



**ING. AUTOMOTRIZ**

**Trabajo de integración Curricular previa a la obtención  
del título de Ingeniería en Mecánica Automotriz.**

**AUTORES:**

Mishell Anahí Romero Guiscaso<sup>1</sup>

Bryan Andrés Beltrán Cabezas<sup>2</sup>

**DIRECTOR:**

Ing. Miguel Granja

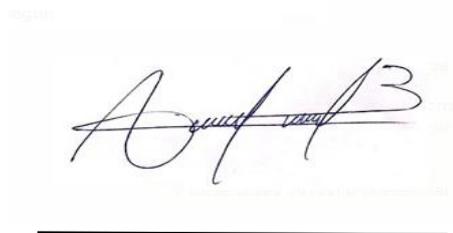
Estudio comparativo de torque y potencia de distribución con cadena y  
banda en dos vehículos Mitsubishi, modelo Lancer 2.0

## CERTIFICACIÓN DE AUDITORIA

Nosotros, Mishell Anahí Romero Guiscaso y Bryan Andrés Beltrán Cabezas, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y que se ha consultado la bibliografía detallada.

Handwritten signature of Mishell Anahí Romero in blue ink, written in a cursive style. The signature is positioned above a solid black horizontal line.

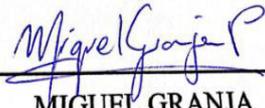
Mishell Anahí Romero

Handwritten signature of Bryan Andrés Beltrán in blue ink, written in a cursive style. The signature is positioned above a solid black horizontal line.

Bryan Andrés Beltrán

## **APROBACIÓN DEL TUTOR**

Yo, MIGUEL GRANJA certifico que conozco al autor/a del presente trabajo siendo el responsable exclusivo tanto de su originalidad y autenticidad, como de su contenido.

A handwritten signature in blue ink, reading "Miguel Granja P", is positioned above a horizontal black line.

**MIGUEL GRANJA  
DIRECTOR DE TESIS**

## DEDICATORIA

***Esta tesis está dedicada:***

*A Dios quien ha sido mi guía, fortaleza y su mano de fidelidad y amor han estado conmigo hasta el día de hoy.*

*A mis padres Wilber y Rocío por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí. Gracias por sus consejos y ejemplo a seguir. Esta tesis y todo lo que logre hacer será gracias a la fortaleza, virtudes y valores inculcados en mí.*

*A mi hija Eli, quien es lo más importante en mi vida, hoy he dado un paso más para servir de ejemplo a la persona que más amo en este mundo. Gracias a ti he decidido subir un escalón más y crecer como persona y profesional. Esperó que un día comprendas que te debo lo que soy ahora y que este logro sirva de herramienta para guiar cada uno de tus pasos, te amo.*

*A mis hermanas, Verito y Pau, por ser mi compañía, mi apoyo y mi fuerza para seguir adelante.*

*A mis ángeles Amada y Humberto, a pesar de haberlos perdido a temprana edad, han estado cuidándome y guiándome desde el cielo.*

***Anahí Romero***

## DEDICATORIA

*Les dedico el resultado de este trabajo a mis padres, abuela y hermano que me apoyaron los momentos buenos y malos, estuvieron presentes en todo mi proceso académico apoyándome incondicionalmente en mis caídas y en mis méritos. Gracias por enseñarme a afrontar las dificultades sin rendirme en el proceso. Me han enseñado a ser una persona, con principios, valores, perseverancia y empeño en todo lo que hago. Todo esto con una enorme dosis de amor y sin pedir nada a cambio. También quiero dedicarle este trabajo a mi novia Janice. Por su paciencia, comprensión, empeño, fuerza y por su amor. Realmente, ella me ayuda a alcanzar el equilibrio que me permite dar todo mi potencial. Realmente no sé cómo agradecer todo lo que han hecho por mí, solo les puedo decir que gracias por existir en mi vida.*

*Andrés Beltrán*

## **AGRADECIMIENTO**

*A mis padres Wilber y Rocio que siempre me han brindado su apoyo incondicional para poder cumplir todos mis objetivos personales y académicos. Ellos son los que con su cariño me han impulsado siempre a perseguir mis metas y nunca abandonarlas frente a las adversidades. También son los que me han brindado el soporte material y económico para poder concentrarme en los estudios y nunca abandonarlos.*

*A Eli quien es mi mayor tesoro y también la fuente más pura de mi inspiración; por eso quiero agradecerte cada momento de felicidad con el que colmas mi vida. Te doy las gracias, hija mía, por darle sentido a mi vida.*

*A mi hermana Verito por su amor y cuidado, gracias por estar conmigo en los momentos más difíciles de mi vida, dándome fuerza para continuar y no darme por vencida.*

*A Ronnie por llegar a mi vida y empezar juntos a construir un camino que nos permita estar siempre unidos y felices junto a nuestra hija.*

*A mi Tutor de tesis, quien desde el primer momento me brindó su amistad, su bondad, y fue de gran apoyo.*

**Anahí Romero**

## AGRADECIMIENTO

*En primer lugar, les agradezco a mis padres que siempre me han apoyado incondicionalmente para poder cumplir todos mis objetivos personales y académicos. Ellos son los que con su cariño me han impulsado siempre a perseguir mis metas y nunca abandonarlas frente a las adversidades. Agradezco muy profundamente a mi tutor por su dedicación y paciencia, sin sus palabras y correcciones precisas no hubiese podido lograr llegar a esta instancia tan anhelada. Gracias por su guía y todos sus consejos, los llevaré grabados para siempre en la memoria en mi futuro profesional. Por último, agradecer a la universidad que me ha exigido tanto, pero al mismo tiempo me ha permitido obtener mi tan ansiado título.*

*Andrés Beltrán*

## ÍNDICE

PORTADA.....	i
CERTIFICACIÓN DE AUDITORIA .....	ii
APROBACIÓN DEL TUTOR.....	iii
ACUERDO DE CONFIDENCIALIDAD .....	iv
DEDICATORIA .....	v
AGRADECIMIENTO.....	vii
RESUMEN. ....	xi
ABSTRACT.....	xi
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA .....	1
2.1. Sistema de Distribución.....	1
2.2. Distribución por banda dentada.....	2
2.3. Distribución por cadena.....	3
2.4. Torque y Potencia.....	3
2.5. Curva torque y potencia.....	4
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	5
3.1. Método .....	5
3.2. Materiales .....	5
3.2.1. Vehículo .....	5
3.2.2. Transmisión por cadena de rodillos .....	6
3.2.3. Transmisión por correa dentada (banda).....	6
3.2.4. Combustible.....	7
3.2.5. Normativa SAE J1349 .....	7
3.2.6. Dinamómetro.....	8
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	8
4.1. Datos de entrada: .....	8
4.2. Discusión.....	10
5. CONCLUSIONES .....	11
6. BIBLIOGRAFÍA.....	12
ANEXOS .....	15

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b>	Sistema de distribución (OHV, Over Head Valve).....	2
<b>Figura 2.</b>	Banda dentada .....	2
<b>Figura 3.</b>	Accionamiento de distribución por cadena.....	3
<b>Figura 4.</b>	Obtención de Torque .....	3
<b>Figura 5.</b>	Curva torque-potencia .....	4
<b>Figura 6.</b>	Mitsubishi Lancer Octava generación .....	5
<b>Figura 7.</b>	Kit de cadena Mitsubishi Lancer 2.0L.....	6
<b>Figura 8.</b>	Distribución por correa Mitsubishi 2.0L– 4 Cilindros – SOHC.....	7
<b>Figura 9.</b>	Prueba de torque vehículo 1 y 2 .....	9
<b>Figura 10.</b>	Prueba de potencia vehículo 1 y 2 .....	9
<b>Figura 11.</b>	Comparación de Torque vehículo 1 y 2.....	10
<b>Figura 12.</b>	Comparación de Potencia vehículo 1 y 2.....	10

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b>	Fichas técnicas de los vehículos de prueba.....	8
<b>Tabla 2.</b>	Resultados prueba de torque vehículo 1 y 2.....	8
<b>Tabla 3.</b>	Resultados prueba de Potencia vehículo 1 y 2.....	10

## **Estudio comparativo de torque y potencia de distribución con cadena y banda en dos vehículos Mitsubishi, modelo Lancer 2.0**

Miguel Granja.<sup>1</sup>, Andrés Beltrán.<sup>2</sup>, Anahí Romero.<sup>3</sup>

*Ingeniería Automotriz Universidad Internacional del Ecuador, migranja@uide.edu.ec, Quito-Ecuador.*

*Ingeniería Automotriz Universidad Internacional del Ecuador, brbeltranca@uide.edu.ec, Quito-Ecuador.*

*Ingeniería Automotriz Universidad Internacional del Ecuador, miromerogu@uide.edu.ec, Quito-Ecuador.*

### **RESUMEN**

**Introducción:** A medida que la tecnología automotriz avanza el desarrollo de estudios comparativos de torque y potencia ganan gran énfasis en el mercado, los mismos que se centran en los motores de combustión interna, enfocándose directamente en la pérdida de rendimiento. En contexto este tema de investigación determinó el desempeño de torque y potencia mediante un análisis con un banco de pruebas para motores de combustión interna en dos vehículos, la diferencia está en la distribución de los mismos ya que uno tiene distribución a cadena y el otro cuenta con banda de distribución, **Metodología:** siguiendo una metodología inductiva estas pruebas fueron realizadas con las normas SAE J1349, que considera el funcionamiento del vehículo con todos sus dispositivos, como bombas de agua, aceite, alternadores, ventiladores, **Resultados:** se observa que existe una menor pérdida del torque por parte del Lancer 2009 de 2.8% aproximadamente. Con respecto a la potencia se observa que la diferencia en pérdida es mayor indicando aproximadamente 11% menos pérdida por parte del Lancer 2009. **Conclusión:** Al culminar las pruebas correspondientes se determina que el Mitsubishi modelo Lancer del año 2009 con distribución a cadena resulto tener un mejor desempeño de torque y potencia.

**Palabras clave:** Torque, potencia, distribución, motor, normas internacionales.

### **ABSTRACT**

**Introduction:** As automotive technology advances the development of comparative studies of torque and power gain great emphasis in the market, the same that focus on internal combustion engines, focusing directly on the loss of performance. In context, this research topic determined the performance of torque and power through an analysis with a test bench for internal combustion engines in two vehicles, the difference is in the distribution of the same since one has chain distribution and the other has a timing belt, **Methodology:** Following an inductive methodology these tests were performed with the SAE J1349 standards, which considers the operation of the vehicle with all its devices, such as water pumps, oil, alternators, fans, on the other hand, the German standard DIN 70020 was also used, which considers aspects such as torque and net power in the engine, **Results:** it is observed that there is a lower loss of torque by the Lancer 2009 of 2. 2.8% approximately. With respect to the power, it is observed that the difference in loss is greater indicating approximately 11% less loss on the part of the Lancer 2009. **Conclusion:** At the end of the corresponding tests, it was determined that the 2009 Mitsubishi Lancer model with chain distribution had a better torque and power performance.

**Keywords:** Torque, power, distribution, motor, international standard.

## **1. INTRODUCCIÓN**

A pesar de que la tecnología en el sector automotriz está muy avanzada, las pérdidas de torque y potencia aún están presentes en los vehículos, estas pérdidas se dan por varios factores en los cuales se puede mencionar la falta de mantenimiento, partes del vehículo en mal estado, mala conducción, entre otros. Es por eso que la presente investigación realizó un estudio de torque y potencia en dos automóviles del mismo modelo conformados con una distribución de cadena y una distribución de banda respectivamente, debido al interés de demostrar la variación de torque y potencia en los dos vehículos y así identificar que distribución se adapta mejor a las condiciones de trabajo del vehículo, estas pruebas se realizaron en la ciudad de Quito ubicada en una zona geográfica de 2 850 metros sobre el nivel del mar. (Vivienda, 2022)

La sincronización de la carrera del pistón y la apertura y cierre de válvulas es lo más importante en el motor y debe ser perfecta, Si la distribución no sincronizase bien estos movimientos, causarían daños muy graves (Donaire, 2021). La correa y banda de distribución son los elementos que distribuyen el movimiento sincronizado, así nos aseguran el correcto funcionamiento del motor, la diferencia de la utilización de cadena o banda de distribución en motores es el torque que produce el motor, ya que cuando se requiere bastante torque debe haber mayor resistencia en la distribución.

Debido a la demanda del mercado, en la actualidad los sistemas de distribución están diseñados para mejorar la combustión y rendimiento, además de poder reducir la contaminación ambiental, entonces las empresas automovilísticas se han encargado de satisfacer las necesidades de los compradores. Los motores tenían una sincronización de válvulas diseñada para mejorar el par motor a baja velocidad o más caballos de fuerza de alta velocidad, pero no ambas, actualmente cuentan con el sistema MIVEC que controla electrónicamente la distribución de las válvulas tanto de admisión como de escape, la exacta apertura y cierre de las válvulas como el tiempo que permanecen abiertas es diferente para cada motor, al igual que el tipo de distribución. (Saralegui, 2019)

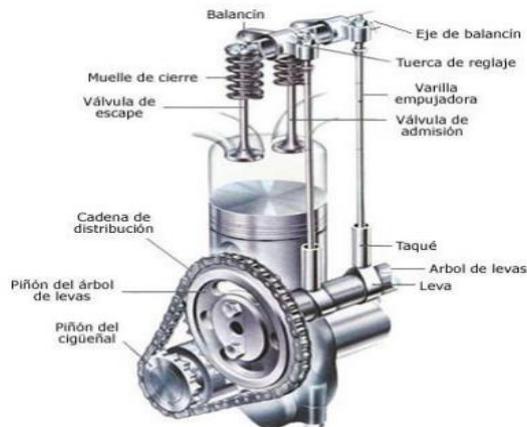
La manera más sencilla en que los técnicos y personas puedan determinar el torque y la potencia de un motor es a través de un banco de pruebas dinamométrico, para ello debemos tener en cuenta que estas pruebas no son de acceso fácil para las personas, ya que este elemento de prueba es costoso y no se encuentra en todos los talleres automotrices, (Castillo, 2017) además de que requiere un técnico calificado para realizar dichas pruebas y que estos resultados sean verídicos. Es por ello las pruebas se realizaron en el laboratorio de la Universidad Internacional del Ecuador, teniendo a los dos vehículos en el dinamómetro se procedió a realizar las pruebas para obtener las curvas de torque potencia.

## **2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

### **2.1. Sistema de Distribución**

Se conoce como sistema de distribución al conjunto de todas las partes mecánicas que controlan la admisión en la mezcla y también la fase de escape de los gases combustionados, su función principal es regular los tiempos para que el motor trabaje de forma eficiente. Existen diferentes tipos de sistema de distribución como son: sistema SV, sistema OHV, sistema OHC, sistema SOHC, sistema DOHC. (Menna, 2022)

**Figura 1.** Sistema de distribución (OHV, Over Head Valve)

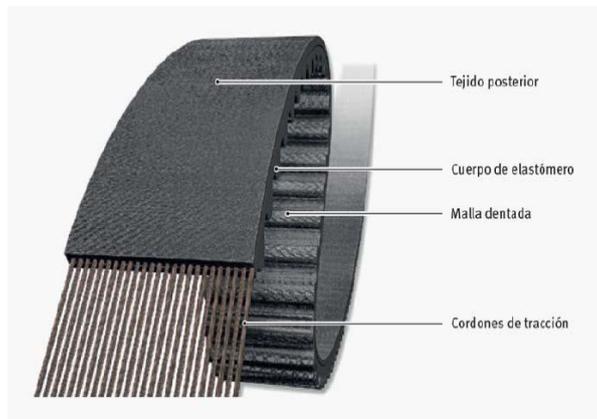


Fuente: (Nelson, 2015)

### 2.2. Distribución por banda dentada

Es el sistema de accionamiento más utilizado actualmente. Tiene la ventaja de un costo relativamente económico, con una transmisión totalmente silenciosa, pero con el inconveniente de una duración mucho más limitada (80.000 a 120.000 km.). En los motores actuales, es tendencia generalizada montar el árbol de levas en la culata (OHC, DOHC), por lo que el accionamiento de la distribución se hace con correas de gran longitud. La banda dentada está hecha del lado impulsor de polímero reforzado y fibra de vidrio y en el lado exterior está reforzado con tejido de poliamida. La capa intermedia es resistente a temperaturas muy elevadas, lo que asegura el perfecto desempeño de los materiales utilizados. Los dientes de la correa también están reforzados con poliamida para aumentar la resistencia a la abrasión o desgaste. Dado que la correa dentada no requiere lubricación, a diferencia de la banda de cadena, no es necesario sellar el espacio en el que opera (Juárez, 2018). Las correas más comunes de aplicación automotriz son: correa trapezoidal, nervada (Poli-V) y de tiempo.

**Figura 2.** Banda dentada

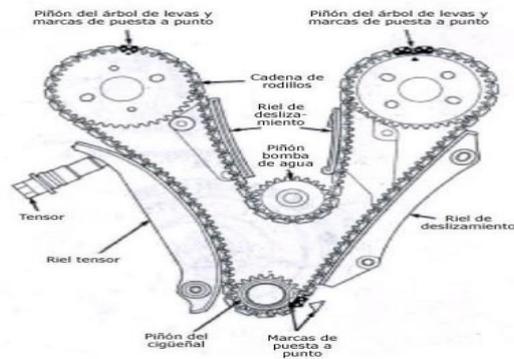


Fuente: (Oscar, 2021)

### 2.3. Distribución por cadena

La cadena es uno de los componentes de los autos que transforma la energía de propulsión en movimiento, la misma que está formada por varios elementos siendo uno de ellos la unidad de propulsión. La distribución por cadena consta de dos piñones principales que están ubicados uno en el cigüeñal y otro en el árbol de levas. El piñón del cigüeñal arrastra la cadena que a su vez arrastra los demás piñones. Este tipo de cadena no requiere mantenimiento, ya que está diseñado para extender la vida útil del motor del automóvil. Entonces, es muy poco probable que falle, pero en el caso de hacerlo, es una de las fallas más costosas que le pueden pasar a un motor. (AUTODOC, 2022)

**Figura 3.** *Accionamiento de distribución por cadena*

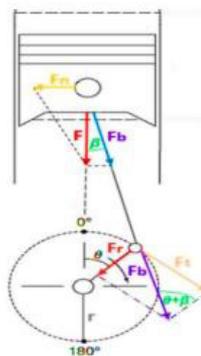


Fuente: (Nelson, 2015)

### 2.4. Torque y Potencia

Tanto el torque como la potencia son dos guías para saber cómo funciona el motor de un automóvil, y los podemos encontrar gracias al trabajo que realiza el motor, se usa a menudo en motores de combustión interna. Los mismos cumplen la función de mover el automóvil y nos indican cuánta fuerza puede generar y qué tan rápido funciona. El torque es la fuerza requerida para mover un automóvil desde su estado de reposo, en otras palabras, el torque o par motor denotado con la letra “T” representa la fuerza “F” de empuje aplicada a los cilindros multiplicados por el radio de la manivela. (Castillo, 2017)

**Figura 4.** *Obtención de Torque*



Fuente: (Castillo, 2017)

Por lo tanto, el par motor se le puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$T = F * r$$

Ec. [1]

Donde

T: representa el Torque (N.m)

F: es la fuerza sobre la biela (N)

R: es el radio de la manivela del cigüeñal (m)

Por otro lado, la potencia, nos indica la velocidad a la que trabaja el motor. Entonces la potencia que desarrolla el motor depende estrechamente de la cilindrada y de la relación de compresión, así como también del rpm a las que el motor gira. (Leyton, 2020)

La potencia se la puede determinar mediante la ecuación:

$$P = T * w$$

Ec. [2]

$$P = \frac{T * n}{\frac{60}{2\pi}}$$

Ec. [3]

Donde

P: Potencia del motor (kW)

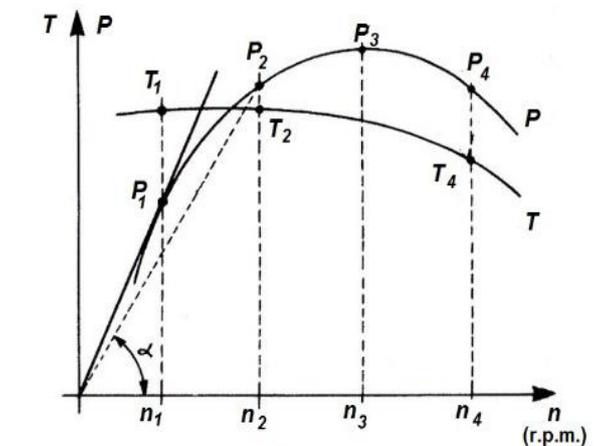
T: Torque (N.m)

w: Velocidad angular del eje del cigüeñal (rad/s)

n: Revoluciones por minuto (rpm)

## 2.5. Curva torque y potencia

Figura 5. Curva torque-potencia



Fuente: (Rodríguez, 2020)

Esta curva hace alusión a un caso general de un vehículo en el cual se observa el comportamiento de torque y potencia con respecto a las revoluciones por minuto del motor. Se observa que la curva de torque empieza de forma ascendente, en el punto T1 este es el torque máximo que el motor puede rendir, después de esto se observa un descenso el mismo que se dar por diferentes casos como son: salida de gases defectuosa, llenado de aire incompleto en cada ciclo, mala mezcla de aire-combustible, entre otros. Por otro lado, se observa la curva de potencia la misma se irá incrementando en relación con el régimen de giro, al llegar al punto máximo P3, en un cierto número de revoluciones este tiende a empezar su descenso hasta llegar a un valor máximo de revoluciones correspondientes a cada motor, es decir que aun acelerando mas no se podrá tener más potencia ya que existen limitaciones por los componentes mecánicos que tiene cada vehículo. (Rodríguez, 2020)

### **3. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. Método**

Mediante una metodología inductiva que se caracteriza por tener un razonamiento amplio partiendo de observaciones específicas como son el torque y potencia permitieron obtener conclusiones de carácter general. En este estudio se determinó las variables dependientes como el vehículo, el motor, la distribución y combustible, por otro lado las variables independientes son el torque y potencia, las cuales nos sirven para obtener los datos cuantitativos, tomando en cuenta tres pruebas que al hacer un promedio de las mismas se obtuvo un resultado total. (Bernal, 2006)

#### **3.2. Materiales**

##### **3.2.1. Vehículo**

El Mitsubishi Lancer es un automóvil de turismo principalmente, fue producido por el fabricante japonés Mitsubishi Motors desde el año 1973. Este modelo es uno de los más exitosos ya que cuenta con características muy prometedoras como son rendimiento, durabilidad, entre otros. Existen 8 generaciones de este modelo, en 2017 Mitsubishi saca al mercado la versión "Final Edition" siendo este el ultimo modelos del Lancer. Existen versiones de este modelo que cuentan en el sistema de distribución con banda y otros con cadena, siendo este el motivo de estudio de este artículo con el fin de observar y comparar el comportamiento de torque y potencia con cada distribución. (OSX, 2010)

**Figura 6.** *Mitsubishi Lancer Octava generación*



*Fuente.* (OSX, 2010)

### 3.2.2. Transmisión por cadena de rodillos

Las cadenas de distribución están fabricadas con acero. Los diseños utilizados con más frecuencia son las cadenas de casquillos, las cadenas de rodillos o las cadenas dentadas. Cadena de rodillos, según DIN 8187, IRAM 5184 y BS. 228. Cuyas mallas están remachadas con bulones en uno de los extremos y en otro con casquillos articulados. Esta transmisión por cadena es una de las más utilizadas ya que transmite la potencia mecánica de manera muy eficiente, las mismas que son implementadas en la mayoría de los sistemas de transporte, máquinas agrícolas y en gran cantidad de equipos industriales. Existen varias ventajas al comprar este tipo de transmisión con otras por lo que se puede mencionar: rendimiento muy alto, larga vida útil, menor mantenimiento, ausencia de deslizamiento, entre otros. También existen inconvenientes como: son un poco ruidosas, necesitas una lubricación adecuada, al momento del montaje necesitan una perfecta alineación. Las cadenas utilizadas para accionar la distribución pueden ser: cadena de rodillos y cadena silenciosa. (Araque, 2020)

**Figura 7.** *Kit de cadena Mitsubishi Lancer 2.0L*



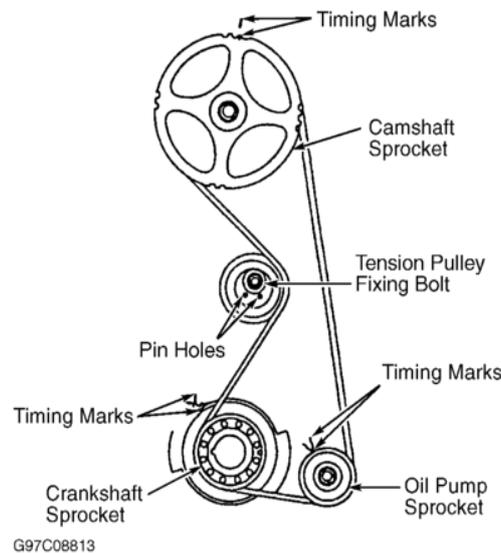
*Fuente:* (AUTODOC, 2022)

### 3.2.3. Transmisión por correa dentada (banda)

Las correas o bandas de distribución son usualmente hechas con materiales como (EPDM) Etileno Propileno Dieno Monómero, que es un material que tiene como resistencia a la temperatura un rango de  $-40^{\circ}\text{C}$  hasta los  $+130^{\circ}\text{C}$ , también el HNBR, gomas de Nitrilo Hidrogenadas, que son elastómeros resistentes al calor, ozono, lubricantes y con extrema resistencia a la fatiga, en el caso de las mallas de tracción pueden ser de poliéster, fibra de vidrio o Kevlar pre estirado. Para esta investigación se utilizará la correa de tiempo que es la que sincroniza el cigüeñal y árbol de levas, el reemplazo oportuno según las especificaciones del fabricante va a ayudar al buen funcionamiento y vida útil del motor, su longitud total, número de dientes, perfil de dientes y características de desempeño deben permanecer inalteradas durante toda su vida útil. Su revestimiento especial está compuesto de HNBR, que es una goma de nitrilo hidrogenada, muy resistente al calor, al ozono y sobre todo a la fatiga por esfuerzo cíclico. El material de las correas dentadas es el caucho sintético y fibra de vidrio (neopreno), que

tienen la característica de ser flexibles para adaptarse a las poleas de arrastre y por otra parte no se estiran ni se alteran sus dimensiones. También tienen la ventaja de tener un funcionamiento muy silencioso, son más ligeras, más fáciles de reemplazar y no necesitan engrase. (GeneratePress, 2022)

**Figura 8.** Distribución por correa Mitsubishi 2.0L– 4 Cilindros – SOHC



Fuente: (GeneratePress, 2022)

### 3.2.4. Combustible

En Ecuador la gasolina extra tiene 85% de octanaje, investigaciones señalan que existen ventajas de usar este combustible en automotores de años anteriores a 1999 ya que el porcentaje de octanaje se adecua a la tecnología existente en esa época. Por lo tanto, los vehículos desde el año 2002 necesitan de un octanaje superior por lo que se recomienda usar gasolina súper con un octanaje de 92%. (Zapata, 2022) La gasolina Super fue el combustible seleccionado con el que se realizó este estudio, porque al tener un octanaje del 92%, brinda las características antidetonantes necesarias para que el torque y la potencia no se vean afectados al momento de hacer las pruebas, recordando que la ubicación geográfica juega un papel importante debido a que en la Sierra las características y el comportamiento mecánico son afectados al no utilizar el combustible correcto por el tema de oxígeno, presión y altura.

