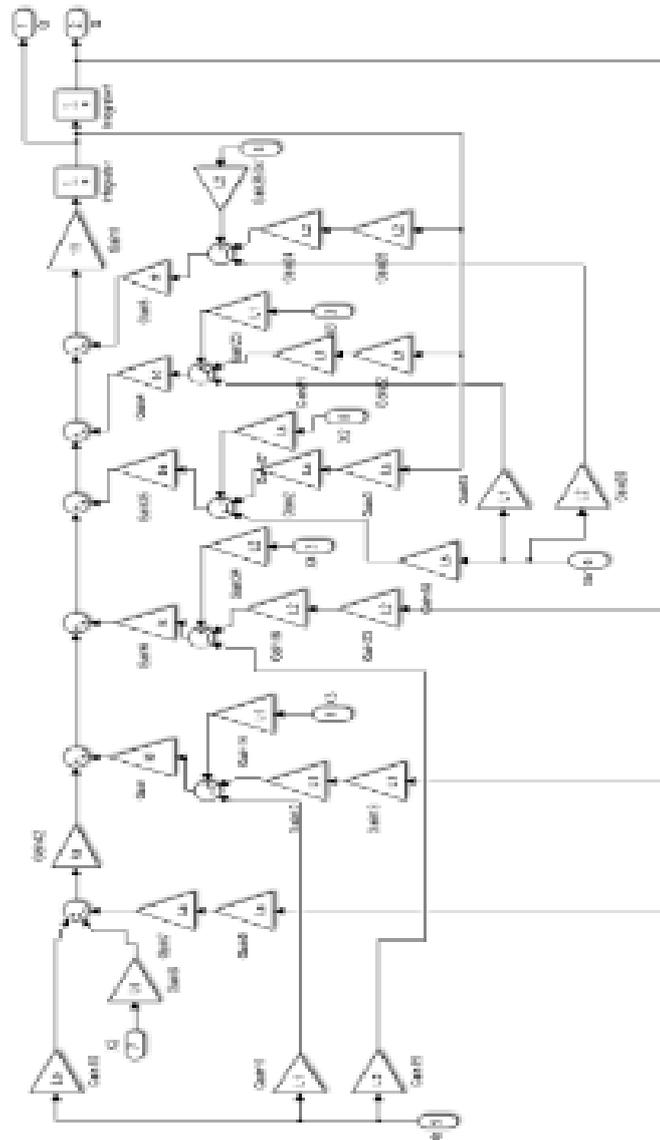
Fuente: (Amara, 2015)

Las constantes que necesarias para la programación en Matlab se obtuvieron mediante cálculos y equipos específicos necesarios, para realizar algunas mediciones dichas constantes están plasmadas en la siguiente tabla.

Desplazamiento angular

$$\sum \tau = I\ddot{\theta}$$

$$I\ddot{\theta} = b_2(L_2\dot{x}_2 - L_2\dot{x}_b - \dot{\theta}L_2^2) + b_d(L_1\dot{x}_2 - L_1\dot{x}_b + \dot{\theta}L_1^2) + b_a(L_2\dot{x}_b - L_2\dot{x}_2 - \dot{\theta}L_2^2) + K_2(L_2x_2 - L_2x_b - \theta L_2^2) + K_d(L_1x_2 - L_1x_b + \theta L_1^2) + K_a(L_2x_b - L_2x_2 - \theta L_2^2)$$



Gráfica 34-2: Modelación "Desplazamiento angular"

Fuente: (Astassi, 2008)

## CAPÍTULO III

### 3 MARCO DE RESULTADOS

#### 3.1 Resultados

##### Estudio mediante modelo matemático

En las gráficas podemos apreciar una reducción en la amplitud y reducción en el tiempo de amortiguamiento esto se debe al aumento en el coeficiente de viscosidad que existe después de cada puto como por ejemplo después del chasis existe un amortiguamiento en el asiento y así mismo después de este hay un amortiguamiento más en el cuello del conductor.