### 3.2.5. Normativa SAE J1349

Esta norma ayudó en el estudio a calcular la potencia neta del motor ya que incluye todos los elementos necesarios del vehículo como el ventilador o radiador a diferencia de la norma SAE J1995 que da un resultado de potencia bruta, ya que se calcula la potencia del motor excluyendo elementos como ventilador, alternador, entre otros. Por lo que en la potencia bruta los valores obtenidos siempre serán mayores que en la potencia neta por lo ya mencionado anteriormente. (Márquez, 2005)

### 3.2.6. Dinamómetro

Esta herramienta automotriz consta de rodillos en el cual se asientan las llantas del auto, ayuda a conocer el estado en el que se encuentra el motor de un vehículo, en este caso particular fue utilizado para realizar 3 pruebas y así obtener datos tanto de torque como de potencia en dos vehículos con diferentes sistemas de distribución. Es muy importante mencionar que para asegurar su nivel de confiabilidad en los datos obtenidos este equipo debe estar calibrado. (Molina, 2017)

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los vehículos utilizados para este estudio son dos Mitsubishi modelo Lancer uno del año 2006 con distribución a banda y el otro del año 2009 con distribución por cadena. En la tabla 1 se muestran las fichas técnicas de cada auto, los mismos que fueron tomados como datos de entrada para realizar las pruebas correspondientes donde podemos observar que el vehículo 1 muestra el torque máximo de 355 Nm al 3500 rpm y una potencia máxima de 265cv. a 6500 rpm, mientras que el vehículo 2 muestra el torque máximo de 356 Nm al 3500 rpm y una potencia máxima de 266cv. a 6500rpm.

### 4.1. Datos de entrada:

**Tabla 1.** Fichas técnicas de los vehículos de prueba

VARIABLES	VEHÍCULO 1	VEHÍCULO 2
<i>MODELO</i>	<i>Mitsubishi lancer 2006</i>	<i>Mitsubishi lancer 2009</i>
<i>VERSIÓN</i>	Lancer Evolution VIII	Lancer Evolution GSR
<i>MOTOR</i>	1997 cc inyección directa	1998 cc inyección directa
<i>TRANSMISIÓN</i>	correa dentada (banda)	cadena de rodillos
<i>COMBUSTIBLE</i>	Gasolina Super (92%)	Gasolina Super (92%)
<i>POTENCIA MAXIMA</i>	265CV a 6500 rpm	266CV a 6500 rpm
<i>TORQUE MAXIMO</i>	355 Nm a 3500rpm	356Nm a 3500rpm
	(RED GIGA, 2022)	(Red Giga, 2022)

*Fuente: Autores*

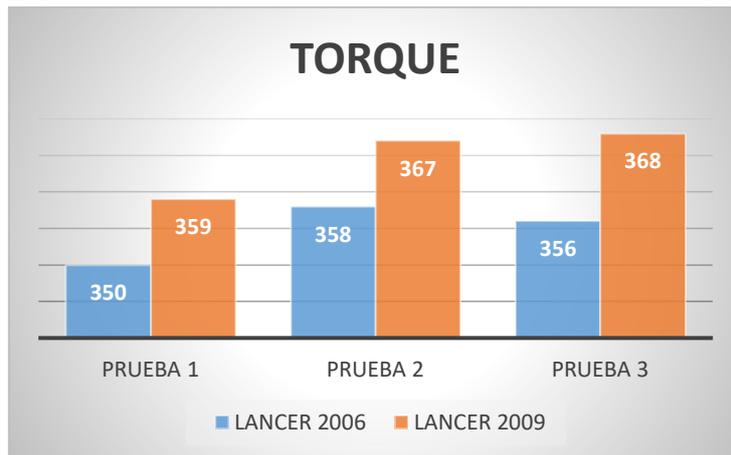
Utilizando el dinamómetro, se tomaron datos de torque y potencia de los dos vehículos, para esto fueron realizadas tres pruebas, los resultados obtenidos se muestran en la tabla 2 para el torque y en la tabla 3 para la potencia.

**Tabla 2.** Resultados prueba de torque vehículo 1 y 2

	<b>TORQUE</b>		
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
<i>LANCER 2006</i>	350Nm	358 Nm	356 Nm
<i>LANCER 2009</i>	359 Nm	367 Nm	368 Nm

*Fuentes: Autores*

**Figura 9.** Prueba de torque vehículo 1 y 2



Fuentes: Autores

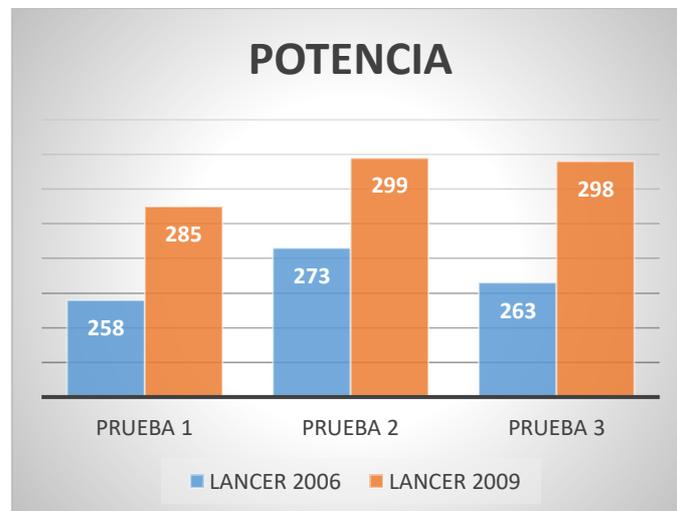
La tabla 3 muestra los datos obtenidos de potencia de los dos vehículos.

**Tabla 3.** Resultados prueba de Potencia vehículo 1 y 2

		<b>POTENCIA</b>		
		Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
<i>LANCER 2006</i>		258cv	273cv	263cv
<i>LANCER 2009</i>		285cv	299cv	298cv

Fuente: Autores

**Figura 10.** Prueba de potencia vehículo 1 y 2

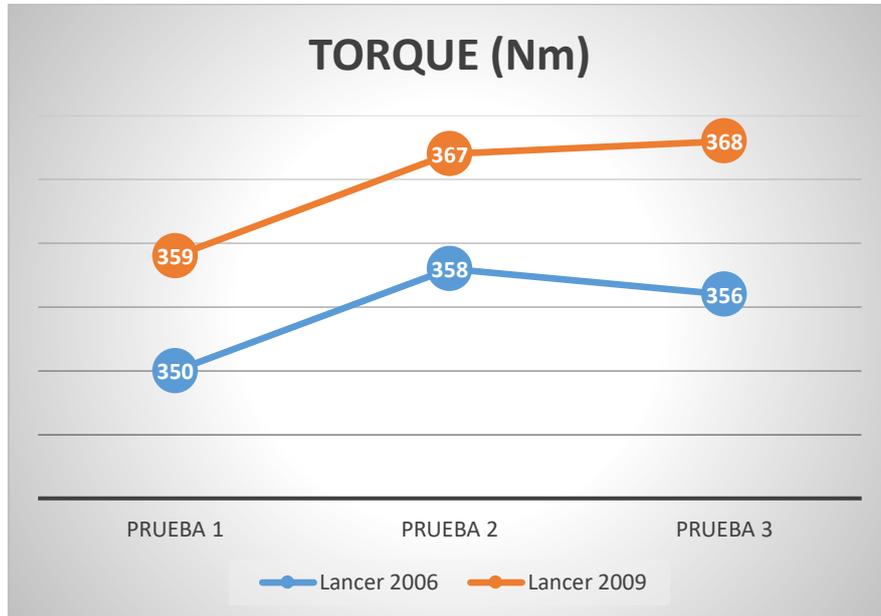


Fuente: Autores

Por lo tanto, se puede evidenciar que los resultados obtenidos de torque y potencia no tienen mucha diferencia con los datos proporcionados en la ficha técnica de cada vehículo. Se debe tomar en cuenta que estas pruebas fueron realizadas en la ciudad de Quito a 2850msnm, recordando que la ubicación geográfica juega un papel importante por el tema de oxígeno presión y altura.

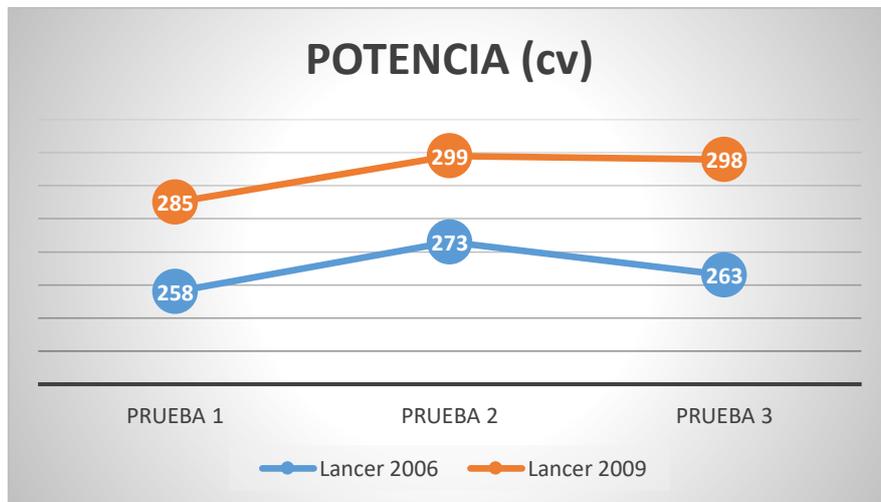
#### 4.2. Discusión

**Figura 11.** Comparación de Torque vehículo 1 y 2



Fuente: Autores

**Figura 12.** Comparación de Potencia vehículo 1 y 2



Fuente: Autores

En la figura 10 y 11 se aprecian las comparaciones de torque y potencia, los cuales son: para el Lancer 2006 se identificará con el color azul y para el Lancer 2009 color naranja, se observa que existe una menor pérdida del torque por parte del Lancer 2009 de 2.8% aproximadamente. Con respecto a la potencia se observa que la diferencia en pérdida es mayor indicando aproximadamente 11% menos pérdida por parte del Lancer 2009.

## **5. CONCLUSIONES**

Al culminar las pruebas correspondientes se evidencia los resultados obtenidos de los dos vehículos seleccionados, por lo que el Mitsubishi modelo Lancer con distribución a cadena resulto tener un mejor desempeño de torque y potencia.

El vehículo Mitsubishi modelo Lancer con distribución a cadena demostró tener menor pérdida de torque con un 2.8% y potencia de 11% menos en comparación con el Mitsubishi modelo Lancer con distribución a banda, debido a que en las gráficas de comparación las curvas del modelo 2009 se sobreponen a las curvas del modelo 2006 en las 2 variables, por lo que se concluye al utilizar un sistema de distribución a cadena el vehículo tendrá un mejor rendimiento.

La correa de distribución en comparación a la cadena de distribución tiene un funcionamiento más silencioso debido a los materiales del que está fabricado, pero ya que es un material menos resistente, va a tener una vida útil menor que la cadena. Es por eso que en la actualidad los fabricantes están retomando el uso de la distribución a cadena debido a que tienen un rendimiento muy alto, larga vida útil, menor mantenimiento, ausencia de deslizamiento, entre otros.

Existen varios factores que influyen en la pérdida de torque y potencia de un vehículo estos pueden ser el tipo de combustible utilizado, la ubicación geográfica, mala conducción, partes de los vehículos en mal estado, entre otros. Por lo que para evitar este tipo de inconvenientes es muy importante seguir todas las recomendaciones del fabricante y así poder evitar daños prematuros.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- Araque. (2020). *TRANSMISIÓN POR CADENA*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/373882124/Transmision-Por-Cadena>
- AUTODOC. (2022). *AUTODOCCLUB.COM*. Obtenido de <https://club.autodoc.es/magazin/cadena-y-correa-de-distribucion-funcion-problemas-y-ventajas>
- Bernal. (2006). Metodología de la Investigación. [https://books.google.com.ec/books?id=h4X\\_eFai59oC&pg=PA56&dq=metodo+inductivo&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwjDqaPin\\_j7AhWsSzABHTtHBsIQ6AF6BAgFEAI#v=onepage&q=metodo%20inductivo&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=h4X_eFai59oC&pg=PA56&dq=metodo+inductivo&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwjDqaPin_j7AhWsSzABHTtHBsIQ6AF6BAgFEAI#v=onepage&q=metodo%20inductivo&f=false). Obtenido de <https://www.significados.com/metodo-inductivo/>
- Castillo, J. (Abril de 2017). *Determinación del Torque y Potencia de un Motor de Combustión Interna a Gasolina*. Quito. Obtenido de [file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/0%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/0%20(2).pdf)
- Donaire. (23 de Mayo de 2021). Obtenido de <https://www.actualidadmotor.com/tipos-de-distribucion-en-los-motores-actuales/>
- GeneratePress. (2022). *CorreaDeTiempo.com*. Obtenido de <https://correadetiempo.com/mitsubishi/mitsubishi-1-8l-y-2-0l-4-cilindros-sohc/>
- Juárez. (2018). Obtenido de <https://alianzaautomotriz.com/propiedades-de-la-banda/#:~:text=La%20banda%20dentada%20est%C3%A1%20fabricada,ideal%20de%20los%20materiales%20usados>.
- Leyton. (2020). Obtenido de <https://www.chileautos.cl/noticias/detalle/sabes-cual-es-la-diferencia-entre-torque-y-potencia-en-un-auto--20013/#:~:text=El%20torque%20es%20la%20fuerza%20del%20motor%20ya%20que%20la,presentan%20a%20las%20mismas%20revoluciones>.
- Márquez. (Mayo de 2005). La Potencia de los motores . pág. 43.
- Menna. (2022). *ComoFunciona.com* . Obtenido de [https://como-funciona.co/el-sistema-de-distribucion/#google\\_vignette](https://como-funciona.co/el-sistema-de-distribucion/#google_vignette).
- Nelson. (Marzo de 2015). *Motores*. Obtenido de [blogspot.com: http://laspalmastecnologica.blogspot.com/2015/03/](http://laspalmastecnologica.blogspot.com/2015/03/)
- Oscar, N. (04 de MARZO de 2021). *EL BLOG DEL TALLER MECÁNICO* . Obtenido de <https://el-blog-del-taller-mecanico.repxpert.es/blog/tecnologia/todo-sobre-las-correas-dentadas/>
- OSX. (2010). *Mitsubishi Lancer* . Obtenido de [https://es.wikipedia.org/wiki/Mitsubishi\\_Lancer#/media/Archivo:2007-2009\\_Mitsubishi\\_Lancer\\_\(CJ\)\\_VR\\_sedan\\_02.jpg](https://es.wikipedia.org/wiki/Mitsubishi_Lancer#/media/Archivo:2007-2009_Mitsubishi_Lancer_(CJ)_VR_sedan_02.jpg)

- Red Giga. (2022). *FICHA TÉCNICA Mitsubishi Lancer Evolution GSR (2008-2009)*. Obtenido de MOTOR GIGA: <https://motorgiga.com/mitsubishi/lancer/lancer-evolution-gsr/2008/precio-ficha-tecnica>
- RED GIGA. (2022). *FICHA TÉCNICA Mitsubishi Lancer Evolution VIII (2004-2006)*. Obtenido de MOTOR GIGA: <https://motorgiga.com/mitsubishi/lancer/lancer-evolution-viii/2004/precio-ficha-tecnica>
- Rodríguez. (2020). *Ingemecánica*. Obtenido de Ingemecánica: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn63.html>
- Saralegui. (2019). Sistema de distribución en motores de combustión interna. . pág. <https://www.ing.unlp.edu.ar>. Obtenido de <https://www.ing.unlp.edu.ar>
- Vivienda, S. d. (2022). *Municipio de Quito* . Obtenido de <https://secretaria-de-territorio-habitat-y-vivienda-territorio.hub.arcgis.com/>
- Zapata. (8 de Marzo de 2022). *El Universo*. Obtenido de El Universo: <https://www.eluniverso.com/noticias/economia/estas-son-las-ventajas-y-desventajas-de-usar-las-gasolinas-ecopais-y-extra-en-ecuador-nota/>

# ANEXOS

## ANEXOS

### Anexos de Introducción



#### Información General

Datos	Descripción
<b>Cabecera cantonal</b>	Quito Distrito Metropolitano
<b>Superficie</b>	4.183 Km2
<b>Ubicación</b>	Centro Norte de la Provincia de Pichincha
<b>Altitud</b>	2.850 m.s.n.m.
<b>Población</b>	2´239.191 habitantes (fuente INEC censo de población y vivienda 2010)
<b>Límites</b>	Norte: Provincia de Imbabura Sur: cantones Rumiñahui y Mejía Este: cantones Pedro Moncayo, Cayambe y Provincia de Napo Oeste: cantones Pedro Vicente Maldonado, Los Bancos y Provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas.

## Tipos de distribución en los motores actuales y su funcionamiento



La **distribución de un motor** es la encargada de mantener todo coordinado para que funcione correctamente. Gracias a ella, las válvulas se abren y se cierran en el momento adecuado para tomar aire o expulsar los gases de escape. Sin embargo, **hay muchos tipos** de distribución, según cómo estén repartidos los componentes y qué sistema usen para moverse.

En este artículo vamos a describir como son cada uno de ellos, aunque algunos hayan caído en desuso. No todos los [tipos de motores](#) han sobrevivido al paso del tiempo, al verse superados en eficiencia o rendimiento por nuevos diseños más avanzados.

## Funcionamiento de la distribución del motor



Antes de empezar conviene dar un repaso al **funcionamiento básico de un motor de combustión de cuatro tiempos**, que es el más usado en la actualidad. Recibe este nombre porque su ciclo está formado por cuatro fases:

- **Admisión:** el motor toma aire y lo mezcla con el combustible. Se produce cuando el [pistón](#) baja y deja espacio para el aire, que dejan entrar las válvulas de admisión abiertas.
- **Compresión:** el motor comprime la mezcla de aire y combustible. Se produce cuando el pistón sube y las válvulas están cerradas para crear una cámara estanca.
- **Expansión:** la mezcla prende mediante una **chispa en los de gasolina y gas** o por la **alta presión en los diésel**. Esto provoca la explosión o expansión del gas, que empuja de nuevo el pistón hacia abajo.
- **Escape:** el pistón vuelve a subir gracias al movimiento circular del  [cigüeñal](#) y las [bielas](#). Así empuja los gases de escape hacia fuera, a través de las válvulas de escape que se abren en esta fase. De esta manera, la [cámara de combustión](#) queda preparada para empezar el ciclo de nuevo.

Como has podido ver en las diferentes partes de este ciclo, las válvulas se han ido abriendo y cerrando para que el motor funcione. **Si la distribución no sincronizase bien estos movimientos, se causarían daños muy graves.** Por ejemplo, si una válvula se quedase abierta cuando el pistón llegase arriba, el motor sufriría daños muy caros de reparar. Tanto es así, que muchas veces sale más barato comprar un motor nuevo o simplemente cambiar de coche.

Por eso, la distribución tiene que coordinar el movimiento del [árbol de levas](#) que acciona las válvulas, con el movimiento del cigüeñal que va unido a los pistones. Nada chocará dentro del cilindro y cumplirán con su función en el momento adecuado. Dicho esto, solo queda exponer **los diferentes tipos de distribución que pueden agruparse de varias formas:** según donde estén las válvulas y el árbol de levas, según el número de árboles de levas, según la manera de accionar las válvulas y según el elemento de mando que sincroniza el conjunto.

### **Según el mando de la distribución**

Aquí llegamos a la clasificación más conocida de los tipos de distribuciones. Es muy habitual oír cómo se hace referencia a que un motor tiene distribución por correa o por cadena. A lo que vamos a añadir una tercera, que es mediante ruedas dentadas, y una cuarta que prescinde directamente de cualquier distribución mecánica.

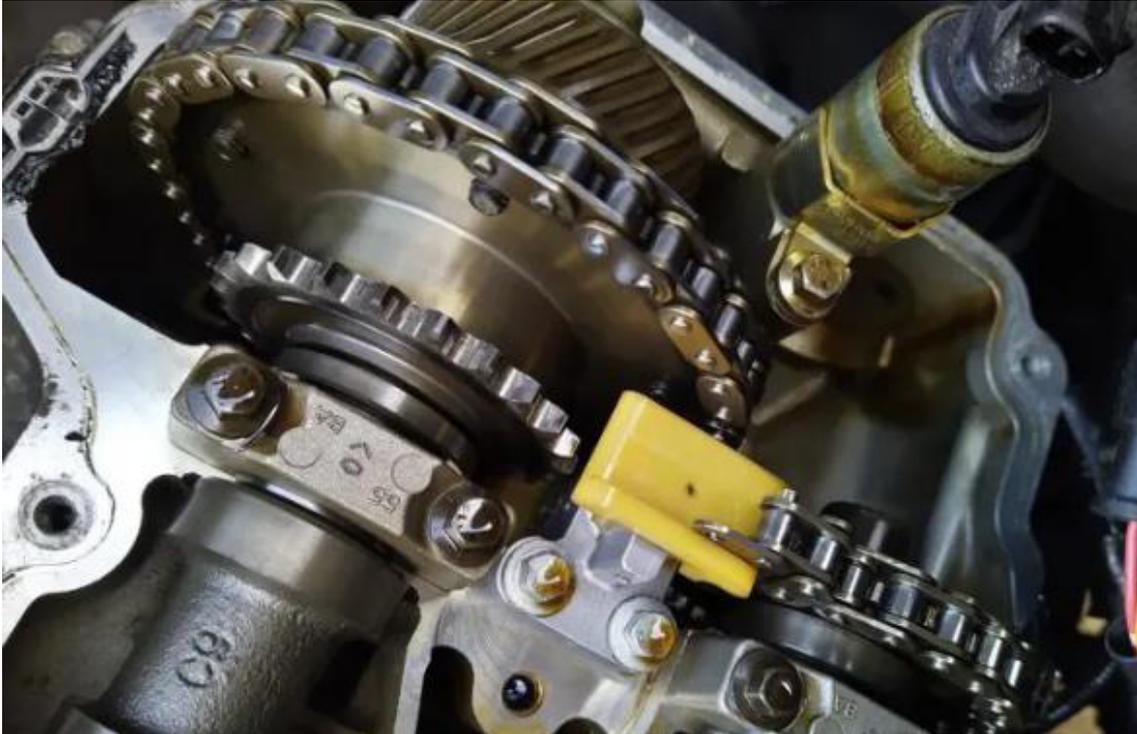
### **Distribución por correa**



El árbol de levas y el cigüeñal están conectados por una correa de distribución. Ésta tiene **dos caras**: una **dentada** para agarrarse a los piñones que tiene ambos elementos en sus extremos y otra **plana** que es donde aprietan los rodillos tensores. Estos rodillos son necesarios para que la correa quede bien fijada a los piñones y que no pueda patinar en ningún momento.

- Su ventaja es que **generan menos ruido** que las cadenas
- Su desventaja es que **hay que cambiarlas** con más frecuencia. Uno de los mantenimientos obligatorios del coche que no hay que olvidar.

### **Distribución por cadena**



La cadena de distribución es **mucho más resistente que la correa** y por lo tanto no tiene por que requerir mantenimiento a lo largo de la vida útil del motor. Solo en los casos en los que el coche llega a kilometrajes muy altos es necesario cambiarla o por lo menos revisarla.

Como en cualquier otro elemento del coche, también puede deteriorarse por un mal uso o por defectos de fabrica. Tanto si se estira demasiado como si se rompe, los daños del motor serían muy graves y requerirían una reparación muy cara.

# Estudio comparativo de potencia, torque y emisiones contaminantes en un motor de combustión interna de encendido provocado (MEP) con combustible extra, e5 y e10 a una altura de 2700 M.S.N.M.

## Comparative study of power, torque and polluting emissions from ignited internal combustion engine with extra, e5 and e10 fuels at 2700 M.A.S.L.

Juan Carlos Castelo Valdivieso<sup>1</sup>, Carlos Ramiro Cepeda Godoy<sup>2</sup>, Sayuri, Moserrath Bonilla Novillo<sup>3</sup>, Jaime Iván Acosta Velarde<sup>4</sup>, Gabriel Vinicio Moreano Sánchez<sup>5</sup>, Emilia Daniela Aimacaña Sánchez<sup>6</sup>, Rafael Andrés Villalba Ramírez<sup>7</sup>  
<sup>1,2,3,4,5,7</sup>Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Escuela de Ingeniería Automotriz<sup>6</sup> Universidad de Las Fuerzas Armadas

**Correspondencia Autores:** <sup>1</sup>j\_castelo@esPOCH.edu.ec, <sup>2</sup>ccepeda@esPOCH.edu.ec, <sup>3</sup>smbonilla@esPOCH.edu.ec, <sup>4</sup>ji\_acosta@esPOCH.edu.ec, <sup>5</sup>gabriel.moreano@esPOCH.edu.ec, <sup>6</sup>eeaimacana1@espe.edu.ec, <sup>7</sup>rafa\_villalba@esPOCH.edu.ec

**Recibido:** octubre 2017, **Publicado:** diciembre 2017

**Resumen--** La presente investigación muestra las evaluaciones realizadas del combustible Extra y los biocombustibles E5 y E10, que hacen referencia a una mezcla del 5% y 10% respectivamente de Etanol en la gasolina Extra, usando un motor MEP, con una cilindrada de 1.0 litro, con inyección electrónica indirecta.

Fueron estudiadas emisiones de gases contaminantes, a una altura de 2700 m.s.n.m., en la Sierra Ecuatoriana, con una presión atmosférica de 72 kpa.

Las pruebas de Par motor, Potencia y Emisiones contaminantes se las realizó en el centro de investigaciones CCICEV de la Escuela Politécnica Nacional, que cuenta con un dinamómetro y analizador de gases certificados, siguen normativas INEN 2203.

En el laboratorio de Procesos Industriales y Petróleos de la Escuela de Química de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, se efectuó la mezcla de biocombustible E10 y se desarrollaron pruebas de punto de inflamación, densidad, destilación, verificando el cumplimiento de la normativa INEN 0926. Se comparó y analizó los resultados de los combustibles Extra, E5 y E10, en términos de Torque, Potencia, Octanaje, Gases y pruebas de Laboratorio, obteniendo un incremento en parámetros efectivos del motor, así como un incremento de gases contaminantes con los biocombustibles.

**Palabras Clave--** Biocombustibles, gases contaminantes, motor de combustión interna, Potencia efectiva, presión atmosférica.

**Abstract—** The present research shows the evaluations of Extra fuel and biofuels E5 and E10, which refer to a mixture of 5% and 10% of Ethanol in Extra gasoline respectively, by means of an engine, with a displacement of 1.0 liter, with indirect electronic injection. The emission of pollutant gases, at a height of 2700 m.a.s.l., was studied in the Ecuadorian Highlands, with an atmospheric pressure of 72 kPa. The tests of both engine torque, power and pollutant emissions were made at the CCICEV research center of the Escuela Politécnica Nacional, which has a dynamometer and a certified gas analyzer, following INEN 2203 regulations. In the Laboratory of Industrial Processes and Petroleum of the School of Chemistry of the Faculty of Sciences of the Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, the E10 biofuel mixture was carried out and tests for flash point, density and distillation, verifying compliance with the INEN 0926 norm.

The results of the Extra, E5 and E10 fuels were compared and analyzed in terms of Torque, Power, Octane, Gases and Laboratory tests, obtaining an increase in effective engine parameters, as well as an increase of polluting gases with biofuels.

**Keywords--** Biofuels, polluting gases, internal combustion engine, effective power, atmospheric pressure.

### I. INTRODUCCIÓN

La utilización de combustibles alternativos cada vez va ganando espacio en la aplicación de motores de combustión interna, ya sean de encendido provocado o de encendido por compresión. Debido a la forma de combustión que se tiene en un motor de ciclo Otto, se ve necesaria la utilización de combustibles fósiles con un relativo alto grado de octanaje.

En la República de Ecuador, el gobierno ha venido insertando la comercialización del combustible denominado Extra, mezclado en un 5% con Etanol, dicho combustible se lo distribuye a la zona costera del país, es por este motivo que se ve la necesidad de realizar un estudio del comportamiento del motor con este combustible pero en condiciones atmosféricas diferentes, puesto que la topografía del país es irregular de una ciudad a otra.

En su investigación Demirbas manifiesta que el bioetanol puede ser usado directamente en automóviles diseñados para trabajar con etanol puro o mezclado con gasolina para hacer "gasohol". Ninguna modificación del motor es típicamente necesaria para usar esta mezcla. [1]

El motivo principal para la mezcla de etanol con gasolina proveniente de la destilación del petróleo es la disminución de gases contaminantes, la utilización de Etanol incrementa la cantidad de oxígeno de la gasolina mezclada, debido a la presencia de un átomo de oxígeno por molécula. Sin embargo, hay que tomar en cuenta la presión atmosférica a la que se encuentra funcionando el motor de combustión interna y además si se trata de un motor atmosférico o sobrealimentado. [2]

Está demostrado que el uso de combustibles oxigenados para la combustión en motores de ciclo Otto generalmente disminuyen las emisiones de monóxido de carbono e

hidrocarburos sin embargo la magnitud global de reducción puede ser poco significativa. [3]

El número de octano de un combustible necesario para una adecuada operación al momento del funcionamiento del motor de combustión interna de encendido provocado, está directamente relacionado con la relación de compresión del volumen interior del cilindro y la cámara de compresión, es así que para relaciones de compresión mayores a 9:1 los fabricantes recomiendan combustibles con alrededor de 90 octanos.

El poder calorífico del combustible mezclado depende del grado de hidratación del etanol, es así que en la utilización de un motor de combustión interna de encendido provocado monocilíndrico de 0,5 L, de inyección, con relación de compresión de 10,5:1, para probar mezclas E0, E10, E20, E30, E40 y etanol hidratado, y encontraron que el consumo de combustible es mayor para el etanol hidratado que para el etanol anhidro para todos los porcentajes de mezclas. Lo cual es causado por el bajo poder calorífico inferior (LHV) del etanol hidratado. [4]

Se tiene datos de que el comportamiento del motor al estar funcionando en estado de ralentí, es diferente a cuando se le aplica carga y demanda de potencia. Fueron realizadas pruebas en un dinamómetro de rodillos a dos condiciones de velocidad: 80 y 100 km/h, en un motor enfriado por agua, de inyección multipunto de 1.396 cm<sup>3</sup>, con relación de compresión de 10,4 :1, con mezclas E5 y E10, siendo encontrado que a 80 km/h el consumo específico de combustible para E5 y E10 aumentó un 2,8 y 3,6 %, respectivamente, en comparación con E0. A una velocidad de 100 km/h el consumo específico para E5 y E10 se incrementó en 0,2 y 1,5 %, respectivamente. Por otro lado, encontraron que a 100 km/h los incrementos en las eficiencias térmicas de E5, E10 son 1,9 y 2,5 %, respectivamente, en relación a E0. [5]

En Ecuador se comercializa tres tipos de combustible para motores de combustión interna por encendido provocado, es el caso de la gasolina Súper con 92 octanos, combustible extra con 87 octanos y la denominada Ecopais que es una mezcla de gasolina extra con 5% de Etanol y se comercializa en la zona costera del país. Sin embargo según el reporte de Petroecuador la gasolina Extra tiene 85,3 octanos RON a nivel del mar, además posee Aromáticos: 18.3 máx.; Olefinicos: 14.9 máx. [6]

Finalmente se tiene como referencia que al emplear un MCI-EP monocilíndrico de dos tiempos, mezclas E5, E10 y E15. Las pruebas se realizaron en un dinamómetro de chasis a 4 regímenes de giro del motor (2.500, 3.000, 3.500 y 4.500 rpm) y cuatro cargas diferentes (25, 50, 75 y 100 %). Encontraron que cuando la velocidad del motor aumenta, la relación combustible/ aire disminuye, razón por la cual los HC se reducen un 30 % en promedio. Cuando aumenta la velocidad del motor, el tiempo requerido para la combustión disminuye, por lo que se incrementan las emisiones de CO. En general, para diferentes velocidades y cargas, el contaminante CO disminuyó en promedio un 35 %. Con E5, el CO<sub>2</sub> disminuyó aproximadamente 6,3 %. La mayor ventaja de las mezclas de etanol es la reducción de NO<sub>x</sub>, los cuales

se reducen en 83 % cuando se utiliza E15 y en 38 % en promedio para otros casos. [7]

En vista de la necesidad de realizar un análisis del comportamiento del motor de combustión interna a alturas de 2700 m.s.n.m. se optó por estudiar los parámetros de torque, potencia y emisiones contaminantes con combustibles E5, E10 y Extra.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

Para este trabajo se utilizó una investigación experimental con un diseño longitudinal, basado en la recolección de datos a través del tiempo en diferentes periodos y condiciones.

Se tiene un enfoque cuantitativo puesto que para la recolección de datos se utilizó una hoja de registro, que corresponden a la potencia efectiva, par motor y emisiones contaminantes del motor de combustión interna.

La muestra de la investigación es única, corresponde a un vehículo de la marca Chevrolet modelo Spark de año de fabricación 2008, el mismo que cuenta con un motor de 1000 centímetros cúbicos de cilindrada total y una relación de compresión de 9,3:1.

Se utilizó la técnica investigativa basada en análisis estadístico básico, para obtener los promedios de los diferentes resultados que arrojó la investigación. Para el desarrollo de la metodología mostrada, las pruebas experimentales se realizaron a una altura de 2700 m.s.n.m equivalente a 72 kPa de presión atmosférica.

El procedimiento que se llevó a cabo para el desarrollo de la investigación fue basado en pruebas de laboratorio para determinar propiedades físicas y químicas de los combustibles, preparación del vehículo de pruebas que permitan un funcionamiento óptimo del motor de combustión interna; pruebas de par motor, potencia y análisis de gases realizadas en el Centro de Transferencia Tecnológica para la Capacitación e Investigación en Control de Emisiones Vehiculares (CCICEV) de la Escuela Politécnica Nacional que admitan una comparación de resultados entre los combustibles.

### Pruebas en laboratorios pruebas en laboratorios

Las pruebas de destilación, punto de inflamación y densidad específica, de los combustibles Extra, E5 y E10, se realizaron en los laboratorios de la Escuela de Ingeniería Química de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

En la preparación del vehículo de pruebas se realizó el siguiente procedimiento para cada prueba a la que fue sometido el motor con los diferentes combustibles.

### Limpieza del tanque de combustible

Se procedió a desmontar el tanque de combustible del vehículo para posteriormente extraer el combustible restante. Una vez vacío se efectuó el lavado, con agua y detergente, siendo posteriormente secado con un paño absorbente para eliminar todo residuo producido por el combustible o deterioro del tanque.

### Filtros

Los filtros de aire y combustible son los que retienen la mayor parte de partículas de suciedad del aire y de la

gasolina respectivamente. Se reemplazó los micro filtros de cada uno de los inyectores.

#### Limpieza de los inyectores

Se realizó una limpieza de inyectores por ultrasonido, para evitar la obstaculización en los agujeros de los inyectores.

#### Medición de compresión

Con la ayuda de un manómetro, se identificó que el motor tiene 140 psi de compresión, comprobando que está dentro del rango de las especificaciones del fabricante.

#### Presión de bomba de combustible

Se realizó la prueba de presión de la bomba de combustible con la ayuda de un manómetro, dando una presión de 45 psi de presión.

#### Revisión de los componentes electrónicos

Se hizo una observación completa de los componentes electrónicos del vehículo con la ayuda del scanner, los datos obtenidos se encontraron dentro de los rangos establecidos por el fabricante.

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### Resultados

Los resultados de las pruebas de densidades y punto de inflamación se muestran en las Tablas 1 y 2 respectivamente.

Los resultados que muestra la Tabla 1 corresponde a la gravedad específica de las diferentes gasolinas, que es la densidad de los combustibles sobre la densidad del agua. Fue observado un resultado similar entre los tres combustibles.

TABLA 1  
Gravedad específica de los combustibles Extra, E5 y E10.

Combustible	Gravedad Específica
Extra	0,73
E5	0,74
E10	0,735

La Tabla 2 muestra una variación en el punto de inflamación de cada combustible.

TABLA 2  
Punto de inflamación de los combustibles Extra, E5 y E10.

Combustible	Punto de inflamación (°C)
Extra	56
E5	50
E10	49

#### Potencia y par motor efectivo

Se realizaron las preparaciones del vehículo mencionadas en la metodología y se lo traslado al dinamómetro de rodillos del CCICEV, teniendo los resultados de potencia efectiva y par motor con combustible Extra los que se muestra en la Figura 2.

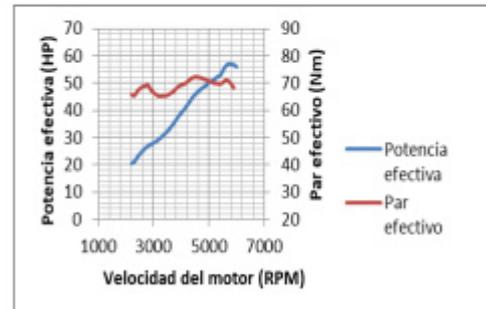


Fig. 2. Potencia y torque efectivo con combustible Extra.

Una vez realizado el vaciado y la limpieza del tanque de combustible, se procedió a utilizar el combustible E5 y a analizar el comportamiento del motor en el banco dinamométrico. En la Figura 3 se puede observar la tendencia de la potencia efectiva del motor, así como también la evolución del par motor, al utilizar un combustible con 5% de etanol.

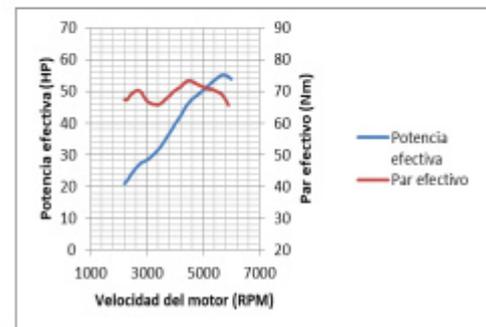


Fig. 3. Potencia y torque efectivo con combustible E5.

Finalmente es obtenido el estudio de la potencia efectiva del motor con el combustible E10, el cual es presentado en la Figura 4. Fue observado un comportamiento diferente de la potencia a medida que se incrementan las rpm del motor. La utilización de un combustible E10 por lo tanto refleja un incremento de potencia en el motor en estudio al igual que un incremento de torque o par motor.

Estudio comparativo de potencia, torque y emisiones contaminantes en un motor de combustión interna (MEP) con combustibles extra, E5 y E10 a una altura de 2700 m.s.n.m.

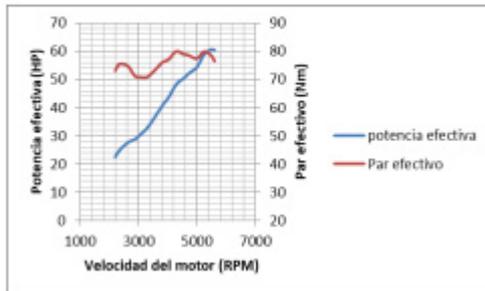


Figura 4. Potencia y par motor efectivo con combustible E10.

#### Consumo de combustible con Extra, E5 y E10

Se llenó el tanque con 35 litros de combustible y se tomó el número de kilómetros indicado en el odómetro. Se recorrió un total de 242 km para verificar la cantidad de combustible consumido.

#### Combustible Extra

Consumo = 5,32 Litros / 100 Kilometros

#### Combustible E5.

Consumo = 6,91 Litros / 100 Kilometros

#### Combustible E10.

Consumo = 7,755 Litros / 100 Kilometros

#### Mejora de octanaje

Para la mejora del octanaje nos basamos en la Tabla 3.

TABLA 3.  
Efecto del bioetanol en el octanaje de la gasolina-base.

Composición de la gasolina-base			Incremento de octanaje con							
			5% de bioetanol		10% de bioetanol		15% de bioetanol		20% de bioetanol	
Aro máticos	Oleo finicos	Saturados	M N	R N	M N	R N	M N	R N	M N	R N
50	15	35	0,1	0,7	0,3	1,4	0,5	2,2	0,6	2,9
25	25	50	0,4	1,0	0,2	2,1	1,3	3,1	1,4	4,4
15	12	73	1,4	2,9	3,4	4,5	5,6	6,6	8,8	1,1
11	7	82	2,2	2,4	4,5	5,6	8,8	8,8	8,8	1,1

Fuente: Mariante, 2008 [8]

Con el combustible E5 se posiciona en la segunda fila de la tabla que nos indica un aumento de 1.0 de octanaje al combustible y basándonos en el informe de octanaje de combustible extra en nuestro país es de 85.3 octanos. Por tal razón con el incremento nos resulta un combustible de 86.3 octanos, diferencia que permite un aumento de Potencia en todo régimen de motor.

Con el combustible E10 con 10% de etanol a la mezcla por volumen de combustible, se tomó las mismas consideraciones para el resultado de incremento de octanaje. Los datos del combustible nos indican un aumento de 2.1 de octanaje al combustible adicionando, es decir que a los 85.3 octanos tenemos un incremento a 87.4 octanos.

La Tabla 4 muestra el promedio del ancho del pulso de inyección que es 1.7 ms, este dato es utilizando con el combustible extra ya que es el combustible base usado en la región sierra. Este ancho de pulso depende de la información del sensor MAP que es de 29 kPa, régimen del motor y en particular del sensor de oxígeno, ya que puede este último dar información de mezcla pobre y señales de mezcla rica.

TABLA 4  
Monitoreo del motor con combustible Extra

Datos actuales del motor	
Pulso de inyección promedio	1,7 ms
Velocidad del motor	798 rpm
Sensor MAP	28 kpa
Sensor ECT	94 °C
Sensor BARO	72 kpa
HO2S 1	894 mv

En la Tabla 5 el sensor MAP indica la presión absoluta con la que trabaja el motor, este dato depende del lugar geográfico que se encuentre el vehículo, en este caso son 28 kPa ya que el motor se encuentra trabajando en ralentí a una altura de 2700 m.s.n.m.. El sensor de temperatura de refrigerante presenta un dato de 92 °C, entendiéndose que el motor está trabajando a la temperatura normal de funcionamiento.

TABLA 5  
Monitoreo del motor con combustible E5

Datos actuales del motor	
Pulso de inyección promedio	2,4 ms
Velocidad del motor	800 rpm
Sensor MAP	28 kpa
Sensor ECT	92 °C
Sensor BARO	72 kpa
HO2S 1	459 mv

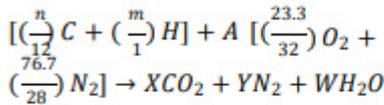
En la Tabla 6 se visualiza que la presión atmosférica es de 73 kPa y la del sensor MAP es 30 kPa ya que todas las pruebas se realizaron en el mismo lugar geográfico, la temperatura del refrigerante con la que trabaja es de 91 °C, el pulso de inyección promedio de los inyectores sube a los 2,6 milisegundos indicando un aumento en el ancho de pulso, por el combustible que se está empleando.

TABLA 6  
Monitoreo del motor con combustible E10

Datos actuales del motor	
Pulso de inyección promedio	2,6 ms
Velocidad del motor	794 rpm
Sensor MAP	30 kpa
Sensor ECT	91 °C
Sensor BARO	72 kpa
HO2S 1	894 mv

### Relación Estequiométrica

Ecuación general para obtener la relación estequiométrica de combustible que se requiere trabajar. [9]



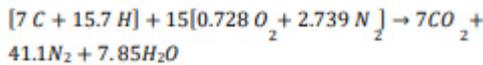
A= Relación Aire Combustible.

n= % de Carbono en el combustible.

m= % de Hidrógeno en el combustible.

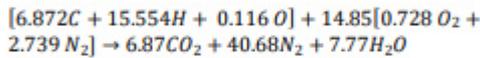
X, Y, W = número moles de los productos.

Reemplazando las incógnitas que se obtienen por el porcentaje de los componentes y porcentajes máxicos de la ecuación con el combustible Extra tenemos:



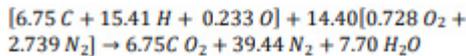
A= 15. Es la mezcla estequiométrica que se necesita para combustionar la gasolina Extra.

Reemplazando las incógnitas encontradas de la ecuación con el combustible E5 tenemos:



A= 14.85. Es la mezcla estequiométrica que se necesita para combustionar la gasolina E5.

Reemplazando las incógnitas encontradas con el combustible E10 tenemos:



A= 14.40. Es la mezcla estequiométrica que se necesita para combustionar la gasolina E10.

### Emisiones contaminantes

En cuanto a la cantidad de gases contaminantes obtenida al utilizar gasolina Extra, se muestra todos los valores tanto en estado de ralenti como de altas RPM según la norma NTE INEN 2203 en la Tabla 7.

**TABLA 7**  
Emisiones contaminantes con combustible Extra.

Parámetros	Primera medición		Segunda medición		Tercera medición	
	Ralenti	RPM altas	Ralenti	RPM altas	Ralenti	RPM altas
CO [%v]	0,26	0,01	0,39	0,02	0,1	0,03
CO2 [%v]	12,9	12,9	12,7	12,9	13	13
CO corr [%v]	0,3	0,01	0,45	0,02	0,11	0,03

HC [PPM]	32	29	31	11	10	11
O2 [%v] EXTRA	0,1	0,17	0,08	0,08	0,07	0,08
λ	0,887	1,007	0,989	1,003	1	1,002
RPM	780	2510	790	2560	810	2550
T ACEITE [°C]	95	94	94	94	94	94

Una vez reemplazado el combustible extra por E5, se presenta los resultados del análisis en la Tabla 8.

**TABLA 8**  
Misiones contaminantes con combustible E5.

Parámetros	Primera medición		Segunda medición		Tercera medición	
	Ralenti	RPM altas	Ralenti	RPM altas	Ralenti	RPM altas
CO [%v]	3,42	0,05	1,01	0,1	1,49	0,03
CO2 [%v]	10,8	12,9	12,8	12,8	12	12,8
CO corr [%v]	3,61	0,06	1,1	0,12	1,66	0,04
HC [PPM]	226	79	111	0,12	137	38
O2 [%v]	0,1	0,13	0,16	0,38	0,06	0,08
λ	0,887	1,001	0,971	1,013	0,948	1,001
RPM	790	2500	790	2520	790	2500
T ACEITE [°C]	92	91	91	89	91	91

Finalmente se tiene la serie de datos tabulados referente a los gases contaminantes estudiados con un combustible E10 como muestra la Tabla 9.

**TABLA 9**  
Emisiones contaminantes con combustible E10.

Parámetros	Primera prueba		Segunda prueba		Tercera prueba	
	Ralenti	RPM altas	Ralenti	RPM altas	Ralenti	RPM altas
CO [%v]	2,82	0,08	2,31	0,18	2,95	0,07
CO2 [%v]	13	14,1	13,2	14,3	12,6	14,3
CO corr [%v]	2,82	0,08	2,31	0,19	2,95	0,07
HC [PPM] E10	190	68	186	84	155	45
O2 [%v] E10	0	0,08	0	0	0	0
λ	0,912	0,998	0,926	0,991	0,908	0,995
RPM	790	2550	800	2600	800	2540
T ACEITE [°C]	90	90	90	90	90	90

Estudio comparativo de potencia, torque y emisiones contaminantes en un motor de combustión interna (MEP) con combustibles extra, E5 y E10 a una altura de 2700 m.s.n.m.

### Análisis comparativo de gases de combustión

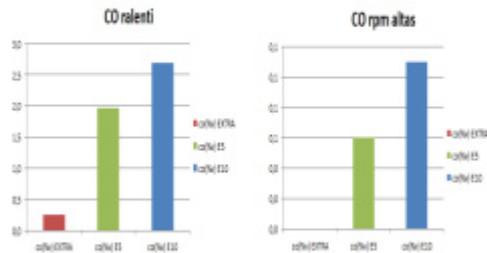


Fig. 7. Comparativa de monóxido de carbono entre los combustibles Extra, E5 y E10.

En el vehículo de prueba en estado de ralentí, el gas monóxido de carbono se incrementa un 1.7% por volumen cuando se utiliza el combustible E5, en comparación del combustible Extra. Empleando el combustible E10 de igual manera incrementa 2.4%. Por lo que estos combustibles aumenta la contaminación en la altura. Según indica la NTE INEN 2203 es de 2500 rpm, y se toma datos de este gas los cuales son equivalentes.

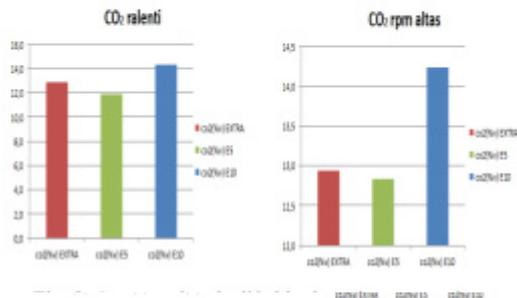


Fig. 8. Comparativa de dióxido de carbono entre los combustibles Extra, E5 y E10.

El dióxido de carbono es un gas no tóxico pero de igual manera contaminante, observamos que en estado de ralentí su valor usando combustible E5, baja su producción 1 % por volumen y con el combustible E10 aumenta su producción a 1.4%. En revoluciones elevadas observamos que usando el combustible E10 aumenta su producción 1.3% por volumen.

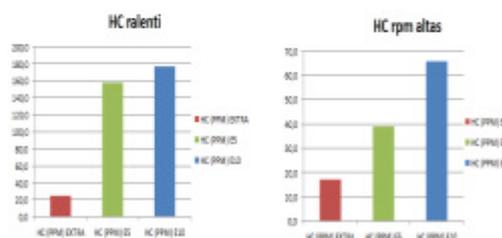


Fig. 9. Comparativa de monóxido de hidrógeno entre los combustibles Extra, E5 y E10.

El valor de contaminación de los hidrocarburos usando combustibles alternos, muestran un aumento significativo en comparación con el combustible base de muestra, de igual manera en altas revoluciones nos indica un aumento.

El oxígeno es una muestra de la combustión dentro de la cámara, el valor siempre va a estar oscilando. Es muy importante porque mediante el sensor de oxígeno la ECU puede tener la información del proceso de combustión. Los resultados nos muestran que utilizando los biocombustibles el oxígeno prácticamente desaparece o toma valores muy bajos, esto es por el enriquecimiento de la mezcla. Ya sea por mala corrección estequiométrica o porque el pulso de inyección se incrementa como se mostró en las Tablas 5 y 6.