##### Chasis

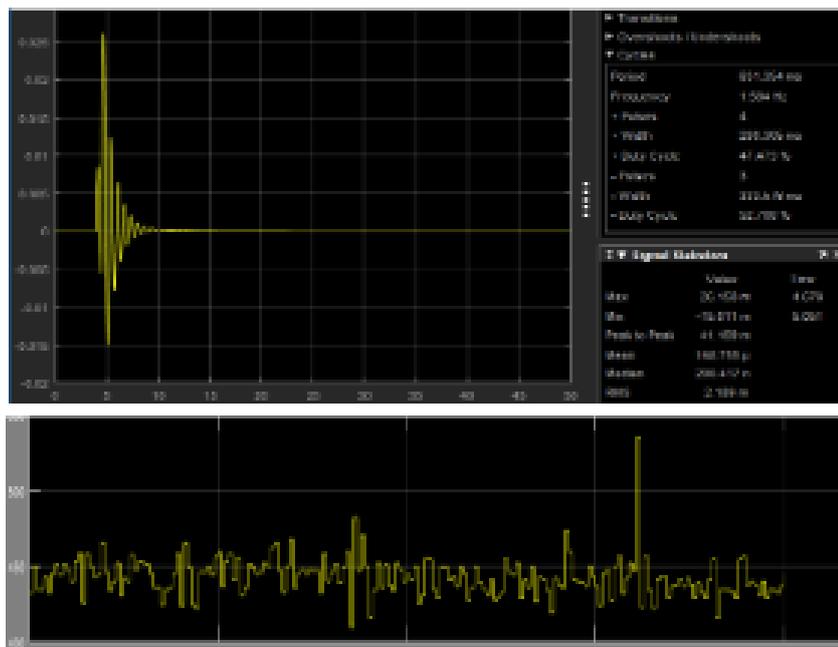


Gráfico 1-3: Comportamiento de la amortiguación en el chasis

Fuente: (Autocad, 2018)

# OBTENCIÓN DE LOS PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DEL MOTOR DAEWOO 1800cc A GASOLINA CON INYECCIÓN DIRECTA DE HIDRÓGENO.

Sofía Vellstegui<sup>1</sup> Cristian Jesús<sup>2</sup> Guido Torres<sup>3</sup> Germán Erizo<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup> Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica, Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE,  
Márquez de Maenza S/N Latacunga, Ecuador.

email: ssvm\_14@hotmail.com, crisje\_18@hotmail.com, gtorres@espe.edu.ec, wgerazo@espe.edu.ec

## RESUMEN

La investigación tiene por objetivo implementar un sistema de inyección directa de hidrógeno en el motor Daewoo 1800cc, analizar los parámetros característicos del mismo antes y después de la instalación del kit generador para determinar la eficiencia según los datos obtenidos en las pruebas.

Se busca reducir las emisiones contaminantes, elevar la potencia y torque del vehículo para un mejor desarrollo y verificar el consumo de combustible con el uso de gasolina extra y súper.

Las pruebas se realizan con el dinamómetro CHASIS LPS 3000, analizador de emisiones contaminantes MAHA MGT-5 y un canister con capacidad de cinco litros.

La adición de hidrógeno con el uso de gasolina extra generó mejores resultados que con súper; incrementando la potencia, torque y reduciendo en su mayoría las emisiones contaminantes para ambos casos, al igual que el consumo para el caso de extra.

### Palabra clave:

Hidrógeno, torque, potencia, emisiones contaminantes, consumo, parámetros característicos.

## ABSTRACT

The research aims to implement a system of direct injection of hydrogen in the Daewoo 1800cc engine, and analyze the characteristic parameters before and after its installation of the generator system to determine the efficiency according to data obtained in the tests.

It seeks to reduce emissions, increase the power and torque of the vehicle for better development and verify fuel consumption using extra and super gasoline.

The tests are performed with the dynamometer LPS CHASSIS 3000, emissions analyzer MAHA MGT-5 and one canister with capacity of five liters.

Adding hydrogen using extra gasoline were obtained better results than super; increasing the power, torque and reducing most of the emissions for both cases, as in the case consumption of extra.

### Keywords:

Hydrogen, torque, power, emissions, consumption, performance parameters.

## I. INTRODUCCIÓN

La disminución progresiva de las reservas de combustibles fósiles y los problemas de contaminación ambiental asociados a su combustión han atraído la atención de los investigadores hacia la búsqueda de vectores energéticos alternativos para automoción. El hidrógeno es uno de estos vectores que tiene grandes ventajas ambientales. [1]

La Industria Automotriz del país ha iniciado la búsqueda de alternativas que contribuyan a reducir dicha contaminación, la producción de hidrógeno ha tenido una buena acogida para mejorar el rendimiento de los vehículos. [2]