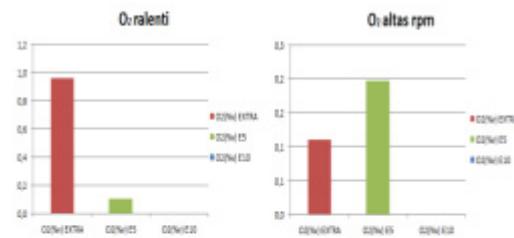


Fig. 10. Comparativa de oxígeno entre los combustibles Extra, E5 y E10.

### IV. CONCLUSIONES

El incremento de los gases contaminantes CO Y HC es el reflejo de la falta de oxígeno en la combustión de estos combustibles por lo que indica que estamos trabajando en una mezcla rica y a una mayor altura referente al nivel del mar.

del mar.

Usando los biocombustibles, la relación estequiométrica ideal de aire/combustible baja con respecto a la gasolina extra, lo cual indica que se necesita menor cantidad de moléculas de oxígeno para realizar la combustión, por lo que el sistema electrónico está programado para una mezcla estequiométrica con valor de combustible y oxígeno más alto, dando una mezcla rica al oxidarse los combustibles alternativos.

La altura es un factor principal para el incremento de los gases contaminantes entre ellos el monóxido de carbono y los hidrocarburos por lo que el sistema electrónico realiza ajustes con ayuda del sensor de oxígeno y sensor MAP.

Con el combustible E10 son obtenidas mejoras considerables en Torque y Potencia efectivos frente a los dos combustibles de prueba, E5 y Extra.

Para el vehículo Chevrolet Spark en el cual se realizaron las pruebas pertinentes, con los combustibles alternos, E5 y E10, no tiene efectos positivos a la disminución de contaminación a una altura mayor a 2700msnm, este resultado no se puede generalizar para todo el parque automotor que existe en el País.

**REFERENCIAS.**

- [1] Demirbas, A. (2011). Competitive liquid biofuels from biomass. *Journal Applied Energy* 88(1), 17-28.
- [2] Manzini, F. (2006). Inserting renewable fuels and technologies for transport in Mexico City Metropolitan Area. *International Journal of Hydrogen Energy*, 31 (3), 327-335.
- [3] Ocampo, W. (2006). ¿Es la biogasolina una alternativa ambiental en Colombia?. *Revista Facultad de Ingeniería*, 38 (1), 7-19.
- [4] Ocampo, W. (2006). ¿Es la biogasolina una alternativa ambiental en Colombia?. *Revista Facultad de Ingeniería*, 38 (1), 7-19.
- [5] Eyidogan, M., Ozsezen, A., Canakci, M., & Turkcan, A. (2010). Impact of alcohol-gasoline fuel blends on the performance and combustion characteristics of an SI engine. *Fuel*, 89, 2713-2720.
- [6] Ecuador, Petroecuador (2016). Informe sobre los ensayos de octanaje de la gasolina Extra. Pascuales.
- [7] Ghazikhani, M., Hatami, M., Safari, B., & Ganji, D. (2014). Experimental investigation of exhaust temperatura and delivery ratio effect on emissions and performance of agasoline-ethanol twostroke engine. *Case Studies in Thermal Engineering*, 2, 82-90.
- [8] Mariante, J. (2008). *Energia para el desarrollo sostenible*. Rio de Janeiro: Senac Rio, 208. pág. 320. Vol. 1.
- [9] Liliانا, Gusman Beckmann. (2013). *dspace.uce.edu.ec*. [En línea] 09 de 2013. [Citado el: 03 de 03 de 2016.] <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/2840/1/T-UC-E-0011-25.pdf>.

# Determinación del Torque y Potencia de un Motor de Combustión Interna a Gasolina Mediante el Uso de Bujía con Sensor de Presión Adaptado y Aplicación de un Modelo Matemático

Castillo, Jairo<sup>1</sup>; Rojas, Vicente<sup>1</sup>; Martínez, Jorge<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Mecánica, Quito, Ecuador

**Resumen:** La presente investigación está orientada a determinar de una manera alternativa el torque y potencia de un motor de encendido provocado (MEP). En primera instancia, mediante el protocolo basado en la norma INEM 960, el uso de la tarjeta electrónica DAQ USB 6008 y la programación en el Software Labview, se realiza la adquisición y procesamiento de señales efectuando diversas pruebas en el banco dinamométrico a tres vehículos de diferente categoría que representan los más vendidos en el país. Posteriormente se efectúa un análisis estadístico en el Software Minitab determinando que la cilindrada, la velocidad del vehículo y la potencia de la señal son las variables altamente significativas que representan una incidencia directa para el cálculo. Los resultados se vieron plasmados en la obtención de dos ecuaciones que rigen el comportamiento del torque y potencia para vehículos entre una cilindrada de 1,4 a 2,4 litros. Además, se presentan los diagramas de torque y potencia con carga máxima respecto a la velocidad del vehículo a diferentes alturas sobre el nivel del mar. Finalmente se realizan pruebas en carretera a distintas condiciones de manejo para comprobar la veracidad de los resultados, comparándolos también con los medidos por un banco dinamométrico, obteniendo un intervalo de confianza (IC) del 92% que demuestra que los mismos no exhiben una diferencia estadística altamente significativa.

**Palabras clave:** Análisis estadístico, potencia, potencia de la señal, sensor de presión, torque.

## Determination of Torque and Power of a Gasoline Internal Combustion Engine by Using Spark with Pressure Sensor Adapted and Application of a Mathematical Model

**Abstract:** This investigation aims to determine through an alternative way the torque and power of a spark ignition engine. At first, the signals of three different vehicles, which are the best-selling cars in our country, were acquired and processed by developing several test in the dynamometer bench by using the protocol based on the INEM 960 norm, the use of the DAQ USB 6008 electronic card and the programming in the Labview Software. Subsequently, a statistical analysis is performed using the Minitab software in order to determine that the cylinder capacity, the vehicle speed and signal power are highly significant variables, which represent a direct incidence on the calculation. In the results, there were obtained two equations that govern the behavior of the torque and power for

vehicles with a cylinder capacity of 1,4 to 2,4 liters. In addition, the maximum load diagrams of torque and power regarding the speed of the vehicle at different heights above sea level are presented. Finally, road test are performed at different driving conditions with the purpose of proving the veracity of the obtained results, which are also compared with the measured results in a dynamometer bench, obtaining a 92% confidence interval, which demonstrates that these ones do not exhibit a highly significant statistical difference.

**Keywords:** Statistical analysis, power, signal power, pressures sensor, torque.

### 1. INTRODUCCIÓN

A pesar del incremento paulatino del parque automotor en las carreteras del país, la sociedad técnica y los usuarios en

general no disponen de una alternativa diferente para determinar el torque y potencia de un motor. En la actualidad la manera más usual de hacerlo es mediante un banco dinamométrico, al cual no se tiene acceso fácilmente debido a su elevado precio adquisitivo y los costos que se desprenden de su servicio. En consecuencia, la investigación en éste ámbito para las universidades y centros de desarrollo tecnológico se ve reducida ya que resulta económicamente inviable. Por otro lado, los talleres automotrices y afines se

jairocastillo07@gmail.com  
Recibido: 26/02/2016  
Aceptado: 24/01/2017  
Publicado: 15/04/2017

ven limitados ya que si consideraran el análisis de estos dos parámetros obtendrían una técnica de diagnóstico que les permita evaluar las condiciones de funcionamiento del motor en menor tiempo y una precisa aplicación del respectivo mantenimiento posteriormente.

Para solucionar las necesidades expuestas, con la presente investigación se plantea una manera alternativa de determinar el torque y potencia de un motor de encendido provocado (MEP) mediante el uso de una bujía con sensor de presión adaptado y un modelo matemático que revela las variables que intervienen directamente en el cálculo.

La organización de este artículo es como sigue. La sección II engloba una base teórica que fundamenta la investigación propuesta. La sección III describe los dispositivos y parámetros esenciales para determinar el torque y potencia, incluido el diseño y construcción de un sistema de refrigeración que protege al sensor de presión de las elevadas temperaturas a las que está sometido. Así mismo, mediante un protocolo establecido, se realiza la adquisición y procesamiento de señales efectuando diversas pruebas en el banco dinamométrico a tres vehículos de diferente categoría, los mismos que están en condiciones idóneas de funcionamiento. Posteriormente se efectúa un análisis estadístico en el software Minitab 14 para determinar las variables que representan una incidencia directa para el cálculo. La sección IV hace referencia a la validación del modelo matemático planteado, comparando los resultados obtenidos respecto a los medidos por un banco dinamométrico; además, se analizan los valores de torque y potencia de las pruebas efectuadas en carretera a distintas condiciones de manejo con el objeto de comprobar la coherencia de los mismos.

Finalmente, se incluye las conclusiones a las que se ha llegado al culminar el presente trabajo y las referencias a las cuales se han acudido para sustentarlo.

## 2. MARCO DE REFERENCIA

### 2.1 Par motor

La combustión de la mezcla aire-combustible, por acción de la chispa eléctrica, genera un aumento de la presión y temperatura en el interior de los cilindros del motor. Esta presión interior produce a su vez una fuerza de empuje  $F$  sobre el pistón que lo desplaza generando el clásico mecanismo de biela-manivela de los motores de combustión interna alternativo, donde el movimiento lineal del pistón en el interior del cilindro se transforma en un movimiento rotatorio del cigüeñal. La fuerza que actúa sobre el pistón es proporcional a la presión media efectiva durante la carrera de expansión (Genta et al., 2014), la misma que depende del grado de llenado de los cilindros, de la relación de compresión, de la cilindrada y de la eficacia con que se desarrolla la combustión. En el esquema de la Figura 1, la fuerza  $F$  ejercida sobre el pistón se descompone en la fuerza  $F_b$  que actúa sobre la cabeza de biela y en la  $F_n$  que produce un empuje lateral sobre las paredes del cilindro.

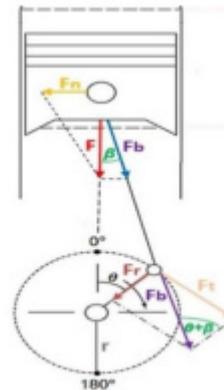


Figura 1. Esquema para la obtención del par motor.

Por lo tanto, el producto de la fuerza  $F_b$  por el radio  $r$  de la manivela determina el par motor, reflejado aritméticamente en la Ecuación (1).

$$T = F_b * r \quad (1)$$

$T$  : Torque o par motor (N.m)

$F_b$ : Fuerza sobre la biela (N)

$r$  : Radio de la manivela del cigüeñal (m)

La fuerza  $F$  que produce el torque es variable, que en un motor de 4 tiempos es máxima en el momento que se lleva a cabo la fase de combustión y su posterior expansión en el cilindro, siendo negativo el torque en las demás fases. Dentro de la etapa donde se genera trabajo el rendimiento del motor no es igual en todos los puntos, depende del régimen de giro y consecuentemente de la fuerza de empuje que se genera. Es así que el número de revoluciones limita el llenado correcto de los cilindros y, por tanto, el par motor. A bajas revoluciones la combustión de la mezcla no resulta óptima debido a la escasa inercia que poseen los gases que provoca que el llenado del cilindro no sea el ideal, al igual que su vaciado. Por otro lado, si el motor funciona a un elevado régimen, tampoco el llenado de los cilindros es completo debido al escaso tiempo que dispone el gas para ocupar todo el espacio disponible (Reif, 2014). Además, a partir del punto óptimo de revoluciones del motor, aunque se quemó más combustible acelerando el mismo y consiguiendo que la potencia todavía se incremente más, el par descende. De ahí que los consumos específicos óptimos estén en valores próximos a la zona de par máximo, aumentando el consumo del motor conforme se aleja de este rango (Genta et al., 2014).

### 2.2 Potencia

El concepto de potencia expresa cuantas veces está disponible el par motor en el tiempo, es decir, con qué velocidad se puede disponer del par. La potencia desarrollada por un motor depende de la relación de compresión y de la cilindrada, ya que a mayores valores de estas le corresponde mayor explosión y más fuerza aplicada al pistón; también depende íntimamente de las revoluciones por minuto a las

que gira el motor. En consecuencia, la potencia puede ser determinada mediante la Ecuación (2).

$$P = T * w = \frac{T * n}{\frac{60}{2\pi}} \quad (2)$$

$P$  : Potencia del motor (kW)  
 $T$  : Torque o par motor (N.m)  
 $w$  : Velocidad angular del eje del cigüeñal (rad/s)  
 $n$  : Revoluciones por minuto (rpm)

Luego de alcanzar la potencia máxima, el exceso de revoluciones ocasiona que ésta disminuya debido a que el sistema de inyección de combustible tiene un límite operativo, superado el mismo, no tiene precisión suficiente para inyectar el combustible eficazmente; además, el sistema de distribución no es capaz de abrir y cerrar las válvulas con la suficiente velocidad para que los gases de escape y de admisión fluyan adecuadamente. El límite máximo de revoluciones a la que puede girar el motor está establecido por las propias limitaciones de los elementos mecánicos que lo constituyen.

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Sensores y parámetros del motor requeridos para el cálculo del torque y potencia

##### 3.1.1 Presión Media Efectiva (P.M.E)

Es aquella presión promedio por encima de la atmosférica que ejercen los gases sobre el émbolo durante la carrera de expansión del motor al ser quemados por acción de la chispa eléctrica. La P.M.E es proporcional al par motor y para un régimen de rotación determinado, también a la potencia suministrada. El cálculo de la P.M.E se traduce en determinar la presión en el interior del cilindro durante el ciclo de trabajo del motor, lo que es similar a determinar la potencia de la señal; para esto se utiliza un sensor piezoeléctrico que se adapta a la bujía de encendido para brindar mediciones en tiempo real de dicha presión interna. En términos de procesamiento de señales, la energía de la señal es una medida que denota la intensidad o tamaño de la misma. La función de energía de una señal representa la energía disipada por una resistencia de 1 ohm cuando se aplica un voltaje equivalente a la señal de presión del cilindro. En dominio discreto, la energía de la señal viene dada por la Ecuación (3) (Oppenheim, 1998).

$$E = \sum_{n=n_1}^{n_2} |x_n|^2 \quad (3)$$

La potencia de la señal es la cantidad de energía de la señal consumida por unidad de tiempo en un intervalo (número total de muestras), es decir, la señal vista como una función del tiempo. En dominio discreto, la potencia de la señal viene dada por la Ecuación (4) (Oppenheim, 1998).

$$P_s = \frac{1}{n_2 - n_1 + 1} \sum_{n=n_1}^{n_2} |x_n|^2 \quad (4)$$

El sensor piezoeléctrico a utilizar es de la marca BOSCH y abarca un rango de presiones de 0 a 140 bares. Proporciona una señal analógica, cuyo voltaje es proporcional a la presión que detecta. Además, trabaja en un rango de temperatura de -40°C hasta 130°C.

#### 3.2 Dispositivos de diseño esenciales

##### 3.2.1 Tarjeta de adquisición de datos DAQ USB-6008

Es utilizada para el diseño y comando de prototipos, entornos y sistemas reales de una manera versátil y rápida mediante el empleo de software y hardware flexibles. Está en la capacidad de tomar información del entorno por medio de sus pines de entrada de toda una gama de sensores y puede controlar actuadores mediante sus pines de salida. Es posible la transferencia de datos de ésta al ordenador ya que tiene la capacidad de ser programable por medio de diferentes softwares como el Labview, utilizado en la presente investigación, permitiendo desarrollar códigos en tiempo real mediante USB. Las principales especificaciones técnicas de la tarjeta electrónica se citan en la Tabla 1.

Tabla 1. Especificaciones técnicas de la tarjeta DAQ USB-6008.

Denominación	Valor
Voltaje de funcionamiento	4,1 – 5,25 VDC
No. pines de entrada analógicos de un solo terminal	8
No. pines de entrada analógicos diferenciales	4
No. pines de salida analógicos	2
No. pines de entrada/salida digitales	12
Temperatura ambiental de operación	0-55°C
Velocidad del Bus USB	12 Mb/s
Dimensiones	8,51x8,18x2,31 cm

##### 3.2.2 Vehículos de prueba

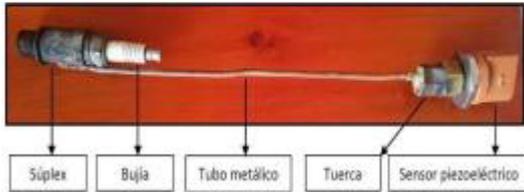
Se dispuso de 3 vehículos que estuvieron en condiciones idóneas de funcionamiento, es decir, sin presentar problemas mecánicos, eléctricos o electrónicos que pudiesen afectar los resultados de la investigación. Además, estos vehículos que corresponden a la misma marca, en sus distintas categorías son los más vendidos en el país (PRO Ecuador, 2013). Sus especificaciones técnicas se detallan en la Tabla 2.

##### 3.2.3 Adaptación a la bujía de encendido

Para efectos de monitoreo de la presión en el interior del cilindro es necesario realizar una adaptación a la bujía de encendido. Ésta consiste en acoplar un tubo metálico a la bujía para que los gases sean guiados desde el interior del cilindro hasta el sensor de presión que es ajustado en el extremo de la misma. Para esto se hace uso de un dúplex y un tubo delgado. La adaptación realizada no perjudica el funcionamiento correcto del cilindro analizado y del motor en general. El acople terminado se observa en la Figura 2.

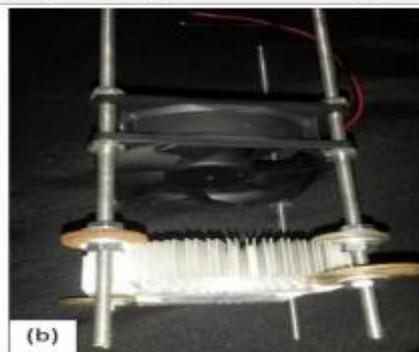
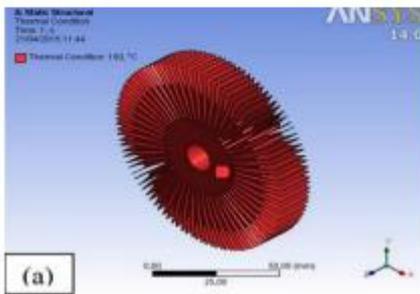
**Tabla 2.** Especificaciones técnicas de los vehículos de prueba.

Denominación	Descripción		
Marca	Chevrolet	Chevrolet	Chevrolet
Modelo	Aveo	Grand Vitara	Luv D-max 4x2
Año de fabricación	2009	2011	2010
Cilindrada total	1,4 lt	2,0 lt	2,4 lt
Compresión del motor	9,5:1	9,3:1	9,6:1
Número de cilindros	4	4	4
Potencia máxima	68,66 kW a 6200 rpm	94 kW a 6000 rpm	92,5 kW a 4800 rpm
Torque máximo	130 Nm a 3400 rpm	174 Nm a 4300 rpm	195 Nm a 3600 rpm



**Figura 2.** Bujía con sensor de presión adaptado.

Por las elevadas temperaturas a las que está sujeto el sensor piezoeléctrico es necesario disponer de un sistema de refrigeración para prevenir daños al efectuar los distintos ensayos experimentales. En la Figura 3 se observa el sistema de refrigeración, el cual está compuesto de un ventilador y un disipador de calor; para la construcción de éste último se realizó previamente un análisis de su diseño mediante el software ANSYS. Según los cálculos obtenidos, el disipador garantizará la evacuación de calor necesaria para que el sensor trabaje dentro de su rango normal de temperatura. La construcción del disipador de calor se realiza por fundición en un molde de arena.



**Figura 3.** (a) Simulación disipador de calor, (b) Sistema completo de refrigeración.

### 3.3 Adquisición de señales

Se extrae la señal del sensor de presión en tiempo real mediante el uso de los terminales analógicos de la DAQUSB-6008 y la programación en el software Labview. El canal de la tarjeta de adquisición de datos es configurado de tal manera que se obtienen 2500 datos de voltaje por cada segundo, esto debido a que el pistón trabaja a grandes velocidades dentro del cilindro y es preciso obtener varios valores que demuestren el comportamiento exacto de la presión en las distintas fases de funcionamiento del motor.

Previamente se realizaron 5 pruebas aleatorias estacionarias que consisten en revolucionar el motor del vehículo, es decir, acelerarlo mientras está estacionado con el objeto de analizar el comportamiento de la presión generada en el cilindro durante las fases de trabajo del mismo. Se observó que las presiones captadas variaban de manera insignificante a pesar de las revoluciones de giro variables a las que se sometió al motor; en consecuencia, estas pruebas se descartaron ya que resultan deficientes para el cálculo del torque y potencia. Ante esto, fue preciso aplicar carga física al vehículo, generando un esfuerzo al motor que incrementen las presiones de trabajo, procediendo así a utilizar el banco dinamométrico, es decir, realizar las pruebas dinámicas.

#### 3.3.1 Pruebas dinámicas

Se realizan 17 pruebas que corresponden a velocidades de circulación promedio para cada vehículo en el dinamómetro, obteniendo 2500 voltajes por cada una de ellas. En la Tabla 3 se detallan las velocidades del vehículo para las pruebas efectuadas. Se ejecuta cada prueba siguiendo un protocolo amparado en las normas NTE INEN 960, SAE J1349, ISO 1585:1992 e IS 14599:1999, donde se establece el método

general de ensayo para la evaluación del rendimiento de vehículos automotores, con el propósito de determinar los valores de torque y potencia a carga completa como funciones de la velocidad de la máquina.

**Tabla 3.** Velocidades del vehículo en las distintas pruebas dinámicas.

Nro. de prueba	Velocidad del vehículo (km/h)	Nro. de prueba	Velocidad del vehículo (km/h)
1	50	10	60
2	75	11	80
3	100	12	85
4	75	13	60
5	50	14	110
6	100	15	90
7	50	16	85
8	75	17	110
9	120		

Como establecen las normas, se puede utilizar cualquier equipo que permita verificar las condiciones de rendimiento del motor, en este caso se hace uso del banco dinamométrico de rodillos, ya que ofrece control y precisión en el desarrollo de todas las pruebas. El protocolo contempla lo siguiente:

- Uso de igual combustible. Para el presente caso, gasolina súper (92 octanos).
- Idéntica altura relativa. En este caso, 2500 msnm (Cuenca, ciudad donde se efectuó la investigación), por lo tanto presión barométrica igual a 0,77 bar.
- Similar temperatura del aire de admisión al motor monitoreada por la IAT (sensor de temperatura del aire de admisión) = 23°C ±1°C.
- No se ejecuta la prueba cuando el ventilador está funcionando (aplica a vehículos cuyo ventilador no funciona constantemente).
- Temperatura idónea del refrigerante, en un rango de 87 a 93°C.
- Temperatura similar de la banda de rodadura entre 30 y 35°C, medida por un pirómetro. Además, un buen estado de la banda de rodadura.
- No se deben tomar datos a menos que la velocidad haya sido mantenida constante por lo menos durante un minuto y en cuarta marcha, ya que representa la relación de transmisión directa. Además, el pedal del acelerador es pisado a fondo.
- La velocidad del motor durante una prueba o lectura no debe desviarse de la velocidad seleccionada en más de ± 1% o en ± 10 rpm.
- Los 2500 datos de voltaje que se obtienen en un segundo en cada prueba mediante la DAQ son exportados a Excel para su posterior análisis.

El ciclo gráfico para llevar a cabo las pruebas dinámicas. El ciclo gráfico para llevar a cabo las pruebas dinámicas puede ser planteado, por ejemplo, con una de las pruebas realizadas como se muestra en la Figura 4. En él se observa que la velocidad del vehículo asciende paulatinamente hasta llegar en cuarta marcha a 75 km/h con el pedal del acelerador pisado a fondo, esto en un lapso de 10 segundos. Se mantiene esta velocidad constante durante un minuto y al final de aquel periodo se procede a tomar los datos con la DAQ. Posteriormente, se desciende la velocidad del vehículo gradualmente, para esto se emplea otros 10 segundos, finalizando la prueba.

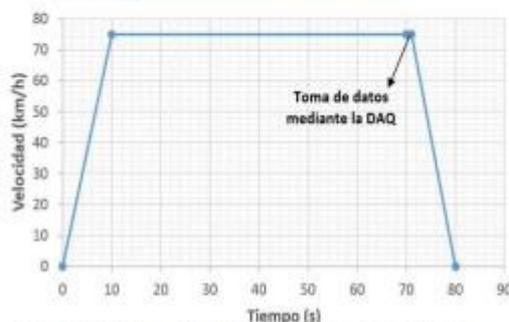


Figura 4. Ciclo de prueba dinámica: velocidad en función del tiempo.

Además de obtener los voltajes medidos por el sensor de presión durante las diversas pruebas, también se recopila los valores de potencia, rpm y fuerza de arrastre en las distintas velocidades constantes del vehículo que brinda el banco dinamométrico. Estas variables son sometidas a un análisis estadístico posteriormente para comprobar su incidencia en los resultados.

### 3.4 Procesamiento de señales

Para obtener la presión (magnitud física) medida por el sensor piezoeléctrico en el interior del cilindro, es necesaria la creación de una función en la cual la presión dependa del voltaje (magnitud eléctrica). Para esto, en primera instancia se colocó el sensor en un banco de inyección de Riel Común (CRDi), el cual presenta la capacidad de variar y fijar de manera constante la presión en el riel de combustible, por lo que se puede tomar varias muestras de la presión con el respectivo voltaje que brinda el sensor. Además, posteriormente se acopló el sensor junto con un manómetro en un cilindro del motor con el objeto de tomar muestras de presiones bajas con sus respectivos voltajes.

Para crear una función que rijá debidamente el comportamiento del sensor en todas las condiciones, se obtuvieron nuevos puntos de presión y voltaje al efectuar interpolaciones lineales, partiendo del conocimiento del conjunto discreto de datos proporcionados por el manómetro y el banco CRDi.

Las muestras se ingresan en forma de vectores y se las grafica mediante el MATLAB, obteniendo un polinomio de grado 2 que se muestra en la Ecuación (5), el mismo rige la presión del sensor en función de su voltaje. Con esta información se diseña en el software Labview el algoritmo matemático para el procesamiento de señales.

$$P_R = 1,682x^2 + 35,45x - 15,46 \quad (5)$$

Para desarrollar el modelo matemático se han utilizado los datos de voltaje y posteriormente conversión a presión, ambas magnitudes en bruto proporcionadas por el sensor; es decir, no se ha implementado ningún tipo de filtro, puesto que es necesario considerar el comportamiento exacto y real de la señal monitoreada en el tiempo bajo las distintas condiciones de funcionamiento del motor con el objetivo de incluir y no descartar valores de voltaje que pueden ocasionar la imprecisión del modelo desarrollado. La presión del interior del cilindro, sin filtro, se observa en la Figura 5.

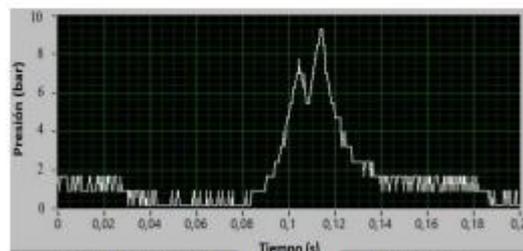


Figura 5. Presión sin filtro obtenida en el software Labview.

### 3.5 Desarrollo del algoritmo para el cálculo del torque y potencia

En éste apartado se procede a realizar en el software Minitab un análisis estadístico de las variables físicas que se extraen de las pruebas dinámicas de los tres vehículos citados, considerando que de los 2500 voltajes proporcionados por prueba realizada, se divide aún más el conjunto de muestras a 500 voltajes para cada análisis; es decir, en lugar de tener 17 pruebas con 2500 voltajes para cada una, se analiza 85 pruebas con 500 voltajes. Esto con el fin de generar un algoritmo matemático más preciso en base a un análisis estadístico con un mayor número de muestras.

#### 3.5.1 Cálculo del torque

Se procede a analizar la velocidad del vehículo, proporcionada por el banco dinamométrico, además, la potencia de la señal (equivalente a la P.M.E) que es calculada con la Ecuación (4) en el software Matlab y el cilindraje en litros del motor. Cabe destacar que también se analizó la fuerza tractora del neumático, sin embargo no mostró una influencia coherente con el torque. Se realiza una regresión múltiple con las tres variables citadas que afirma la influencia directa de las mismas con el torque como se muestra en los resultados de la Figura 6. De éste análisis se desprende la Ecuación (6) que rige el torque de vehículos comprendidos en una cilindrada de 1.4 a 2.4 litros.

$$T = -45,44 + 1,151x_2 - 0,796x_3 + 60,83x_4 - 0,006785(x_2)_2 + 0,01139(x_3)_2 + 0,1318(x_2) * (x_4) \quad (6)$$

- $x_2$  : Potencia de la señal
- $x_3$  : Velocidad del vehículo (km/h)
- $x_4$  : Cilindraje del vehículo (L)

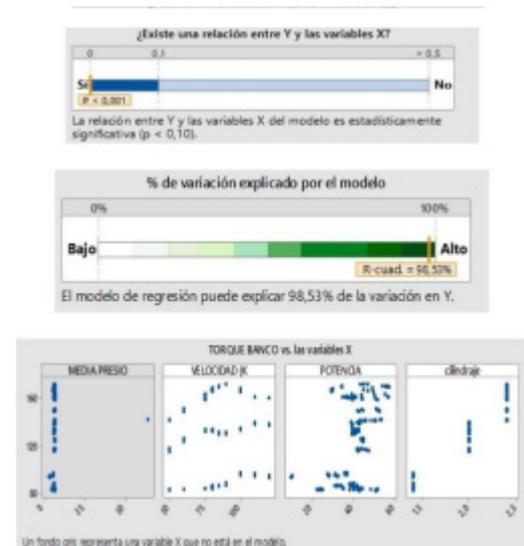


Figura 6. Resultados regresión múltiple para el torque de vehículos de 1,4 a 2,4 litros.

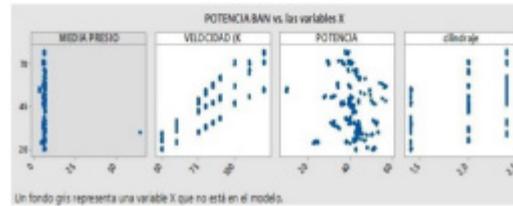
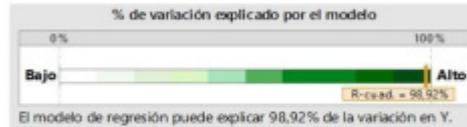
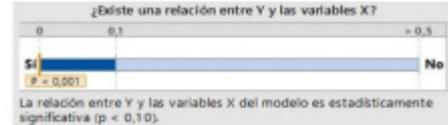


Figura 7. Resultados regresión múltiple para la potencia de vehículos de 1,4 a 2,4 litros.

#### 3.5.2 Cálculo de la potencia

De similar manera que en el cálculo del torque, los resultados de la regresión múltiple que se muestran en la Figura 7 manifiestan la relación directa de la potencia del motor con las variables potencia de la señal, velocidad del vehículo y cilindraje. Del análisis estadístico se obtiene la Ecuación (7) que rige la potencia de vehículos comprendidos en un rango de cilindrada de 1.4 a 2.4 litros.

$$P = -20,03 + 0,2120x_2 - 0,714x_3 + 27,75x_4 + 0,01422(x_3)_2 + 0,00587(x_3)_3 + 0,0976(x_2) * (x_4) - 0,4510(x_3) * (x_4) \quad (7)$$

- $x_2$  : Potencia de la señal
- $x_3$  : Velocidad del vehículo (km/h)
- $x_4$  : Cilindraje del vehículo (L)

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para hacer uso de las Ecuaciones (6) y (7) es necesario que el usuario calcule la potencia de la señal en base al protocolo descrito anteriormente, con la diferencia que al ser una prueba de carretera se debe mantener constante la velocidad del vehículo durante 5 segundos, según la norma SAE J1349, antes de capturar los datos de voltaje que brinda el sensor. Además, son indiferentes las condiciones ambientales donde se efectúe la prueba, las condiciones de carga del vehículo y el correcto estado del mismo, ya que los resultados de par motor y potencia dependen netamente de la potencia de la señal, es decir, de la presión que acaece dentro del cilindro del motor. Por otro lado, las Figuras 8 y 9 muestran, respectivamente, el comportamiento del torque y potencia de vehículos según el tipo de cilindraje indicado a 2500 msnm (Cuenca); los diagramas a otras alturas sobre el nivel del mar se muestran en el documento de la tesis.

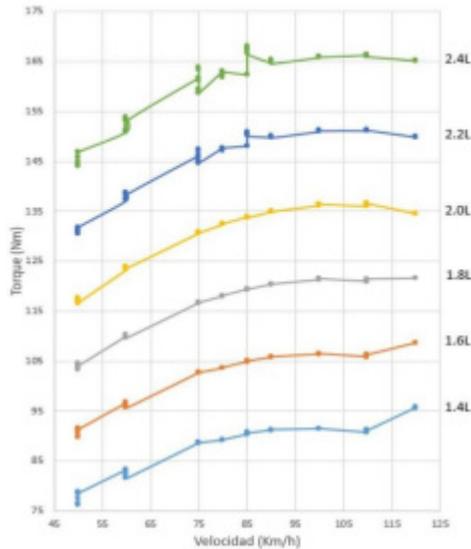


Figura 8. Gráfica del torque con carga máxima a diferentes cilindradas: 2500 msnm.

Para hacer uso de las Figuras 8 y 9, el motor debe estar en condiciones idóneas de funcionamiento, sin presentar ningún problema mecánico, eléctrico o electrónico. Además, ya no es necesario calcular la potencia de la señal, bastará con conocer la velocidad de circulación promedio y cilindrada del vehículo para obtener el par motor y potencia a la altura descrita. En todas las pruebas que se realicen el motor debe estar siempre sometido a plena carga y es preciso seguir el protocolo que se mencionó anteriormente. Se debe mantener constante la carga y velocidad del vehículo durante 5 segundos (realizar prueba en pendiente para obtener la carga máxima).

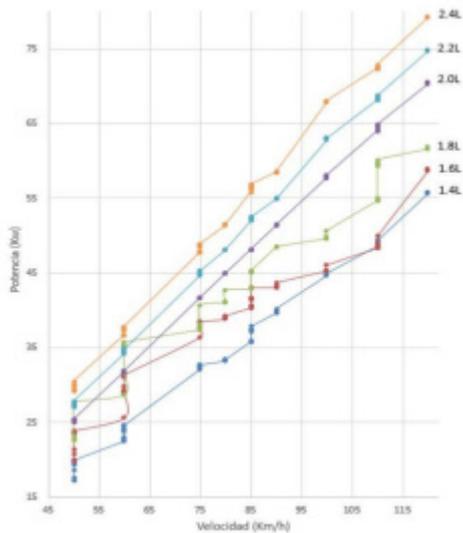


Figura 9. Gráfica de la potencia con carga máxima a diferentes cilindradas: 2500 msnm.

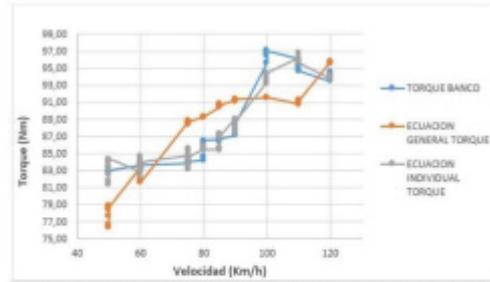


Figura 10. Gráficas de par motor en función de la velocidad del vehículo.

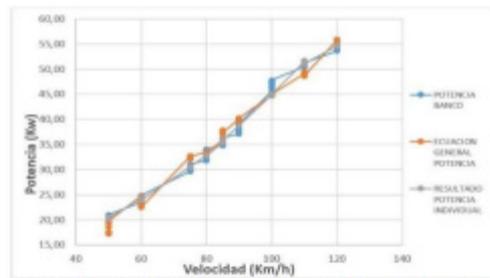


Figura 11. Gráficas de potencia en función de la velocidad del vehículo.

#### 4.1 Análisis del par motor y potencia respecto al banco dinamométrico

En el presente análisis se puede atestiguar las similitudes en comparación del diagrama del torque y potencia de la ecuación individual calculada para el Chevrolet Aveo, el diagrama obtenido por el banco dinamométrico para mencionado vehículo y el diagrama de la ecuación general que cubre el rango de cilindrada de 1,4 a 2,4 L. De las Figuras 10 y 11 se concluye que para la ecuación individual se obtienen factores de error con una media del 2,25% respecto a los resultados del banco dinamométrico; además, alcanza un error máximo de 4,5% en bajos regímenes y 0,005% en altos regímenes de funcionamiento. En lo que respecta a la ecuación general, se obtiene factores de error con una media del 8,5 % respecto a los resultados del banco dinamométrico, alcanzando un error máximo de 17% en bajos regímenes y 0,005% en altos regímenes de funcionamiento. Todo esto aplica tanto para el torque como la potencia. Según los resultados se concluye que mientras se realicen las pruebas a un mayor régimen de funcionamiento del motor, mayor será la precisión del modelo propuesto.

#### 4.2 Pruebas en carretera a distintas condiciones de manejo

Este apartado presenta los resultados de diversas pruebas realizadas en vía de asfalto y hormigón a diferentes pendientes y velocidades. Todas las pruebas se efectúan en cuarta marcha debido a que representa la relación de transmisión directa y en vía seca por seguridad. La prueba consiste en extraer durante 1 segundo los 2500 voltajes mediante la DAQ, los mismos que posteriormente son transformados a presión para el cálculo de la potencia de la señal y poder utilizar de esta manera las Ecuaciones (6) y (7) propuestas.

**Tabla 4.** Resumen de resultados de las pruebas en carretera.

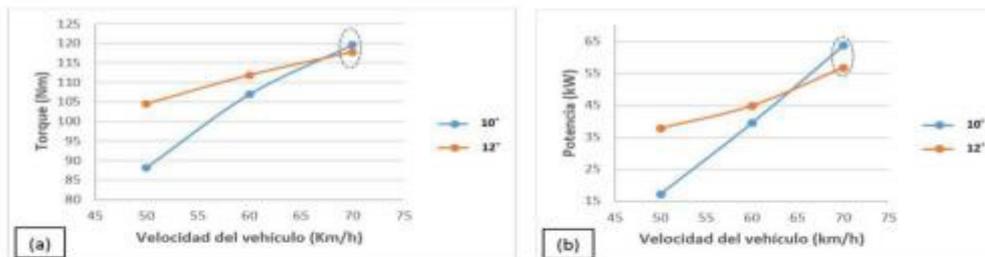
Vía	Pendiente	Velocidad del vehículo (km/h)	Torque (N.m)	Potencia (kW)
Asfalto	10°	50	88,15	17,2
Asfalto	10°	60	106,93	39,37
Asfalto	10°	70	119,58	63,62
Asfalto	12°	50	104,54	37,77
Asfalto	12°	60	111,90	44,79
Asfalto	12°	70	117,77	56,65
Hormigón	10°	50	90,17	19,77
Hormigón	10°	60	109,70	44,73
Hormigón	10°	70	121,80	65,22
Hormigón	13°	50	99,69	30,16
Hormigón	13°	60	112,10	46,81
Hormigón	13°	70	115,60	53,75

El vehículo utilizado es un Mazda Allegro 1.6 L., y en cada prueba es sometido a plena carga para obtener una mejor apreciación de los resultados. La tabla 4 muestra una síntesis de los resultados de las pruebas realizadas en carretera. En la vía con asfalto como en la de hormigón, se puede observar que se obtiene un mayor torque y potencia con el incremento de la velocidad, tanto a una pendiente de 10° como a 12° y 13°. Por consiguiente, se confirma la influencia directamente proporcional que tiene la velocidad del vehículo con estos dos parámetros del motor. Al analizar las pruebas en vía de asfalto, ambas a una velocidad de 70 km/h, el par motor como la potencia disminuyen al aumentar la pendiente de 10° a 12° como se observa en la Figura 12. Esto es debido a que la pendiente aumenta la resistencia a la traslación que el vehículo tiene que vencer, ocasionando que la velocidad y el número de revoluciones disminuyan en un menor lapso de tiempo y, a su vez, decrezca el rendimiento del motor. Es decir, para el caso puntual, el vehículo ya no está trabajando en su régimen útil de revoluciones, ya ha llegado a su máximo régimen de funcionamiento y ha comenzado a decaer.

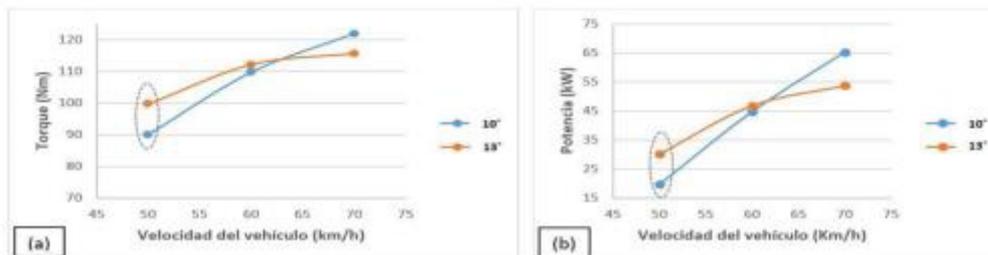
Un diferente resultado se puede apreciar en las pruebas en vía de hormigón, ambas a una velocidad de 50 km/h; en este caso el par motor y la potencia se incrementan al pasar de una pendiente de 10° a 13° como se muestra en la Figura 13. Esto se debe a que el vehículo aún está trabajando en su régimen útil de revoluciones, es decir, aún no ha llegado a su máximo régimen de funcionamiento antes de decaer.

A un régimen de revoluciones bajas la potencia del motor también es relativamente baja, esto justifica los valores pequeños obtenidos de éste parámetro para las pruebas realizadas a 50 km/h, que por supuesto se compensa por ser efectuada en pendiente; además, en el resto de pruebas mejora ya que se aplican mayores velocidades al vehículo como se puede observar en la Tabla 4.

En lo que concierne al tipo de pavimento, el coeficiente de rozamiento o fricción juega un papel preponderante, puesto que las interacciones entre las dos superficies en contacto están ligadas por la naturaleza de las partículas microscópicas.



**Figura 12.** (a) Disminución del torque a 70 km/h en vía de asfalto, (b) Disminución de la potencia a 70 km/h en vía de asfalto.



**Figura 13.** (a) Aumento del torque a 50 km/h en vía de hormigón, (b) Aumento de la potencia a 50 km/h en vía de hormigón.

**Tabla 5. Coeficientes de rozamiento dinámico (Fullerton, 2011).**

Denominación	Valor aproximado
Neumático sobre asfalto seco	0,67
Neumático sobre asfalto mojado	0,53
Neumático sobre concreto seco	0,68
Neumático sobre concreto mojado	0,58

Además, éste coeficiente depende de muchos factores como la temperatura, el acabado de las superficies, la velocidad relativa entre las superficies, etc. Como se observa en la Tabla 5, se tiene un mayor coeficiente de rozamiento dinámico del neumático sobre el concreto seco respecto al asfalto seco, cuya diferencia es mínima. Sin embargo, esto influye para tener una mayor adherencia con la superficie. Por consiguiente, al tener mayor adherencia, que se traduce en tener más agarre del neumático con la calzada, se obtiene un mayor par motor y potencia de las pruebas en hormigón con respecto a las de asfalto o alquitrán, ambas a una pendiente de  $10^\circ$ , como se aprecia en la Tabla 4.

## 5. CONCLUSIONES

Mediante la presente investigación fue posible la determinación del par motor y potencia de una manera alternativa, aplicada a los vehículos de 1,4 a 2,4 litros de cilindraje. El cálculo del par motor y potencia propuesto se rige por variables tales como la velocidad del vehículo, el cilindraje y la potencia de la señal, estando implícita dentro de ésta última la presión del interior del cilindro medida por el sensor.

Los resultados experimentales del modelo matemático planteado para el torque y potencia no exhiben una diferencia estadística altamente significativa respecto a los medidos por el banco dinamométrico; se obtuvo un intervalo de confianza (IC) del 92%, alcanzando un error máximo del 17% a bajos regímenes de funcionamiento y 0,005% en altos regímenes.

El modelo matemático propuesto brinda dos alternativas diferentes de medir el par motor y potencia de un vehículo de encendido provocado. La primera manera de hacerlo es utilizando las Ecuaciones (6) y (7), las cuales otorgan resultados más exactos; además, para hacer uso de éstas no es necesario que el vehículo esté en condiciones idóneas de funcionamiento y las condiciones de carga máxima no son necesarias. La segunda opción es hacer uso de los diagramas de torque y potencia propuestos. Éstos exigen que el vehículo esté funcionando correctamente sin presentar problemas mecánicos, eléctricos o electrónicos; además, es preciso que la prueba se ejecute a carga máxima. Ambas alternativas deben llevarse a cabo siguiendo el protocolo establecido.

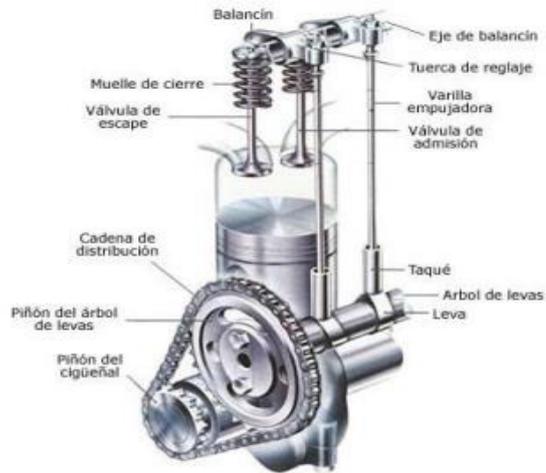
Al estar el vehículo sometido a carga, por ejemplo al transitar por una pendiente, se obtiene un mayor torque y potencia con el incremento de la velocidad, siempre y cuando el vehículo aún este trabajando en su régimen útil de revoluciones, es decir, que aún no haya llegado a su máximo régimen de funcionamiento.

## REFERENCIAS

- Dirección de Inteligencia Comercial e Inversiones. (03 de Julio de 2013). *PRO ECUADOR- Instituto de Promoción de Exportaciones e Inversiones*. Obtenido de <http://www.proecuador.gob.ec/pubs/analisis-sector-automotriz-2013/>
- Fullerton, D. (2011). Dynamics. En *Honors Physics Essentials: An Aplusphysics Guide* (pág. 73). New York: Silly Beagle Productions.
- Genta, G., Morello, L., Cavallino, F., & Filtri, L. (2014). Engine. En *The Motor Car: Past, Present and Future* (págs. 322-341). New York: Springer.
- IS 14599. (1999). *Automotive Vehicles-Performance Requirements (Measurement of Power, SFC, Opacity) of Positive and Compression Ignition Engines-Method of Test*.
- ISO 1585. (1992). *Road Vehicles-Engine Test Code-Net Power*.
- NTE INEN 960. (1984). *Vehículos Automotores. Determinación de la potencia neta del motor*.
- Oppenheim, A., Willsky, A., & Nawab, H. (1998). *Señales y Sistemas* (2nd ed.). México: Prentice Hall.
- Reif, K. (2014). Basic of the gasolina (SI) engine. En *Fundamentals of Automotive and Engine Technology*. Bosch. (págs. 60-61). Wiesbaden: Springer.
- SAE J1349. (2004). *Engine Power Test Code-Spark Ignition and Compression Ignition-Net Power Rating*.

## Anexos del Marco Teórico

pistón dentro del cilindro y en los momentos en que se produce el tiempo de admisión y escape en el motor. Algunos de los componentes de un sistema de distribución tipo válvulas a la cabeza se encuentran en la Figura 1.



*Figura 1 - Sistema de distribución (OHV, Over Head Valve)*

El sistema de distribución de un motor es de suma importancia, de él depende el correcto funcionamiento del motor respecto al rendimiento. La exacta apertura y cierre de las válvulas como el tiempo que permanecen abiertas es diferente para cada motor, al igual que el tipo de distribución.

# Determination of Torque and Power of a Gasoline Internal Combustion Engine by Using Spark with Pressure Sensor Adapted and Application of a Mathematical Model

**Abstract:** This investigation aims to determine through an alternative way the torque and power of a spark ignition engine. At first, the signals of three different vehicles, which are the best-selling cars in our country, were acquired and processed by developing several test in the dynamometer bench by using the protocol based on the INEM 960 norm, the use of the DAQ USB 6008 electronic card and the programming in the Labview Software. Subsequently, a statistical analysis is performed using the Minitab software in order to determine that the cylinder capacity, the vehicle speed and signal power are highly significant variables, which represent a direct incidence on the calculation. In the results, there were obtained two equations that govern the behavior of the torque and power for vehicles with a cylinder capacity of 1,4 to 2,4 liters. In addition, the maximum load diagrams of torque and power regarding the speed of the vehicle at different heights above sea level are presented. Finally, road test are performed at different driving conditions with the purpose of proving the veracity of the obtained results, which are also compared with the measured results in a dynamometer bench, obtaining a 92% confidence interval, which demonstrates that these ones do not exhibit a highly significant statistical difference.

**Keywords:** Statistical analysis, power, signal power, pressures sensor, torque.

## 1. INTRODUCCIÓN

A pesar del incremento paulatino del parque automotor en las carreteras del país, la sociedad técnica y los usuarios en

general no disponen de una alternativa diferente para determinar el torque y potencia de un motor. En la actualidad la manera más usual de hacerlo es mediante un banco dinamométrico, al cual no se tiene acceso fácilmente debido a su elevado precio adquisitivo y los costos que se desprenden de su servicio. En consecuencia, la investigación en este ámbito para las universidades y centros de desarrollo tecnológico se ve reducida ya que resulta económicamente inviable. Por otro lado, los talleres automotrices y afines se

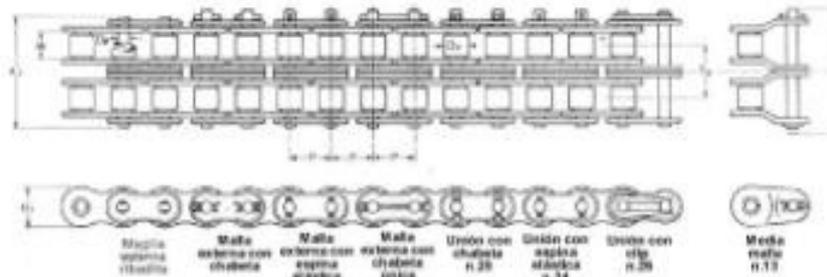
---

jairocastillo07@gmail.com  
Recibido: 26/02/2016  
Aceptado: 24/01/2017  
Publicado: 15/04/2017

## TRANSMISIONES POR CADENAS DE RODILLOS

### CADENAS DE RODILLOS DE USO MAS COMUN

CADENA DE RODILLOS DOBLE



PASO		LUZ INTERIOR		DIAM. DEL RODILLO		Paso Transversal T	Carga de Rotura	Norma
P	W	D	T	Kg.				
mm	Pulgadas	mm	Pulgadas	mm	Pulgadas	mm		
6,35 *	1/4	3,17	1/8	3,30	0,130	6,45	400	ASA 25
B	0,314	3	0,118	5	0,196	5,64	450	BS
9,53	3/8	4,76	3/16	5,08	0,200	10,16	950	ASA 35
9,53 *	3/8	5,70	7/32	6,35	1/4	10,24	910	BS
12,70 *	1/2	3,30	1/8	7,75	0,306	----	800	BS
12,70	1/2	4,90	3/16	7,75	0,306	----	850/1100	BS
12,70	1/2	5,20	0,204	8,51	0,334	----	1800	BS
12,70	1/2	6,35	1/4	7,75	0,306	----	910/1500	ASA 41
12,70	1/2	6,35	1/4	8,51	0,334	----	1800	BS
12,70	1/2	7,91	5/16	7,91	5/16	14,30	1600	ASA 40
12,70 *	1/2	7,91	5/16	8,51	0,334	13,92	1800	BS
15,80	5/8	6,35	1/4	10,16	0,400	----	2600	ASA
15,80 *	5/8	9,52	3/8	10,16	0,400	17,95	2600	ASA 50
15,80 *	5/8	9,70	3/8	10,16	0,400	16,59	2500	BS
19,05 *	3/4	12,70	1/2	11,91	0,469	22,65	3300	ASA 60
19,05 *	3/4	11,70	7/16	12,07	0,474	19,46	3100	BS
25,40 *	1	15,80	5/8	15,80	5/8	29,46	6500	ASA 80
25,40 *	1	17	0,669	15,80	5/8	31,83	6500	BS
31,75 *	1 1/4	19,05	3/4	19,05	3/4	35,84	10500	ASA 100
31,75 *	1 1/4	19,60	3/4	19,05	3/4	36,45	10500	BS
38,10 *	1 1/2	25,40	1	22,22	7/8	45,62	15000	ASA 120
38,10	1 1/2	25,40	1	25,40	1	48,36	16000	BS
44,45 *	1 3/4	25,40	1	25,40	1	49	20500	ASA 140
44,45	1 3/4	31	1 1/4	27,94	1,100	59,56	21000	BS
50,80 *	2	31,75	1 1/4	28,57	1 1/8	58,44	26000	ASA 160
50,80	2	31	1 1/4	29,21	1,150	58,55	26000	BS
63,50 *	2 1/2	38,10	1 1/2	39,67	1,560	71,12	43000	ASA 200
63,50	2 1/2	38,10	1 1/2	39,37	1,550	72,29	42000	BS

Nota: Las cadenas de 2 o más hileras de rodillos son de idénticas medidas que las de simple hilera, siendo su carga de rotura 2 o más veces mayor según sea la cantidad de hileras.