El sistema funciona con un voltaje de 12 voltios provenientes de la batería del vehículo, esta corriente será controlada por un relé que va a una salida de encendido que al poner la llave en contacto se genere un voltaje para la señal del mismo, para activar el sistema consta de un interruptor que permitirá o no el paso del voltaje del relé hacia el generador de hidrógeno, el generador al activarse por el voltaje recibido por medio de sus celdas internas divide los átomos de hidrógeno y oxígeno provenientes del electrolito mediante la electrólisis de la mezcla de agua destilada e hidróxido de potasio, posteriormente de la división estos gases son encaminados hacia el depósito de electrolito, donde existen dos compartimientos, el primero es el encargado de contener el electrolito y el segundo conocido como burbujeador se ocupa de enviar el hidrógeno proveniente del generador hacia el colector de admisión del motor. [2]

El hidrógeno se combina con el aire cuando el motor succiona el aire del ambiente por medio del vacío generado por el mismo, luego entra a la cámara de combustión con el combustible complementando a la mezcla. Al producirse la chispa la velocidad de flama es mucho mayor, haciendo que la explosión se extienda

superficie se formaran burbujas de gas que estallará al poner un cerillo prendido; esto demuestra la flammabilidad del hidrógeno y recrea lo que sucede en el interior del motor al exponer la mezcla a la chispa de la bujía.

### c. CÁLCULO DE PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO

La producción de hidrógeno se calcula aplicando la ley de Faraday y densidad. Para esto se requiere conocer el peso molecular del hidrógeno (1,00794 g/mol), la intensidad del generador (4,375 A), el tiempo que dura la prueba (60 segundos), la valencia (1) y densidad del hidrógeno (0,0000838 g/cm<sup>3</sup>). Al reemplazar en la ecuación de Faraday se obtiene 0,002742 g de masa del hidrógeno, con esto se obtiene una producción de 0,03272 lt.

$$m_H = \frac{\left(\frac{1,00794g}{mol}\right) (4,375A) (60seg)}{1 + 96500 A \cdot sec \cdot mol^{-1}}$$

Ecuación 1. Cálculo de la masa del hidrógeno

$$m_H = 0,002742g$$

Ecuación 2. Masa de hidrógeno

$$V_H = \frac{0,002742g}{0,0000838 g/cm^3}$$

Ecuación 3. Cálculo del volumen de hidrógeno

$$V_H = 0,03272 lt$$

Ecuación 4. Volumen de hidrógeno

### d. PRUEBAS

A continuación se presenta el resumen de pruebas realizadas en el dinamómetro, luego los porcentajes de emisiones contaminantes y finalmente el consumo de combustible a 3841m de altura.

- En la figura 1 se presenta las curvas de potencia del motor Daewoo 1800cc con los combustibles extra, súper y la combinación de estos con hidrógeno.

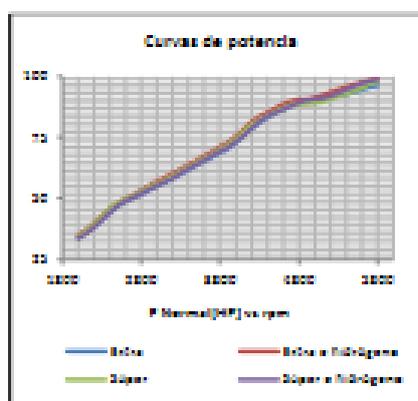


Figura 1. Relación de curvas de potencia de extra, súper e hidrógeno

La curva de potencia más alta lograda en las pruebas fue con el uso de gasolina extra e hidrógeno de 98,99 HP designada con el color rojo. Las curvas azul (extra), verde (súper) y morada (súper e hidrógeno) obtuvieron 96,37 HP, 98,03 HP y 98,73 HP respectivamente.

- Curvas de torque de extra, súper e hidrógeno.

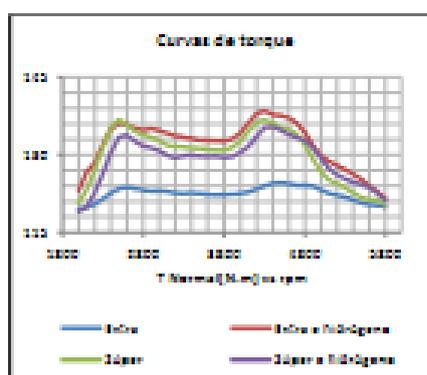


Figura 2. Relación de curvas de torque de extra, súper e hidrógeno

En la figura 2 se representa las curvas de torque obtenido con cada combustible analizado como la curva azul que simboliza a extra y tiene los menores valores de entre 117 a 125 Nm; en el caso de súper e hidrógeno denotada por el color morado, logra ascender hasta 135,45 Nm siendo menor que con súper evidenciada con el color verde que llega

a un valor de 136,12 Nm a diferencia de extra e hidrógeno representada por la curva de color rojo que alcanza el valor máximo de torque de 138,52 Nm.