Al proyectar instalaciones nuevas es conveniente adoptar las cadenas marcadas con el asterisco, pues son de más fácil reposición, como así también los respectivos engranajes.

ASA: Norma Americana

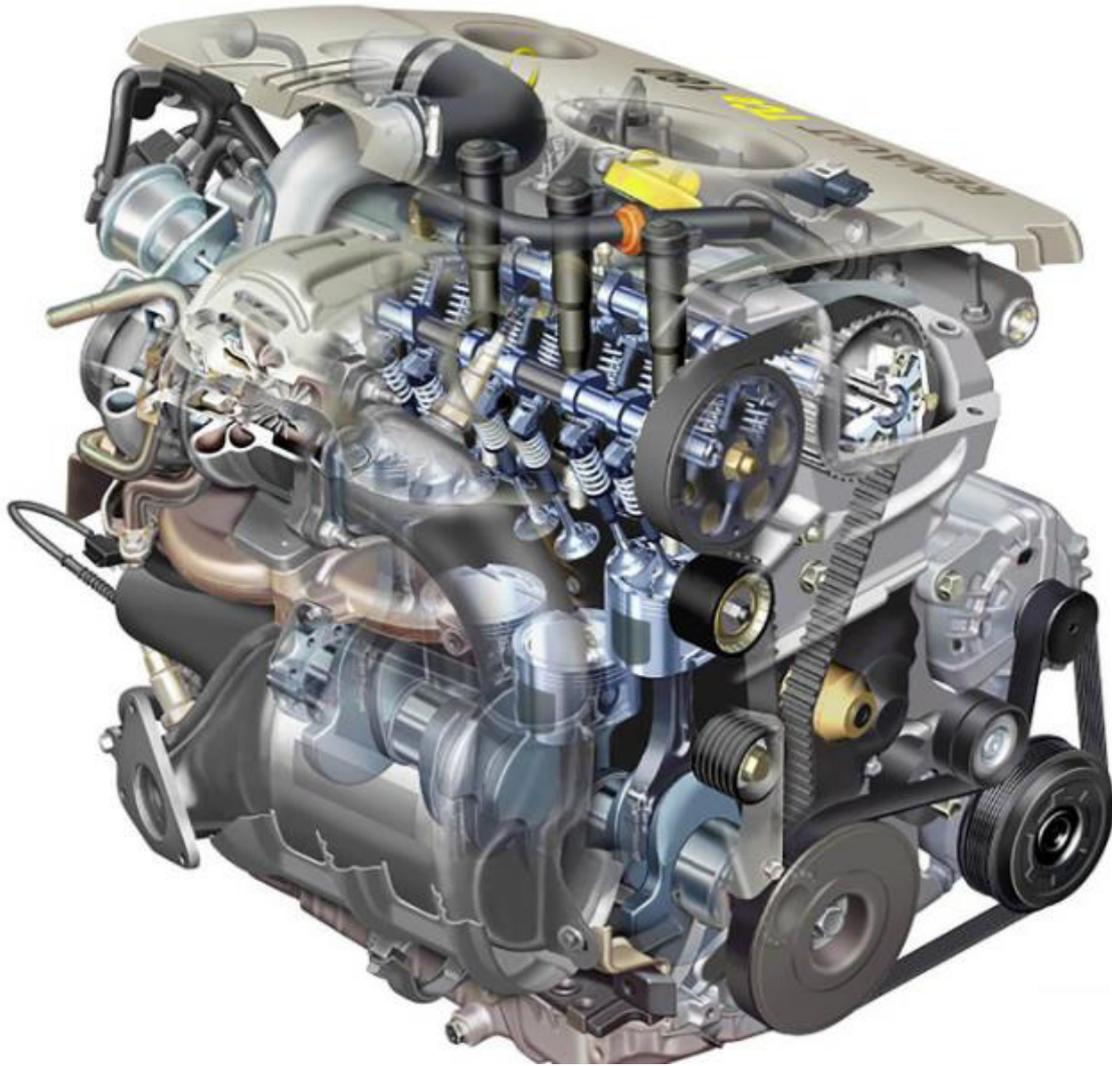
BS: Norma Británica

## Qué son la cadena de distribución y la correa de distribución

La cadena de distribución es una clásica cadena metálica de eslabones, que recuerda a la de cualquier bicicleta, pero mucho más robusta y de mayor grosor.



La correa de distribución es una tira fabricada de caucho, goma y diversos materiales sintéticos que, en su cara interior, tiene un estriado para acoplarse a las poleas que sustituyen a los piñones de los sistemas con cadena.



Cabe destacar que todos los motores, ya sean los que equipan cadena o correa de distribución, llevan al menos una correa para elementos auxiliares, como el aire acondicionado y el alternador.

### **Para qué sirven**

Inicialmente, casi todos los coches utilizaban una cadena de distribución, pero en los años 70 se fue popularizando la correa de distribución externa y sustituible. La cadena o correa, sincroniza los movimientos del cigüeñal del motor con el de los árboles de levas (o árbol de levas, si solo posee uno) para que las válvulas - accionadas por dicho árbol- se abran y se cierren sin que los pistones -unidos al cigüeñal- las golpeen.

De ahí que hablemos de correa o cadena de distribución. La distribución es el mecanismo encargado de regular la entrada y salida de fluidos (gasolina, aire, mezcla de carburante y aire) en los cilindros de un motor de combustión interna.

De este modo los fabricantes se aseguran que las válvulas de admisión y/o escape no entran en contacto con los pistones de forma brusca y no deseada. Si eso ocurriese, estaríamos hablando de un motor destruido y una factura muy dolorosa.

## **Ventajas e inconvenientes de la cadena de distribución**

Una de las principales diferencias entre correa y cadena de distribución es el desgaste continuo que sufre la correa con el paso del tiempo la correa. Se recomienda cambiarla cada cierto tiempo, entre 80.000 km y 120.000 km, según el fabricante.

La cadena, sin embargo, está diseñada para no ser cambiada nunca. Pero eso no significa que esté exenta de mantenimiento o vigilancia, especialmente de todos los elementos que la mantienen en su sitio y la hacen funcionar, como tensores y guías, que en raras ocasiones se han de reajustar o sustituir (cada 250.000 km).

Las razones por las que un fabricante escoja equipar su motor con una cadena o correa de distribución es al final por una cuestión de coste. La correa es más barata, es elástica y, mediante un circuito más complejo, además de la distribución puede hacerse cargo de los sistemas auxiliares.

La **cadena es más robusta**, más cara, pero precisa de una correa para los sistemas auxiliares. Actualmente, los motores con cadena de distribución suelen ser propulsores potentes y que encontramos en marcas premium. Pero también hay motores de pequeña cilindrada que usan una cadena de distribución.



La correa de distribución en sí no es cara, lo caro es cambiarla. Para ello es preciso desmontar todo el frontal del coche, en mayor o menor medida según el fabricante. De ahí que pueda costar desde 800 euros hasta incluso 2.000 euros.

---

Para el cliente final, si va a conservar el coche muchos años, la realidad es que con un motor con cadena de distribución se ahorrará entre 800 y 2.000 euros, según el taller y el coche, cada 100.000 km, pues no tendrá que cambiar la correa de distribución.

No es que sea un recambio caro en sí (de hecho, es muy barato), pero las horas de mano de obra que implica desmontar todo el frontal del coche para acceder a la correa hacen que sea una operación cara. Y sin embargo, es imprescindible si no queremos romper irremediabilmente el motor.

## Causas de daños en la correa de transmisión

1. Síntoma: Marcas de abrasión en la parte posterior de la correa con depósitos de material.

Causa: Error de alineación, posiblemente debido a un fallo de montaje.



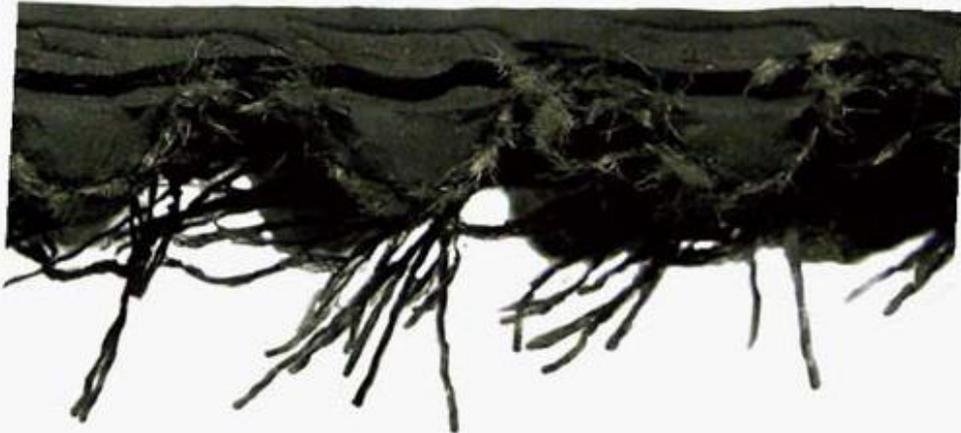
- Síntoma: Dientes cortados sueltos. Desgaste lateral de los dientes.

Causa 1: Tensión de la correa demasiado baja, debido a un fallo de montaje.

Causa 1: Tensión de la correa demasiado baja, debido a un fallo de montaje.



Causa 2: Error de alineación severo



- Síntoma: Daños en los dientes

Causa: Daños causados por la entrada de cuerpos extraños

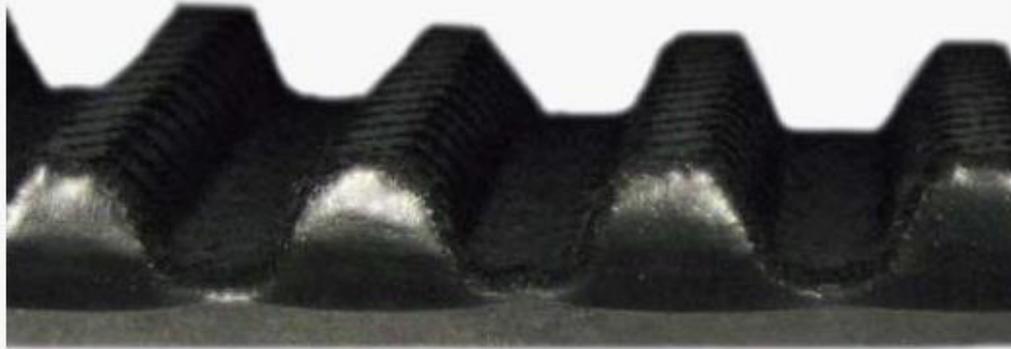
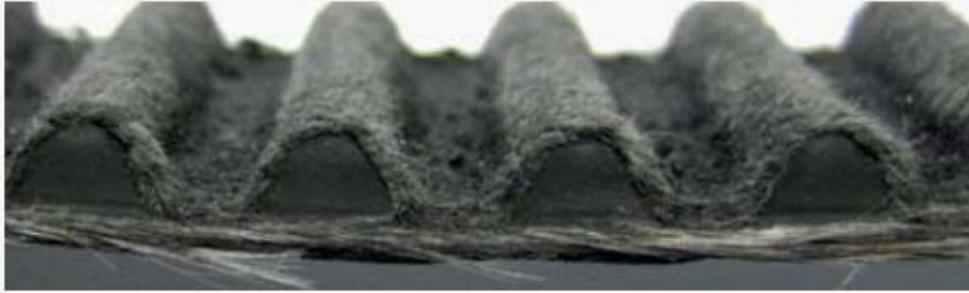


- Síntoma: Grietas en la parte posterior de la correa.

Causa: Envejecimiento de la correa o carga térmica demasiado alta.

- Síntoma: Marcas de pulido/abrasión lateral

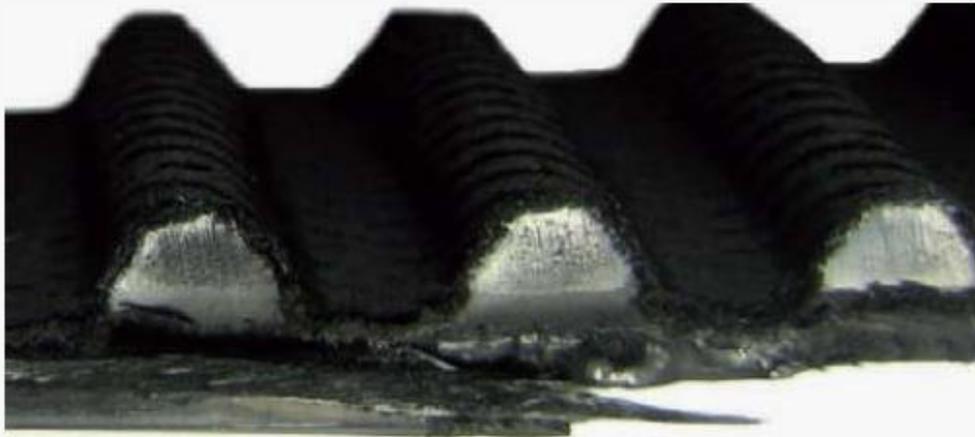
Causa: Error de alineación, posiblemente por un fallo de montaje



- Síntoma: Estriación lateral de la correa con desprendimiento de tejido

Causa: Error de alineación, posiblemente por un fallo de montaje

Causa: Error de alineación, posiblemente por un fallo de montaje



- Síntoma: Impresiones/marcas de corte en los espacios entre los dientes

Causa: Daño causado por la entrada de cuerpos extraños



Causa: Correa retorcida, daño durante la instalación

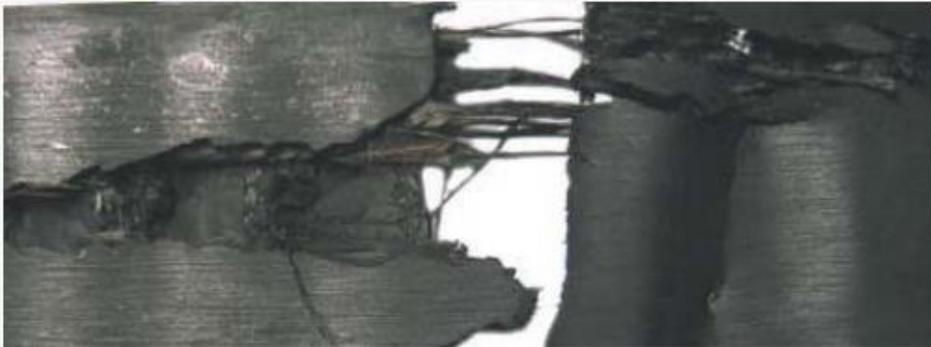


- Síntoma: Rotura irregular de la correa

Causa1: Abrasión o debilitamiento de la parte posterior de la correa

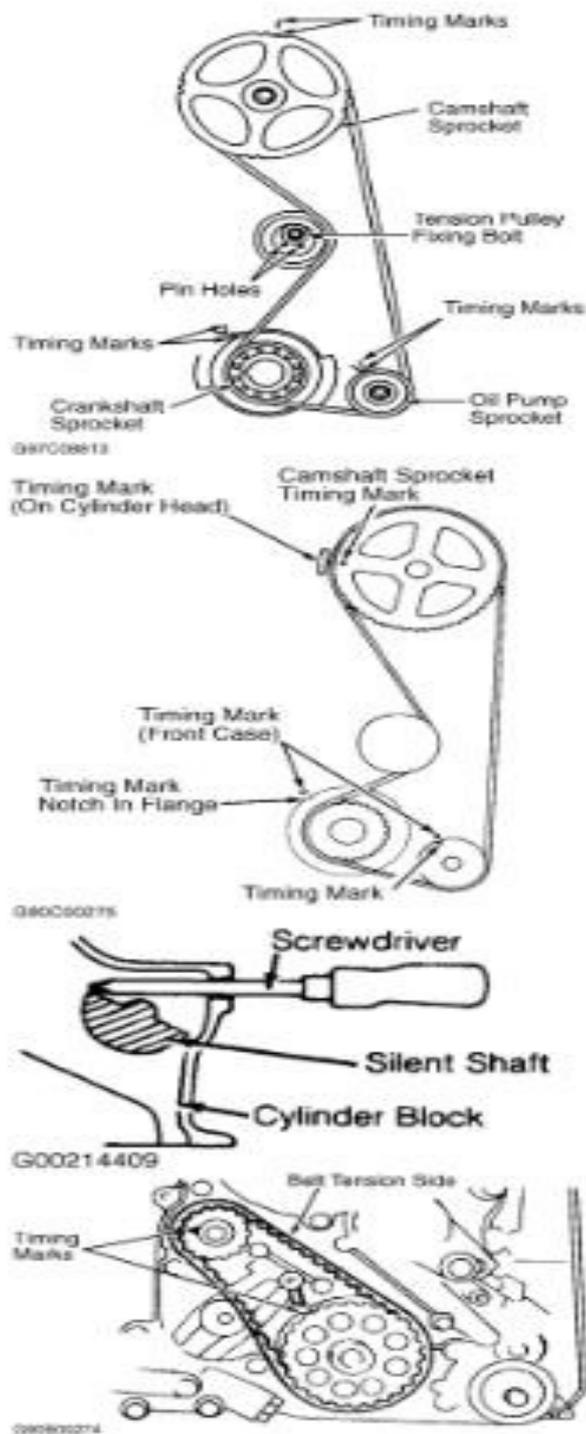


Causa 2: Bloqueo de componentes, se ha superado la resistencia a la tracción de la correa



# Mitsubishi 1.8L y 2.0L– 4 Cilindros – SOHC

Imágenes de guía para el reemplazo de la correa de tiempo de Mitsubishi 1.8L y 2.0L– 4 Cilindros – SOHC





## Transmisión por Cadena



Ing. Ph D. Oscar Javier Araque de los Rios

La transmisión por cadena está compuesta de una rueda dentada motriz, una o varias ruedas dentadas conducidas y un tramo de cadena unido por ambos extremos que engrana sobre las ruedas dentadas. La flexibilidad de la transmisión es garantizada con la cadena, la cual consta de eslabones unidos por pasadores, que permiten asegurar la necesaria flexibilidad de la cadena durante el engrane con las ruedas dentadas. En el caso más simple, la transmisión por cadena consta de una cadena y dos ruedas dentadas, denominadas ruedas de estrella, ruedas dentadas o sprockets, una de las cuales es conductora y la otra conducida.

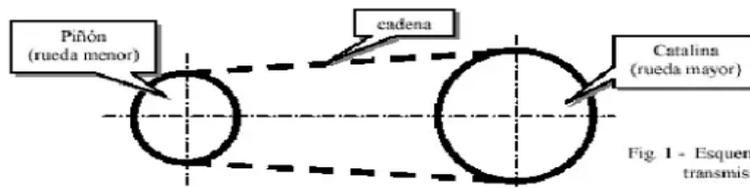


Fig. 1 - Esquema básico de una transmisión por cadenas.

Las transmisiones por cadenas tienen gran utilidad en las máquinas de transporte (bicicletas, motocicletas y automóviles), en máquinas agrícolas, transportadoras y equipos industriales en general. Algunas de las ventajas que presentan las transmisiones por cadenas al ser comparadas con otras transmisiones de enlace flexible, como las transmisiones por correas y poleas, son:

- Dimensiones exteriores son menores.
- Ausencia de deslizamiento.
- Alto rendimiento.
- Pequeña magnitud de carga sobre los árboles.
- Posibilidad de cambiar con facilidad su elemento flexible (cadena).



# LA POTENCIA DE LOS MOTORES

Ante la carencia de un procedimiento común para determinar la potencia de los motores de los tractores agrícolas, se pueden fijar unos coeficientes que permiten establecer equivalencias aproximadas, para que

En diferentes ocasiones se ha abordado, en las páginas de **agrotécnica**, el análisis de los procedimientos que se utilizan para la medida de la potencia en los motores de los tractores.

Con la implantación de una normativa de emisiones contaminantes más estricta, y dada la vinculación de las emisiones a la potencia desarrollada por el motor, estos ensayos conviene realizarlos de manera simultánea, por lo que la información comercial ofrece, preferentemente, estos resultados, indicando al mismo tiempo la norma que se ha utilizado para determinarla.



Aunque sólo aproximadamente, se pueden fijar unos coeficientes que permiten establecer equivalencias, de manera que los valores difundidos puedan relacionarse con los que ofrecían los modelos más antiguos

## La medida de la potencia

Desde que aparecen los primeros motores, se elaboran pro-

cedimientos de ensayo para valorar sus prestaciones: potencia y eficiencia en la transformación de la energía química del combustible en energía mecánica, para las diferentes condiciones de funcionamiento.

Un indicador interesante es el de la potencia 'máxima' que pueden conseguir, pero también la potencia 'nominal', que es la que, teóricamente, podrían suministrar en trabajo continuo al régimen de funcionamiento má-

ximo recomendado por el fabricante.

En los motores de diseño convencional, durante muchos años, se han hecho coincidir estos valores, pero en los últimos tiempos la potencia máxima, al menos en muchos motores de los tractores agrícolas, se obtiene a un régimen menor que el establecido como 'nominal'. Aparecen los motores de 'potencia constante', en los que se sacrifica parte de la potencia máxima, que podría conseguirse con la cilindrada disponible, para obtener una curva de potencia casi horizontal en un intervalo de revoluciones muy amplio, lo cual reduce las intervenciones en el cambio de marchas del tractor y permite obtener igual potencia en regímenes de funcionamiento diferentes.

Esto lo puede valorar el usuario, pero penaliza al fabricante en el momento de la ho-

mologación si se impone la utilización de la potencia nominal como referencia, ya en no pueden considerarse iguales dos motores de 100 CV, en los que uno de ellos los 100 CV se mantienen entre 1 800 y 2 200 rev/min y el otro sólo da esta potencia a 2 200 rev/min.

En consecuencia, un motor moderno sólo puede entenderse sobre la base de sus curvas características, que ponen de manifiesto la evolución de la potencia con el régimen de funcionamiento, y otro aspecto muy importante, la variación del consumo de combustible en cada punto de funcionamiento del motor.

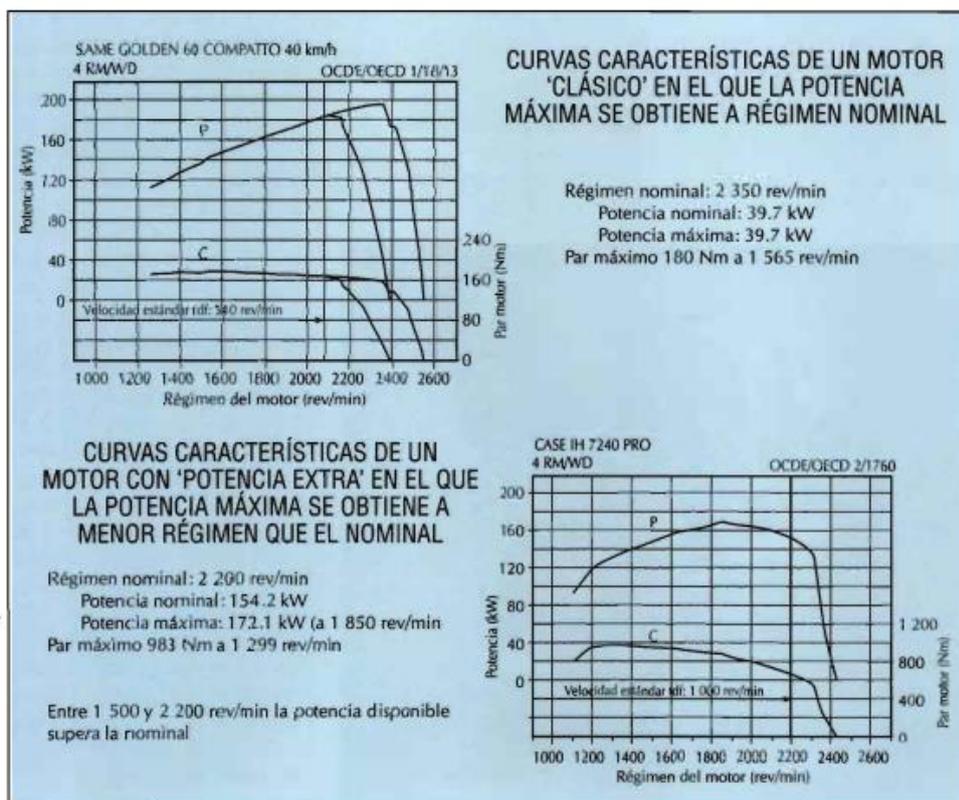
El consumo específico, normalmente expresado en g/kWh, o g/CVh, indica claramente la eficiencia de un motor, o sea, el trabajo que puede realizar (kWh o CVh) por cada gramo de combustible consumido.

## Normas de ensayo de la potencia de los motores

Ha sido tradicional, en las diferentes asociaciones encargadas de la elaboración de normas técnicas, preparar normas específicas para el ensayo de los motores, adaptadas a sus condiciones de funcionamiento.

Esto tenía sentido, ya que en algunas máquinas el motor funciona de manera continua, hasta 24 horas sin detenerse, mientras que en otras la potencia máxima sólo se necesita en periodos muy cortos que pueden ser inferiores a un minuto.

De aquí la gran variedad de procedimientos de ensayo disponibles en cada una de las Asociaciones de Normalización: SAE, DIN, BS, CUNA, ... La Organización Internacional de Normalización ISO, ha intentado elaborar normas técnicas de compro-



miso, de manera que se facilitaran los intercambios a escala internacional.

Pero, además, hay otro organismo internacional que también interviene en esto: para unificar las condiciones de circulación vial en Europa, hace años que se creó, dependiente de las Naciones Unidas y con sede en Ginebra, el organismo conocido con las siglas ECE, que establece los 'Reglamentos' aplicables en los países, elaborados con representación gubernamental de los países integrados en esta organización. Dado que los motores forman parte de los vehículos 'de motor' que circulan por las vías públicas, el Reglamento correspondiente está presente, y es conocido como ECE R24.

A diferencia de las normas técnicas nacionales e internacionales, que no son de obligatorio cumplimiento, a no ser que una legislación específica las incorpore a un texto legal, los 'Reglamentos de Ginebra' sí son obligatorios en los países que los adoptan, publicándose en su Boletín Oficial.

Por si con este abanico de opciones no hubiera suficiente, también la Unión Europea tiene que intervenir. Parece ser que la

racionalidad se impone y las soluciones que se siguen, al menos en lo que se refiere a los tractores agrícolas, son los de aceptar los Reglamentos de Ginebra, como anteriormente lo hacían los Países Miembros, o las normas ISO apropiadas, salvo en el caso de que se requiriera una norma especial que se en-

## **LA POTENCIA 'NETA' O 'REAL' ES LA QUE SE OBTIENE CUANDO EL MOTOR MANTIENE TODOS SUS ELEMENTOS**

carga al Comité Europeo de Normalización, aunque también aparecen Directivas que incorporan requisitos técnicos similares a los de las Normas y Reglamentos.

### **■ Un poco de claridad**

Cuando la medida de la potencia de un motor se realiza si-

guiendo una determinada norma, deben de incorporarse a la cifra de potencia obtenida las siglas de la norma utilizada. Así se expresa 90 CV DIN, o SAE. Lo más correcto sería incluir la referencia completa de la norma utilizada, ya que la misma organización de normalización suele tener varias normas aplicables a situaciones diferentes, pero esto a veces se oculta porque conviene.

Las mayores diferencias entre los procedimientos utilizados se derivan de que, en determinadas normas, la medida se realiza después de retirar del motor elementos que consumen potencia durante el funcionamiento, como filtro de aire, silenciador de escape, ventilador y alternador. De esta manera se obtiene una potencia definida como 'bruta'. Tiene cierto sentido esta forma de actuar, ya que los motores se equipan con elementos diferentes según las condiciones de funcionamiento esperadas.

Por el contrario, otros procedimientos de ensayo exigen que se mantengan en su lugar los elementos que el motor necesita en condiciones de trabajo, obteniéndose de esta manera la potencia 'neta' o 'real', también designada a veces como efectiva. En el límite, el Código OCDE para ensayo de tractores todavía va a más, ya que el ensayo del motor se realiza en la toma de fuerza, por lo que las condiciones de funcionamiento están penalizadas por el sistema hidráulico y los componentes de la transmisión, con lo que la potencia obtenida será siempre algo menor.

Indiscutiblemente esto genera confusión entre los usuarios y dificulta la realización de comparaciones, por lo que conviene analizar las diferencias existentes entre los distintos procedimientos, para clarificar el mercado.

Resumiendo de una manera esquemática lo que cada norma de ensayo ofrece, tenemos:



• **SAE J1995**

Es una norma de ensayo en la que la potencia se mide en el motor prácticamente sin accesorios, ya que faltan filtro del aire, silenciador de escape, alternador y ventilador, por lo que el valor de potencia obtenido es más alto del que se puede obtener con el motor puesto en el vehículo; hay que definir la potencia obtenida como 'bruta'.

• **ISO 14396**

Es un documento de nueva elaboración, que sustituye a la ISO 2288 (anulada), que permitía la medida de la potencia neta de los motores para los agrícolas.

Hay que destacar que ha sido un documento elaborado para evaluar las emisiones contaminantes de los motores, e inicialmente publicado como Informe Técnico (TR), que ya ha sido aprobado como norma ISO. Ha sido admitida en la homologación

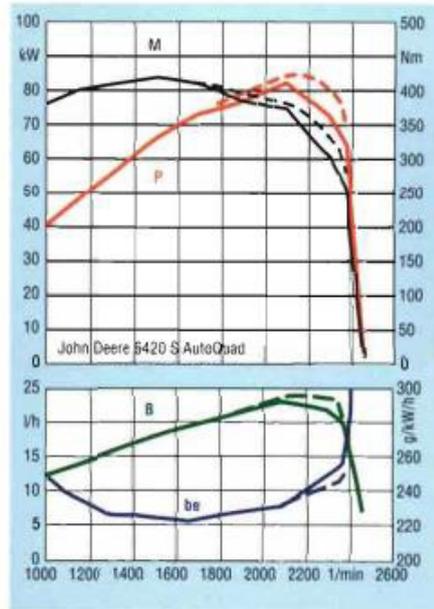
potencia 'bruta', aunque con esta norma lo que se obtiene es potencia 'neta'.

• **ECE R24**

Este Reglamento de Ginebra, adoptado por la mayoría de los países de la Unión Europea, entre ellos España, está dirigido a controlar las emisiones de humos en el escape de los tractores agrícolas, para lo que se necesita determinar conjuntamente la potencia disponible en el motor en las condiciones de regulación fijadas por el fabricante. Las condiciones de referencia

**LA POTENCIA SEGÚN ISO 14396 HA SIDO ADMITIDA COMO REFERENCIA PARA LA HOMOLOGACIÓN DE**

**CURVAS CARACTERÍSTICAS DE UN MOTOR CON POTENCIA DUAL**



0.99 bar de presión atmosférica establecida en la ECE R24, hace

ción de tipo CE, por lo que se utiliza en las referencias de características ofrecidas por los fabricantes de tractores, ya que es uno de los procedimientos que se establece para controlar las emisiones gaseosas de los motores de vehículos extraviarios.

Al motor se le retiran, durante los ensayos, tanto el radiador como el ventilador, por lo que permite ofrecer una potencia más elevada; asimismo se utiliza una presión atmosférica de referencia de 0.99 bar. Los valores obtenidos hay que designarlos como potencia 'bruta'.

#### • SAE J1349

Esta norma americana es prácticamente equivalente a la ECE R24, ya que incluye todos los elementos necesarios en el motor, como el ventilador y el radiador, ofreciendo por tanto un valor de potencia 'neta'.

Se puede decir que es poco utilizada en el ámbito europeo, ya que, por costumbre, se interpreta que cualquier referencia a 'potencia SAE' tendría que ser

## HOMOLOGACIÓN DE TIPO CE

relativas a la presión atmosférica se establecen en 0.99 bar. Este reglamento se puede considerar equivalente a la Directiva 77/537/CEE.

A medida que se desean controlar también otros gases de escape, este reglamento pierde interés, pero el procedimiento de medida de la potencia es totalmente válido y permite obtener la potencia neta, tradicionalmente indicada como 'potencia DIN'.

#### • DIN 70020

Ha sido el procedimiento tradicionalmente utilizado por los motores para definir la potencia neta en utilización continua. A partir de ella fue elaborada la norma ISO 2288, ya anulada.

La diferencia más significativa con respecto al Reglamento ECE R24 es que el ventilador debe de estar conectado y en funcionamiento, lo que, unido a los

que la potencia obtenida con la norma DIN sea algo menor.

#### • 80/1269/CEE

Es una Directiva Comunitaria especialmente elaborada para reducir las emisiones contaminantes de los motores de vehículos en general, equivalente a la norma DIN 70020 en todo lo que se relaciona con la medida de la potencia del motor. Los valores de potencia que se obtienen con su aplicación son algo menores (aproximadamente el 1%) de los que resultan de aplicar la norma DIN 70020. Las condiciones de referencia para la presión atmosférica en esta Directiva son de 0.99 bares.

#### • 2000/25/CE

Esta Directiva Comunitaria establece las medidas que deben de adoptarse contra las emisiones de gases y partículas contaminantes producidas por los motores que se utilizan en los tractores agrícolas y forestales, modificando la Directiva marco para la homologación de tractores agrícolas en lo

**TABLA 1.-**  
**COMPARACIÓN DE LAS POTENCIAS OBTENIDAS AL APLICAR**  
**DIFERENTES NORMAS DE ENSAYO AL MISMO MOTOR, TOMADO COMO**  
**REFERENCIA LA CORRESPONDIENTE AL ENSAYO SEGÚN DIN 70020.**

Norma	Presión atmosférica (bar)	Temperatura Ambiente (°C)	Temperatura combustible (°C)	Tipo de combustibles	Potencia obtenida (*) (%)
SAE J1995	1	25	40	43 300 kJ/kg	111
ISO 14396	0.99	25	37-43	CEC RF75T96	107
SAE J1349	1	25	40	43 300 kJ/kg	104
ECE R24	0.99	25	40.5	CEC RF03A84	104
DIN 70020	1	25	40	fabricante	100
80/1269/CEE	0.99	25	40.5	fabricante	99
97/68/CE	0.99	25	33 - 43	anexo IV	107
OCDE	> 0.966	16-30	fabricante	fabricante	-

(\*) Un motor que pueda suministrar una potencia de 100 CV con el ECE R24, daría en el ensayo según la Directiva 97/68/CE una potencia de unos 103 CV.

que se relaciona con la Directiva 77/537/CEE, que sólo consideraba los humos emitidos.

En esta Directiva se establecen los valores límites y sus fechas de entrada en vigor, derivando en lo relativo al procedimiento de ensayo a la Directiva 97/68/CE. Esto hace que en las referencias a la potencia medida se utilicen de manera indistinta una u otra Directiva.

La Directiva 97/68/CE ha sido

#### • OCDE

El procedimiento de medida utilizado exige que el motor esté situado en el tractor y en condiciones normales de funcionamiento, por lo que hay que contar con las pérdidas de potencia debidas al funcionamiento en vacío del sistema hidráulico, de las derivadas de las cajas de transmisión, que aparecen por el paso del movimiento hasta la toma de fuerza.

Al respecto hay que señalar que no puede haber fórmulas de corrección 'universales', ya que el comportamiento del motor no sólo depende de las condiciones ambientales de presión y de temperatura, y, en menor grado, de la humedad relativa de la atmósfera, sino que siempre hay que considerar un factor 'motor' que tiene en cuenta la relación aire/combustible para diferentes condiciones de funcionamiento. La llegada de la electrónica, que no sólo controla la inyección del combustible, sino la sobrepresión del turbo y el retorno de gases de escape a la admisión, complica la fijación de unas equivalencias de aplicación universal.

En cualquier caso, el usuario de motores de aspiración natural debe de tener en cuenta que al trabajar en zonas de elevada altitud las pérdidas de potencia son significativas (aproximadamente del 12 al 15% por cada 1 000 metros de elevación); en el caso de los motores turboalimentados son las elevadas temperatu-

modificada según la 2001/63/CE, aunque esta modificación sólo afecta a los intervalos de factores atmosféricos en los que se puede realizar la determinación de la potencia y a algunos procedimientos de medida de los gases emitidos por el escape, y puede considerarse como equivalente al Reglamento ECE R96.

Las determinaciones se realizan con restrictores de aspiración y de escape, de manera que se consigan efectos similares que los que aparecen cuando el motor se monta en el tractor, y accionando un sistema de refrigeración suficientemente potente. Los valores de potencia obtenidos pueden considerarse ligeramente menores a los de la norma ISO 14396, ya que exige la presencia de un sistema de refrigeración. En comparación con los valores obtenidos según el procedimiento de la ECE R24 el método proporciona incrementos de potencia entre el 3 y el 4%.

Esto puede hacer que las pérdidas entre motor y toma de fuerza sean grandes y varíen según el tipo de transmisión del modelo de tractor considerado entre límites muy amplios (4.5–12% de pérdidas respecto a la potencia neta disponible en el motor).

El procedimiento de medida de la potencia a la toma de fuerza establecido por la OCDE se corresponde con la norma ISO 789.

## Diferencias cuantitativas

En la tabla 1, se ofrece un resumen comparativo de lo que se derivaría de la utilización de los diferentes procedimientos de ensayo comentados, que sólo pretende ser aproximado, ya que hay otros factores que pueden afectar los resultados, como son los atmosféricos, o los derivados del tipo de combustible utilizado, que introducirían ligeras variaciones.

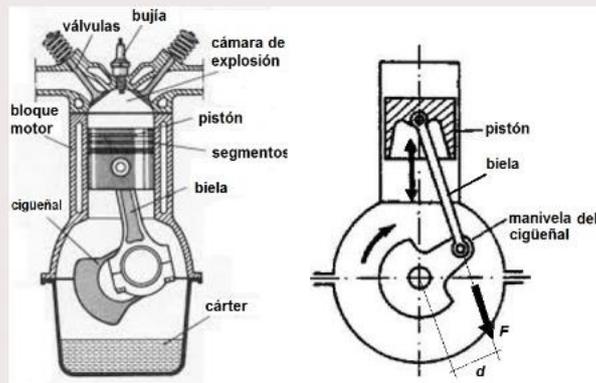
ras las que los penalizan, sobre todo los que no disponen de intercambiador de calor en la admisión.

Esperemos que estas notas puedan servir para eliminar algunas dudas, hasta que se establezca un acuerdo entre fabricantes y usuarios para determinar la potencia de los motores en los tractores agrícolas utilizando un solo procedimiento común, sin olvidar que la potencia del motor en un tractor agrícola ha dejado de ser 'crítica', ya que con el mismo motor se pueden conseguir potencias máximas en un intervalo muy amplio, sin que esto afecta de manera sensible a su vida útil. Los tractores que ofrecen motores con potencia 'dual' son un ejemplo, y las limitaciones las imponen los límites de emisiones gaseosas en el escape y la robustez de las transmisiones para soportar las tensiones que se pueden producir en las marchas cortas. ■

### 1- Par motor

#### 1.1- Generalidades

En un motor de explosión de un vehículo, la combustión de la mezcla combustible-aire genera un aumento de la presión y temperatura en el interior de los cilindros del motor. Esta presión interior produce a su vez una fuerza ( $F$ ) de empuje sobre el pistón que lo desplaza generando el clásico mecanismo de biela-manivela de los motores de combustión interna alternativos, donde el movimiento de traslación del pistón en el interior del bloque motor se transforma en un movimiento circular de giro del cigüeñal.



Pues bien, el par motor o "torque" ( $T$ ) es el producto de la fuerza aplicada ( $F$ ) de empuje a los cilindros por la distancia ( $d$ ) al eje geométrico de giro del árbol del cigüeñal.

$$T = F \cdot d$$

El par o torque motor se mide, según el Sistema [Internacional](#) de Unidades, en Newton metro ( $N \cdot m$ ), [aunque](#) también puede aparecer expresado a la inversa, metro Newton ( $m \cdot N$ ).

## 1.2- Curva de par

Intuitivamente se entiende que la fuerza ( $F$ ) que produce el par motor es una fuerza variable, que en el caso de un motor de 4T es máximo en el momento que se produce la combustión de la mezcla y su posterior expansión en el cilindro, siendo negativa, esto es, no genera par motor en las demás [fases](#) (expulsión de gases, aspiración o llenado y compresión de la mezcla).

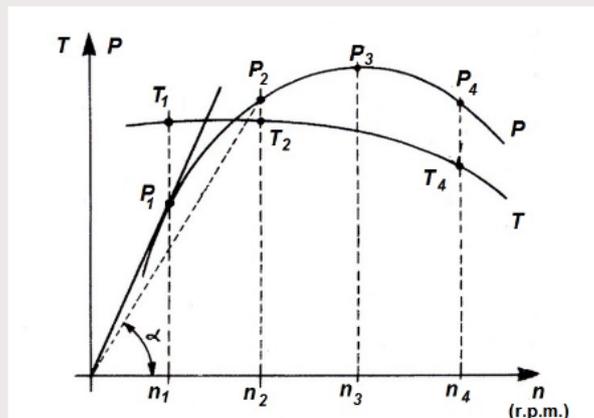
Y dentro de la fase donde se genera par motor (es decir, en la fase de combustión), el rendimiento del motor no es el mismo dependiendo del régimen de giro, y por ende el valor de la fuerza ( $F$ ) de empuje que se genera.

Así, a bajas revoluciones la combustión de la mezcla no resulta óptima debido a la escasa inercia que poseen los gases, que provoca que el llenado del cilindro no sea el óptimo, al igual que su vaciado.

Y por otro lado, si el motor funciona a un elevado régimen, tampoco el llenado de los cilindros es completo, y ello es debido al escaso tiempo que dispone el gas para ocupar todo el recinto.

En consecuencia, la curva de par ( $T$ ), que debería ser una recta horizontal, se convierte en una curva, con un tramo central casi recto que proporciona el máximo par, y las zonas extremas donde el par motor decrece según lo comentado anteriormente.

A continuación, se adjunta una gráfica con la curva par motor-potencia frente a las revoluciones de giro del motor, que puede responder a un caso general de vehículo:



Efectivamente, en la gráfica anterior se puede comprobar cómo es, de forma genérica, la curva de par motor ( $T$ ), además de la de potencia, pero ésta se estudiará más adelante. En ella se representa en el eje horizontal las revoluciones por minuto ( $r.p.m.$ ) de régimen giro ( $n$ ) del motor y en el eje vertical el par ( $T$ ) que proporciona durante todo su rango de funcionamiento.

En los motores de combustión, la curva de par empieza siendo ascendente hasta llegar a las revoluciones donde el motor rinde el par máximo ( $T_1$ ), que es el punto de diseño óptimo. A partir de ese momento, el par comienza a disminuir progresivamente.

Esto es así, porque a partir del punto óptimo de revoluciones del motor empiezan a aparecer dificultades, como ya se han comentado anteriormente algunas, y que están relacionadas fundamentalmente con los siguientes factores:

- Una inadecuada evacuación de gases quemados conforme aumenta las revoluciones del motor, según se ha visto;
- Insuficiente llenado de aire en cada ciclo;
- La combustión empieza a no ser óptima;
- La fracción de tiempo para cada combustión se reduce;
- La mezcla de aire-combustible no se acaba de completar;
- El avance a la inyección no es suficiente.

aumente, el par  
desciende. De ahí que los consumos específicos óptimos estén en valores próximos a la zona de par máximo, aumentando el consumo del motor conforme se aleja de este rango.

Una curva con una gran zona plana en el [centro](#) (como la que presentan la gran mayoría de motores diesel), define un motor muy elástico, es decir, con poca necesidad de cambiar de marchas para adaptarse a los cambios de conducción. Ello es así, porque un motor elástico, que dispone del par elevado en un amplio rango de revoluciones, permite acelerar con fuerza, incluso en marchas largas, sin tener que hacer uso del cambio de marchas. Gracias a ello, con un motor más elástico es posible circular empleando marchas más largas, revolucionando menos el motor y por tanto, mejorando el consumo.

## 2- Potencia

### 2.1- Generalidades

La potencia ( $P$ ) desarrollada por el par motor ( $T$ ) viene dada por la siguiente expresión:

$$P = T \cdot \omega$$

Siendo ( $\omega$ ) la velocidad angular de giro ( $rad/s$ ) del eje de transmisión o eje del cigüeñal.

La potencia del motor se mide, según el Sistema Internacional de Unidades, en vatios ( $W$ ).

En ocasiones es interesante conocer la potencia en función de las revoluciones por minutos ( $r.p.m.$ ) a la que gira el motor en vez de la velocidad angular. En efecto, si ( $n$ ) son las revoluciones por minuto a la que gira el motor, entonces la potencia ( $P$ ) se expresa como sigue,

$$P = T \cdot \omega = \frac{T \cdot n}{60 / 2 \cdot \pi}$$

que aproximadamente resulta,

que aproximadamente resulta,

$$P = \frac{T \cdot n}{9,55}$$

donde,

$P$ , es la potencia motor, en  $W$ ;

$T$ , es el par motor, en  $N \cdot m$ ;

$n$ , son las revoluciones por minuto de giro del motor ( $r.p.m.$ )

Pero también resulta útil conocer la potencia expresada en otras unidades de uso muy común, como son: **HP** y **CV**.

- **HP (Horse Power)**: o caballo de potencia, es la unidad de medida de la potencia empleada en el sistema anglosajón de unidades, y se define como la potencia necesaria para levantar a la velocidad de 1 pie/minuto un peso de 32572 [libras](#).

Sus equivalencias con otros sistemas son las siguientes:

- 1 HP = 745,69987 W
- 1 HP = 1,0139 CV

Por lo que la anterior expresión de la potencia ( $P$ ) en función del par y las revoluciones del motor podría expresarse de la

Por lo que la anterior expresión de la potencia ( $P$ ) en función del par y las revoluciones del motor podría expresarse de la siguiente manera:

$$P_{HP} = \frac{T \cdot n}{7120,91}$$

donde,

$P_{HP}$ , es la potencia motor, expresada en  $HP$ ;

$T$ , es el par motor, en  $N \cdot m$ ;

$n$ , son las revoluciones por minuto de giro del motor ( $r.p.m.$ )

- **CV (Caballo de Vapor):** Unidad de medida que emplea unidades del sistema internacional, y se define como la potencia necesaria para levantar un peso de 75 Kgf. en un segundo, a un metro de altura.

Y sus equivalencias con otros sistemas son las siguientes:

- 1 CV = 735,49875 W
- 1 CV = 0,9863 HP

Y la potencia ( $P$ ) en función del par y las revoluciones del motor quedaría de la siguiente manera:

$$P_{CV} = \frac{T \cdot n}{7023,50}$$

donde,

$P_{CV}$ , es la potencia motor, expresada en  $CV$ ;

$T$ , es el par motor, en  $N \cdot m$ ;

$n$ , son las revoluciones por minuto de giro del motor ( $r.p.m.$ )

Por último, y en el caso que el par motor ( $T$ ) estuviera expresado en  $kgf \cdot m$ , entonces la expresión anterior que proporciona la potencia del motor ( $P$ ) se expresaría como:

$$P_{CV} = \frac{T \cdot n}{716,2}$$

donde,

$P_{CV}$ , es la potencia motor, expresada en  $CV$ ;

$T$ , es el par motor, pero esta vez expresado en  $kgf \cdot m$ ;

$n$ , son las revoluciones por minuto de giro del motor ( $r.p.m.$ )

donde,

$P_{CV}$ , es la potencia motor, expresada en  $CV$ ;

$T$ , es el par motor, pero esta vez expresado en  $kgf \cdot m$ ;

$n$ , son las revoluciones por minuto de giro del motor ( $r.p.m.$ )

Por otro lado, la **fuerza motriz ( $F$ )** transmitida por el neumático al [suelo](#), en función de la potencia del motor ( $P$ ) y la velocidad de marcha del vehículo ( $V$ ), se puede expresar como:

$$F = \frac{75 \cdot \eta_t \cdot P}{V}$$

donde,

$P$  es la potencia motor, en  $CV$ ;

$V$  es la velocidad de marcha del vehículo, en  $m/s$ ;

$\eta_t$  es el rendimiento total de la cadena cinemática de transmisión, expresado en tanto por uno;

$F$  es la fuerza motriz transmitida por el neumático al suelo, en kgf.

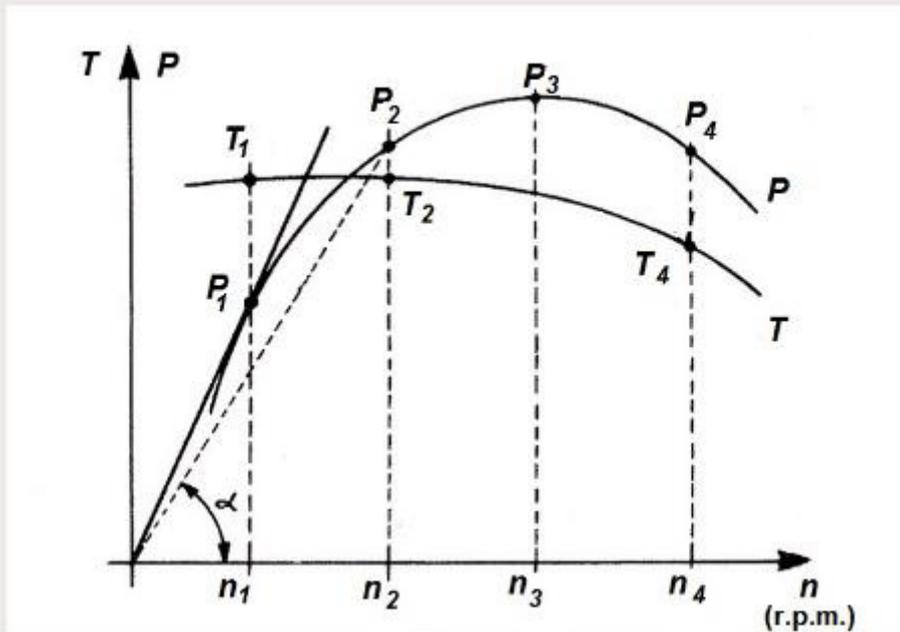
El rendimiento total de la cadena de transmisión ( $\eta_t$ ) se obtendrá a partir de los rendimientos de cada uno de los elementos y órganos que constituyen el sistema de transmisión, desde el eje de salida del motor hasta el palier de la rueda (embrague, caja de cambios, ejes de transmisión, grupo cónico-diferencial o mecanismo reductor del eje motriz), es decir:

$$\eta_t = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \dots \cdot \eta_n$$

En la mayoría de los vehículos que dispongan de un sistema de transmisión clásica, este rendimiento total ( $\eta_t$ ) de la cadena de transmisión estará comprendido entre un 80 y un 90%.

## 2.2- Curva de potencia

En la siguiente gráfica se representa de nuevo la curva conjunta de potencia ( $P$ ) y par motor ( $T$ ), en función de la velocidad de giro ( $n$ ) en r.p.m. para un motor tipo.