- Porcentajes de emisiones contaminantes de extra, súper y la combinación de estos con hidrógeno.

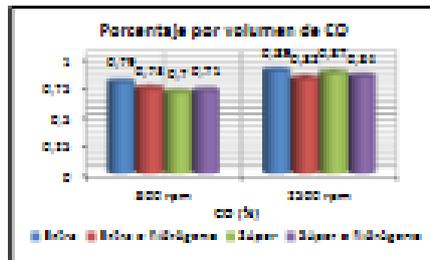


Figura 1. Relación de valores de emisiones contaminantes del gas CO de extra, súper e hidrógeno.

En la figura 3 se presentan las mediciones de monóxido de carbono (CO) a 800 revoluciones con los cuatro combustibles se encuentran dentro de un rango de 0,7 a 0,8%V, siendo su variación de solamente centésimas por lo que no existe gran diferencia entre ellos, lo que similarmente se observa a las 2500 revoluciones, con la diferencia de que incrementa en diez décimas variando de 0,8 a 0,9%V, a pesar de esto en ambos casos la gasolina extra (azul) tiene los valores más altos y extra e hidrógeno (rojo) los más bajos.

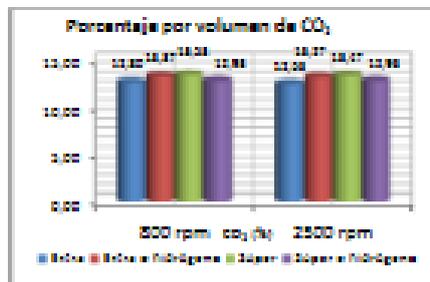


Figura 2. Relación de valores de emisiones contaminantes del gas CO<sub>2</sub> de extra, súper e hidrógeno.

En la figura 4 se obtiene los valores de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), con gasolina extra tiene el menor porcentaje por volumen de los cuatro combustibles analizados, seguidamente súper e hidrógeno se mantiene con el mismo valor de 12,93%V tanto a

revoluciones mínimas como máximas, consecutivamente extra e hidrógeno varía 0,1 en las cifras obtenidas en las pruebas y finalmente la gasolina súper es la que más genera este gas tanto en 800 como en 2500 rpm.

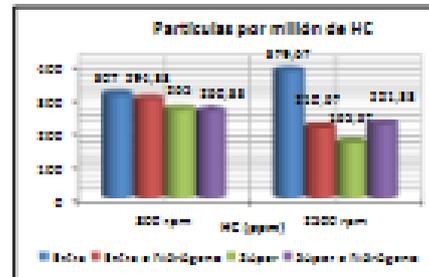


Figura 3. Relación de valores de emisiones contaminantes del HC de extra, súper e hidrógeno.

En la figura 5 se tiene el análisis obtenido de los hidrocarburos producidos en el proceso de la combustión se tiene que para 800 revoluciones en extra existe una elevada producción de 307 ppm, después de implementar el sistema de hidrógeno con extra existe una reducción de la producción teniendo una cantidad de 294,33 ppm, lo que en súper es menor su generación con 265 ppm y aún menos con súper e hidrógeno, considerándolo como el mejor debido a su valor bajo de 260,33 ppm. A las 2500 rpm la gasolina extra sigue siendo el más contaminante con 379,67 ppm lo que con hidrógeno disminuye notablemente a 210,67 ppm, en el caso de súper e hidrógeno ha aumentado en relación a este último alcoholador de 11 ppm, el menor valor de partículas por millón de 165,67 conseguido fue con gasolina súper siendo el que generó menos hidrocarburos.

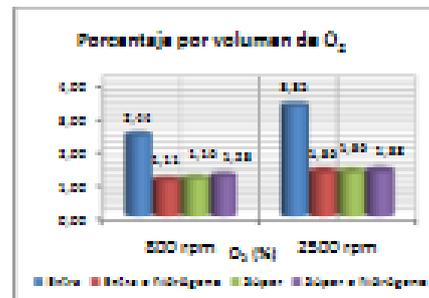


Figura 4. Relación de valores de emisiones contaminantes del gas O<sub>2</sub> de extra, súper e hidrógeno.

En la figura 6 se exhibe la producción de oxígeno a 800 revoluciones con extra tiene el porcentaje más elevado de entre todos con 2,44%, consecutivamente súper e hidrógeno produce la mitad del anterior con 1,23%, con una variación de centésimas entre súper y extra e hidrógeno de 1,16% y 1,11% respectivamente, se distingue a este último combustible como el que menos oxígeno genera. En cambio a las 2500 revoluciones se tienen los menores porcentajes de emisión de oxígeno con extra e hidrógeno (1,36%), súper (1,36%) y súper e hidrógeno (1,38%), contrario a extra que incrementa a 3,35% a relación de su medición a ralentí.

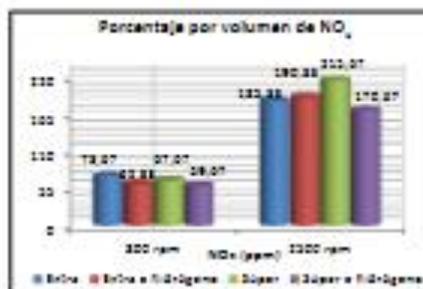


Figura 7. Relación de valores de emisiones contaminantes de NOx de extra, súper e hidrógeno

En la figura 7 se obtuvo el análisis de los óxidos de nitrógeno se tiene a 800 revoluciones con gasolina extra la mayor cantidad de 73,67 ppm y la menor de súper e hidrógeno con 59,67 ppm, teniendo como valores intermedios a extra e hidrógeno y súper con volúmenes de 62,33 y 67,67 ppm respectivamente; a las 2500 revoluciones la generación de estos gases incrementa considerablemente, la más alta producción se presenta con gasolina súper con 215,67 ppm, sobrepasando a extra e hidrógeno con 25,34 ppm y a extra con 30,34 ppm, siendo el menos contaminante súper e hidrógeno con 170,67 ppm.

- Consumo de combustible de extra, súper e hidrógeno,

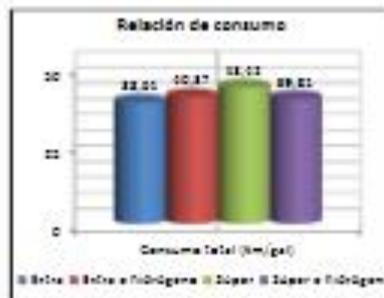


Figura 8. Relación de valores de consumo de combustible de extra, súper e hidrógeno

En la figura 8 se indica el estudio realizado para el rendimiento de combustible se tiene la menor distancia recorrida por galón con extra representada por la barra azul es de 38,61 km convirtiéndolo en el menos eficiente, seguido de la barra morado concerniente a súper e hidrógeno que tuvo un aprovechamiento de 39,82 km/gal, sin embargo, con extra e hidrógeno denotado con el color rojo, existió un aumento considerable de 40,37 km/gal con relación de solo extra, y finalmente con súper distinguido por el color verde, existe una mejor productividad de combustible en un galón con una distancia de 43,42 km poseyéndose como el más eficaz.

### III. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En la tabla 1 se muestra el resumen de los valores obtenidos en las pruebas a las que se sometió al vehículo con gasolina extra y súper e hidrógeno.

Los valores corresponden a las mediciones de potencia, torque, consumo de combustible y emisiones contaminantes a 800 y 2500 revoluciones.

Tabla 1. Resumen de valores obtenidos en las pruebas

Combustible	Extra	Extra e hidrógeno	Súper	Súper e hidrógeno
P Norma [HP]	66,37	66,99	66,63	66,73
M Norma [Nm]	124,6	126,5	126,3	125,4
Consumo total	38,61	40,37	43,42	39,81

continúa →

[litros/l]					
Emisiones contaminantes	800 RPM				
	CO (%)	0,75	0,71	0,7	0,70
	CO <sub>2</sub> (ppm)	32,60	33,37	33,93	32,98
	HC (ppm)	297	294,2	285	260,2
	O <sub>2</sub> (%)	2,44	3,01	3,16	3,22
	NO <sub>x</sub> (ppm)	73,67	62,33	67,67	59,67
	2500 RPM				
	CO (%)	0,88	0,82	0,87	0,84
	CO <sub>2</sub> (ppm)	32,63	34,27	34,87	32,94
	HC (ppm)	179,6	210,8	185,8	221,1
O <sub>2</sub> (%)	3,03	3,38	3,36	3,38	
NO <sub>x</sub> (ppm)	185,2	198,2	215,6	170,6	

Los mejores resultados se obtienen con el uso de extra e hidrógeno ya que tanto en la potencia como el torque ha subido 2,72% y 11,14% respectivamente, lo que en el caso de súper solamente aumenta en 0,71% la potencia y en el torque disminuye 0,49%, demostrando que no es eficiente utilizar el sistema con esta gasolina. Así mismo, en el consumo de combustible se logra un mejor aprovechamiento con extra e hidrógeno que con súper e hidrógeno, teniendo en el primer caso un incremento de 4,58% y en el segundo un decremento de 8,32% de efectividad en el recorrido, por tanto un superior desempeño con extra e hidrógeno. En cuanto a las emisiones contaminantes se observa a las 800 revoluciones en extra e hidrógeno menor contaminación en monóxidos de carbono, hidrocarburos, oxígeno y óxidos de nitrógeno, y una elevación de dióxidos de carbono; en súper e hidrógeno la reducción ocurre en dióxido de carbono, hidrocarburos y óxidos de nitrógeno pero aumentan los monóxidos de carbono y el oxígeno. A las 2500 revoluciones ocurre una disminución de contaminación en los monóxidos de carbono de 7,87% y en los hidrocarburos y oxígeno más del 40% pero existen mayores emisiones de dióxidos de carbono y óxidos de nitrógeno; con gasolina súper el hidrógeno minimiza los monóxidos y dióxidos de carbono, y óxidos de nitrógeno, los hidrocarburos y el oxígeno por el contrario se intensifican.

#### IV. CONCLUSIONES

- Existió un incremento en los valores de potencia y torque al utilizar gasolina extra con hidrógeno como combustible alternativo, siendo estos parámetros característicos del motor 2,62 HP y 13,29 Nm respectivamente, mejoró el rendimiento del combustible en 1,767 km por galón.
- Las emisiones CO, O<sub>2</sub>, HC, NO<sub>x</sub> tuvieron una disminución de 7,59%, 4,13%, 54,51%, y 15,39% respectivamente, lo que no ocurrió

con el CO<sub>2</sub>, que se incrementó en 4,45% en comparación con gasolina extra.

- Conociendo a súper la potencia máxima es mayor con el uso de hidrógeno, teniendo un leve aumento de 0,70 HP, contrario al torque que disminuyó 0,67 Nm. En las pruebas de consumo no existió mejora ya que gastó 3,613 litro más en un galón que con el uso solamente de súper.
- Las emisiones contaminantes analizadas tuvieron una disminución son CO<sub>2</sub> con 4,43%, los HC en 1,76%, los NO<sub>x</sub> con 11,82%, y un aumento en CO con 1,43% y el O<sub>2</sub> en 6,03% en relación a los análisis con gasolina súper.
- Se logró de manera satisfactoria implementar un sistema de inyección directa de hidrógeno en el vehículo Chevrolet Optra con motor Daewoo 1800cc, tomando en cuenta cada uno de los pasos para la instalación del sistema.
- El consumo de combustible se determinó mediante la ruta Guápulo-CCICEV y viceversa, usando cinco litros como base para todos los combustibles, teniendo como resultado que con gasolina extra el consumo fue de 3 litros de combustible, al usar extra con hidrógeno fue de 2,85 litros, con gasolina súper se obtuvo 2,65 litros y con súper 2,9 litros de gasto de combustible.
- Debido a que la producción de hidrógeno es mínima el motor no obtiene la suficiente cantidad requerida para mejorar radicalmente su rendimiento, a pesar de esto con 0,03272 litro/min se logra incrementar alrededor de 3% de potencia y 12% en el torque, con el combustible extra e hidrógeno que alcanzó el mejor desempeño dentro del análisis, considerando también una disminución de las emisiones contaminantes más tóxicas, por lo que con una producción mayor se percibirían resultados más satisfactorios con la implementación de este sistema.

#### REFERENCIAS

- [1] Fierro, J., Gómez, L., & Peña, M. (2001). El hidrógeno: un vector energético no contaminante para automoción. Recuperado el 12 de Mayo de 2014, de <http://www.icp.esic.es/cyted/Monografias/Monografias2001/A4-157.pdf>
- [2] Velástegui, S., Jesús, C., Torres, G. & Enzós, G. (2015). "Análisis de los parámetros característicos de un motor de combustión interna con inyección directa de hidrógeno". Latacunga, Ecuador.