Como se puede observar de la anterior figura, la potencia que puede ofrecer un motor de combustión interna tipo aumenta conforme sube de régimen de giro, hasta un máximo (representado por  $P_3$ ) que se alcanza cuando gira a  $n_3$  (r.p.m.).

En estas condiciones, aunque se acelere más la velocidad del motor, éste no es capaz de entregar más potencia dado que la curva entra en su tramo descendente. El límite máximo de revoluciones a la que puede girar el motor lo marca  $n_4$ , establecido por las propias limitaciones de los elementos mecánicos que lo constituyen.

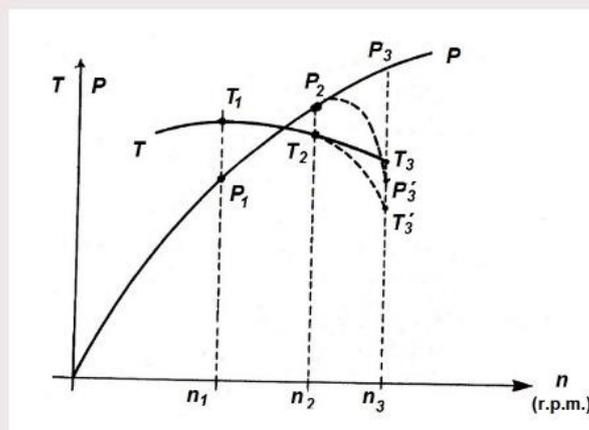
Lo primero que se puede comprobar es que la máxima potencia no corresponde con el régimen del máximo par motor (punto de revoluciones  $n_1$ ). En la mayoría de los casos, el punto de par máximo se encuentra en torno al 70% del régimen nominal, es decir, de aquel al que se produce la máxima potencia.

Esto es así porque según se vio en el apartado 2.1 anterior, la potencia es el producto del par motor por el número de vueltas, y aunque se alcance el punto donde se comienza ligeramente a disminuir el par que ofrece el motor, este efecto se compensa por el aumento, que proporcionalmente es mayor, del régimen de giro del motor, y por ello su producto, que proporciona la potencia, sigue aumentando.

En otro orden de cosas, el rango de velocidades que produce un funcionamiento estable del motor, según la gráfica de la figura 3 anterior, sería el comprendido entre el régimen de velocidades  $n_1$  y  $n_2$ , valores que por otro lado no se corresponde con el punto de máxima potencia.

En efecto, si el motor se encuentra funcionando a un régimen de velocidades entre  $n_1$  y  $n_2$ , cualquier situación cambiante que se produzca durante la conducción y que suponga un aumento del par resistente, por ejemplo al subir una carretera en pendiente, el motor se adapta automáticamente disminuyendo su régimen de giro porque esto supone que aumentará el par motor. Y análogamente, si de nuevo baja el momento resistente, por ejemplo al volver a un tramo sin pendiente en la carretera, las necesidades del par motor son menores que se consigue automáticamente aumentando la velocidad del motor.

En los motores diesel la curva de par es prácticamente horizontal para un amplio rango de revoluciones del motor, como ya se vio en el apartado anterior, mientras que la curva de potencia se aproxima a una recta que pasa por el origen, como se comprueba en la figura 4 adjunta.



El disponer en los motores diesel de una curva de potencia tan pronunciada y ascendente, indica que en este tipo de motores a más revoluciones se obtiene mayor potencia. Este hecho unido a que el par permanece prácticamente constante, cualquier disminución en el par resistente con la que se encuentre el vehículo, por ejemplo, en una carretera llana o ligeramente descendente, ocasionaría un aumento brusco de las revoluciones del motor.

Por ello, y para evitar que el motor se embale se incluye en los motores diesel un elemento regulador que a partir de cierta velocidad de giro reduce la cantidad de combustible inyectado, reduciendo de este modo el par y la potencia que ofrece el motor (situación indicada con los puntos  $P'_3$  y  $T'_3$ , de la figura 4). De este modo a la máxima velocidad de funcionamiento sólo podrá funcionar el motor en vacío, evitando así que el motor se revolucione de manera descontrolada.



Facultad de Ingeniería Mecánica Automotriz

Artículo de Investigación para la obtención del Título de Ingeniería en Mecánica Automotriz

Tema:

Diferencia de torque y potencia en función del rin del neumático

Molina Narváez Juan Francisco

Larrea Mejía David Fernando

sin tener que desmontarlo.

### 3.5. NORMATIVA

Se utiliza como referencia a las normativas que permite a una persona comparar varios resultados adquiridos bajo diferentes condiciones de prueba, tales como: torque, potencia, frenos, estado de motor, velocidad, y en algunos equipos, analiza los gases de combustión. Estas normas son: SAE J607, SAE J1349 y la STD.

Se desarrollaron factores de corrección, de acuerdo con la ubicación de dinamómetro, si esta en la costa, sierra u oriente. Las condiciones de prueba para J607, SAE y STD son las mostradas en la tabla 4.

**Tabla 4.** Tabla de factor de corrección

Fact corr	T°	Pre	Hu
J607	16	29.92inHg	0%
J1349	25	29.234inHg	0%
STD	25	29.92inHg	0%

**Fuente:** Norma SAE J607, SAE J1349, STD

Donde:

**Fact corr** = factor de corrección

**T°** = temperatura

**Pre** = presión

**Hu** = humedad

### 4. RESULTADO

**Tabla 5.** Ficha técnica de vehículo

Motor	Hatch 5P 1.0 MT
<b>Cilindrada (cc)</b>	1000
<b>Dirección</b>	Asistida
<b>Frenos (delanteros / traseros)</b>	Discos ventilados / Tambores
<b>Motor</b>	4 cilindros, 8v, SOHC
<b>Potencia máxima (HP @ rpm)</b>	63 HP a 5.400 rpm
<b>Relación de compresión</b>	9,3:1
<b>Suspensión (delantera / trasera)</b>	Independiente Mc Pherson / Dual link
<b>Tipo de combustible</b>	Gasolina
<b>Torque máximo (Nm @rpm)</b>	87 Nm a 4.200 rpm
<b>Tracción</b>	Delantera
<b>Transmisión</b>	Manual de 5 velocidades

**Fuente:** Chevrolet Ecuador

Dado los valores de las pruebas, se muestran los resultados teóricos y experimentales de medición de torque en color azul y potencia, en color naranja, en la figura 4.



# DETERMINACIÓN DE TORQUE Y POTENCIA DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA UTILIZANDO MEZCLAS PARCIALES DE BIODIÉSEL

Guillermo Gorky Reyes-Campaña<sup>1</sup>, José Andrés Castillo-Reyes<sup>2</sup>,  
Alex Xavier Escalante-Quezada<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Magíster en Sistemas Automotrices. Profesor de tiempo completo, Coordinador de Investigación.  
Correo electrónico: gureyesca@internacional.edu.ec

<sup>2</sup> Magíster en Gerencia y Liderazgo Educativo. Director de Carrera

<sup>3</sup> Ingeniero Automotriz. Investigador

Facultad Ingeniería Automotriz, Universidad Internacional del Ecuador, Quito, Ecuador

---

Recibido: 15 de noviembre del 2015

Aprobado: 10 de abril del 2016

---

Cómo citar este artículo: G. G. Reyes-Campaña, J. A. Castillo-Reyes, A. J. Escalante-Quezada, "Determinación de torque y potencia de un motor de combustión interna utilizando diferentes mezclas parciales de biodiesel", *Ingeniería Solidaria*, vol. 12, no. 20, pp. 23-31, oct. 2016. doi: <http://dx.doi.org/10.16925/in.v19i20.1413>

---

**Resumen.** *Introducción:* este artículo es producto de la investigación "Determinación de torque y potencia de un motor de combustión interna utilizando diferentes mezclas parciales de biodiesel a 2800 m. s. n. m. según la norma SAE J1349 y la INEN RTE 017", realizada por el grupo de investigación de la Facultad de Ingeniería automotriz de la Universidad Internacional del Ecuador (Quito), en el periodo comprendido entre el 1 de mayo del 2014 y el 13 de julio del 2015. La investiga-

---

REQUISITOS	ECUADOR	COLOMBIA
	<b>Ecuador</b>	<b>Colombia</b>
Azufre	500ppm	50 ppm
Punto de inflamación	51°C	50°C
Agua y sedimento	0,05 %	0,05 %
Viscosidad cinemática	2,5-6cst*	1,9-5cst**
Índice de cetano	45	45
Temperatura de destilación 90 %	360°C	360°C

\*viscosidad cinemática a 37,8°C

\*\*viscosidad cinemática a 40°C

Fuente: [9]

**Tabla 2.** Características del biodiésel de palma

Requisitos	Valores
Cenizas	<0,005 % (en peso)
Agua y sedimentos	562 ppm
Punto de inflamación	125°C
Punto de nube	14°C
Viscosidad a 40°C	4,608 cst
Índice de cetano	62,3
Destilación	350°C

Fuente: [10]

Se eligió la norma SAE J1349, ya que considera el funcionamiento del vehículo con todos sus dispositivos como bomba de agua, bomba de aceite, alternador, electro ventilador. Por su parte, la norma alemana DIN 70020 no considera a los dispositivos antes mencionados, y mide la potencia neta solamente en el motor.

### 2.4 Protocolo de pruebas

Los ensayos se realizaron en el laboratorio de pruebas del Centro de Capacitación e Investigación en Control de Emisiones (CCICEV), que cuenta con equipos normados y se dedica a temas de investigaciones referentes a la contaminación y emisiones vehiculares, además de homologaciones y certificación de carrocerías. El CCICEV está ubicado en el centro norte de Quito a 2800 m s. n. m. Si bien este proyecto está dirigido a comprobar el uso de biodiésel y medir su rendimiento en un motor a través de torque y potencia, también se realizaron pruebas de opacidad para entender que el cambio de combustible afecta la contaminación.

### 2.5 Sistema auxiliar de combustible

Para el ingreso del nuevo combustible con los porcentajes descritos, se adaptó un sistema en paralelo

### 2.3 Normativa

En la fase experimental se utilizaron dos normas: la primera es local, del Reglamento Técnico Ecuatoriano (RTE INEN 017:2008), cuyo propósito es el control de emisiones contaminantes de fuentes móviles, sean importados o de fabricación nacional por categorías y sus respectivos límites de emisiones [11]. La segunda norma para la ejecución de las pruebas es la americana SAE J1349, que determina el desempeño en un motor a plena carga con valores de torque y potencia en un dinamómetro, como se observa en la tabla 3, tomando los valores atmosféricos referenciales en el momento de ejecutar los ensayos [12].

**Tabla 3.** Condiciones atmosféricas

	Condición estándar	Rango de límite
Presión (absoluta) de entrada de aire	100 Kpa	--
Presión (absoluta) de aire seco	99 Kpa	90/105 Kpa
Temperatura de entrada de aire	25°C	15 - 35 °C

Fuente: [12]

de alimentación. En la figura 2 se aprecia el tanque y su ubicación en el vehículo etiquetando cada salida, entrada y retorno del combustible.



**Figura 2.** Válvulas y tanque alternativo del sistema adicional de combustible

Fuente: elaboración propia

En la figura 3 se indica el diagrama hidráulico del sistema de combustible alternativo y del vehículo que se diseñó para los ensayos.

## ESTUDIO DE LA DIFERENCIA DE TORQUE Y POTENCIA EN FUNCION DEL RIN DEL NEUMATICO

Gorky Reyes <sup>1</sup>, Juan Molina <sup>2</sup>, David Larrea <sup>3</sup>

<sup>1</sup>Profesor tiempo completo, Coordinador Investigación, Facultad de Ingeniería Automotriz, Universidad Internacional del Ecuador, Quito, Ecuador, [gurvesca@internacional.edu.ec](mailto:gurvesca@internacional.edu.ec)

<sup>2</sup>Facultad de Ingeniería Automotriz, Universidad Internacional del Ecuador, [jfmolina\\_92@hotmail.com](mailto:jfmolina_92@hotmail.com)

<sup>3</sup>Facultad de Ingeniería Automotriz, Universidad Internacional del Ecuador, [davidlarrea21@hotmail.com](mailto:davidlarrea21@hotmail.com)

### RESUMEN

A nivel nacional un vehículo cuando sale de fábrica, todos sus componentes son originales, y existen varios usuarios que desean cambiar ya sea por estética o uso, por tal motivo hay varios tecnicentos que recomienda el cambio de estos para adecuarse más a la personalidad del propietario, los mismos que por estética y rendimiento realizan cambios como el modificar el tamaño del rin y varios componentes más del vehículo; pero en la investigación el vehículo Chevrolet Spark LT del año 2012, un automóvil muy comercializado en Ecuador, con la medida de neumático recomendada por el fabricante y el mismo vehículo con otro "rin" más grande al usual, determinó cuáles son las diferencias que se tiene con respecto al torque y potencia que muestra el vehículo en régimen de revoluciones alto y bajo. Se realizó un ensayo de medición de torque y potencia en un dinamómetro el cual permitió reconocer las diferencias que existe en el vehículo. Los resultados mostraron que con una variación de "rin" en el vehículo de prueba, se obtuvo una disminución de más del 7% de torque, y más del 4% de potencia. A partir del análisis realizado, no es recomendable para el rendimiento del vehículo tanto en ahorro de combustible como desempeño del mismo, cambiar de rin a los vehículos por unos diferentes a los recomendados por el fabricante.

**Palabras clave:** rin, torque, potencia, dinamómetro, neumático.

### ABSTRACT

At the national level a vehicle when it leaves the factory, all its components are original, and there are several users who want to change either aesthetics or use, for this reason there are several automotive shops that recommends the change of these to suit more the personality of the owner , the same ones that for aesthetics and performance make changes such as modifying the size of the wheel and several other components of the vehicle; but in the investigation the Chevrolet Spark LT vehicle of the year 2012, a car very commercialized in Ecuador, with the tire size recommended by the manufacturer and the same vehicle with another "rin" larger than usual, determined which are the differences that are it has with respect to the torque and power that the vehicle shows in high and low revolutions. A torque and power measurement test was performed on a dynamometer which allowed recognizing the differences that exist in the vehicle. The results showed that with a "rin" variation in the test vehicle, a decrease of more than 7% of torque was obtained, and more than 4% of power was obtained. Based on the analysis carried out, it is not advisable for the performance of the vehicle, both in terms of fuel savings and performance, to change the vehicle's rims by a number different from those recommended by the manufacturer.

**Keywords:** wheel, torque, power, dynamometer, tire.

## 1. INTRODUCCION

En los tecnicentros de mecánica y repuestos automotrices, la mayoría de veces los vehículos adquieren rines y neumáticos nuevos en donde varían la medida original o recomendada por el fabricante, por una que está más acorde con el gusto del cliente o del vendedor. Esto se debe a que la mayoría de personas busca un rendimiento diferente de sus vehículos tales como: cambio de imagen, estabilidad del vehículo, mayor velocidad final o mayor fuerza del vehículo. Pero este tipo de cambios perjudica directamente al rendimiento del vehículo.

De acuerdo con el Ministerio de Medio Ambiente, en el 2014 y 2015 se recuperaron aproximadamente 1.5 millones de neumáticos usados para ser reciclados o reencauchados, que esto equivale al 80% total del mercado de neumáticos en el Ecuador [1]. Por lo cual en el Ecuador al año se vende aproximadamente un millón de unidades de neumáticos.

La durabilidad del neumático en un vehículo particular regularmente es de 2 años o 50 mil kilómetros, a diferencia de un vehículo que presta servicio de transporte público es de 6 a 8 meses o 50 mil kilómetros de recorrido [2]. De igual manera estos valores varían de acuerdo con el mantenimiento y cuidado que tenga el chofer. Las recomendaciones para un mejor rendimiento del neumático son: presión adecuada de aire, balanceo, alineación y rotación cada 10 mil kilómetros, caso contrario va a influir en un desgaste prematuro del mismo [3]. Esto se debe ya que los neumáticos sufren de varias cargas y esfuerzos como la transmisión de dirección y sentido del vehículo, la trasmisión de fuerza del motor para generar el movimiento, tener un buen contacto con el suelo que es conducido, absorber de manera efectiva los golpes, dar una sensación cómoda de manejo al conductor, prevenir el ruido de rodaje y verse bien estéticamente.

El neumático es un elemento que contiene muchos compuestos químicos [4], son estructuras tubulares muy complejas, compuestas fundamentalmente de caucho natural que es su principal componente, cauchos sintéticos, negro de humo, agentes químicos, aceites minerales y fibras

reforzantes como los hilos de acero y textiles [5].

Todos estos compuestos garantizan que el neumático cumpla con su función de la manera más adecuada. Su función principal es permitir un contacto adecuado por adherencia y fricción con el pavimento, posibilitando el arranque, el frenado y la guía [6], siendo una de las partes más importantes del vehículo y tiene que trabajar juntamente con él.

## 2. NEUMÁTICO

Un neumático es una pieza toroidal de caucho que se coloca en las ruedas de diversos vehículos y máquina. Su función principal es permitir un contacto adecuado por adherencia y fricción con el pavimento, haciendo posible el arranque, el frenado y la dirección o guía.

La parte de caucho blando que se infla y llena de aire es denominada cámara, hay neumáticos que no llevan cámara, es decir, que el aire a presión este contenido directamente por el neumático y la llanta; En los vehículos modernos, utilizan neumáticos denominados tubeless [7].

Los neumáticos generalmente tienen hilos que los refuerzan. Dependiendo de la orientación de estos hilos, se clasifican en diagonales o radiales.

De la figura 1 se ve las partes principales [8] que son: (1). Cinturón de acero en dirección longitudinal, (2). Estructura radial, (3). Alambre, (4). Llanta, (5). Banda de rodamiento, (6). Pared lateral, (7). Talón (ceja).

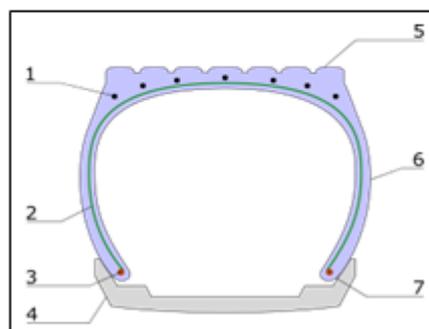


Figura 1. Neumático sin cámara

Fuente: Manual de servicio Maxxis – Neumático para vehículos de carretera.

## 2.1. COMPONENTES

El neumático es un objeto avanzado que tiene un alto nivel tecnológico, que utiliza una amplia variedad de materias primas [9]. Pueden agruparse en los siguientes grupos:

Caucho natural es un componente de la banda de rodadura de los neumáticos.

Caucho sintético es esencial en la escultura de los neumáticos de turismo, comerciales y 4x4.

Negro de humo y sílice sirve para reforzar el neumático y mejorar sus propiedades de desgaste.

Cables metálicos y textiles constituyen el esqueleto del neumático y garantizan su geometría y rigidez.

Numerosos productos químicos dan al neumático sus propiedades específicas como la baja resistencia a la rodadura o el extraordinario agarre.

## 2.2. FUERZA LATERAL

En un vehículo de masa  $m$ , cuando toma una curva de radio  $r$  a una velocidad  $v$ , su tendencia es a continuar con su trayectoria recta anterior. Podemos representar la fuerza centrífuga como una fuerza que nos impulsa hacia el exterior de la curva con esta intensidad:

$$F_c = m \frac{v^2}{r}$$

Donde:

$F_c$  = fuerza centrífuga

$m$  = masa

$v$  = velocidad

$r$  = radio

Esta fuerza será mayor cuanto más pesado sea el vehículo ( $m$ ), cuanto menor es el radio ( $r$ ) de la curva - cuanto más cerrada es y, sobre todo, cuanto más rápido vamos ( $v$ ) [10].

## 2.3 MECANISMO DE AGARRE

El mecanismo físico de agarre de la goma con el suelo es una mezcla de rozamiento mecánico, un "enganche" nivel milimétrico similar al de un engranaje, con

una adhesión en las que influye la composición del neumático [10].

## 2.4. SENSIBILIDAD A LA CARGA

El rozamiento entre el neumático y el asfalto se define por la ecuación:

$$F_r = N\mu$$

Donde:

$F_r$  = fuerza de rozamiento

$N$  = fuerza normal que soporta el neumático.

$\mu$  = coeficiente de rozamiento

Es la suma del peso sobre la rueda con el vehículo en reposo más los posibles incrementos o decrementos por las fuerzas aerodinámicas o por las transferencias de carga longitudinales o laterales.

Al aumentar la carga, la goma se ve deformando más y va rellenando las pequeñas irregularidades del asfalto. De esta manera logramos aumentar la superficie de adhesión y la profundidad de los enganches mecánicos entre goma y asfalto [10].

## 2.5. VISCOELASTICIDAD

Al comprimir un resorte, la constante de dureza del mismo es independiente de la velocidad a la que lo comprimen. Sin embargo, la goma que compone el neumático es un material viscoelástico: esto significa que, para velocidades bajas de compresión, su constante de dureza es menor y que para compresiones rápidas aumenta esta dureza, disminuyendo su capacidad de agarre.

Esto implica que existe una velocidad de deslizamiento óptima en la que la combinación del porcentaje de la huella que está en régimen deslizante y su constante de dureza debido a su naturaleza viscoelástica nos da el máximo agarre con el asfalto, que logramos con un determinado ángulo de deriva: ni más ni menos.

Esta velocidad de deslizamiento óptima y un ángulo de deriva óptimo varía en función de las características del asfalto: un grano muy fino necesita velocidades de deslizamiento y ángulos de deriva menores que un asfalto de grano más grueso [10].

La presión de inflado constituye a la fuerza lateral que se transmite desde la huella hasta la llanta a través de los flancos. La presión de inflado mantiene la rigidez de la carcasa y de la banda de rodadura. El máximo agarre lateral puede producirse con presiones relativamente elevadas; el ancho de llanta es el máximo agarre lateral del neumático el cual se genera cuando sus flancos están rectos. Esto se logra con una llanta de +/- 1/2 pulgada de la anchura real del neumático.

Una llanta demasiado ancha hace que los laterales de la banda de rodadura trabajen en exceso. Una llanta demasiado estrecha abomba el neumático sobrecargando la parte central; un ángulo de caída negativo durante un apoyo lateral produce un agarre lateral adicional.

## 2.6. VULCANIZACION

La vulcanización es un proceso químico para la conversión del caucho o polímeros relacionados en materiales más duraderos a través de la adición de azufre u otros equivalentes curativos. Estos aditivos modifican el polímero mediante la formación de enlaces cruzados entre las distintas cadenas de polímeros.

El neumático verde se vulcaniza con moldes calientes en una máquina de curado que comprime todas sus partes y le da su forma final.

En control de calidad seleccionan aleatoriamente los neumáticos de la cadena de

fabricación y los cortan por la mitad para examinar cada uno de ellos su estructura y para revisar si cumplen con los estándares [11].

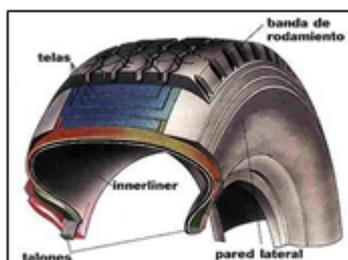


Figura 2. Corte de neumático para inspección.  
Fuente: Neumáticos media – Partes

## 2.7. TABLA DE NEUMATICOS

Cada fabricante diseña un vehículo, que ofrezca confort y con excelente maniobrabilidad, considerando integrar neumáticos de Equipo Original al sistema de suspensión, dirección y frenado. Dando como resultado, la creación de diseños de neumáticos completamente nuevos, y los existentes, han sido modificados con el proceso de fabricación de autos o camiones ligeros actuales, para maximizar sus capacidades [12].

Por esta razón los fabricantes de vehículos requieren que los proveedores de estos neumáticos, los identifiquen con símbolos o códigos en los flancos para confirmar que son originales.

De esta forma, los dueños de vehículos identifican y seleccionan fácilmente los neumáticos originales.

Lista de los símbolos o códigos en uso:

Tabla 1. Índice de velocidad de los neumáticos.

Índice de velocidad	Velocidad en Km/h	Índice de velocidad	Velocidad en Km/h
D	65	Q	160
E	70	R	170
F	80	S	180
G	90	T	190
J	100	U	200
K	110	H	210
L	120	V	240
M	130	ZR	>240
N	140	W	270
P	150	Y	300

Fuente: Estudio del Neumático – Normas de designación.

Así mismo, la tabla 2, indica los índices de carga de los neumáticos, que sirven para seleccionarla de acuerdo con el peso del vehículo y su carga, o la función que va a cumplir, si es de trabajo o de paseo.

Tabla 2. Índice de carga de los neumáticos

Índice de carga	Peso en Kg	Índice de carga	Peso en Kg
71	345	107	975
72	355	108	1000
73	365	109	1030
74	375	110	1060

Indice de carga	Peso en Kg	Indice de carga	Peso en Kg
75	387	111	1090
76	400	112	1120
77	412	113	1150
78	425	114	1180
79	437	115	1215
80	450	116	1250
81	462	117	1285
82	475	118	1320
83	487	119	1360
84	500	120	1400
85	515	121	1450
85	530	122	1500
87	545	123	1550
88	560	124	1600
89	580	125	1650
90	600	126	1700
91	615	127	1750
92	630	128	1800
93	650	129	1850
94	670	130	1900
95	690	131	1950
96	710	132	2000
97	730	133	2060
98	750	134	2120
99	775	135	2180
100	800	136	2240
101	825	137	2300
102	850	138	2360
103	875	139	2430
104	900	140	2500
105	925	141	2575
106	950	142	2650

Fuente: Estudio del Neumático – Normas de designación.

Las características de un neumático se las puede reflejar en la figura 5, donde se presentan las diferentes características de desempeño, que pueden ser comparadas directamente donde 100 es el nivel básico.

La meta final del fabricante de vehículo es desarrollar la tecnología que expanda el confort y el desempeño del neumático en todas direcciones.

La mayoría de veces, solo pueden expandir la capacidad y rendimiento del neumático en ciertas áreas, ya que, si una mejora otra disminuye [13].

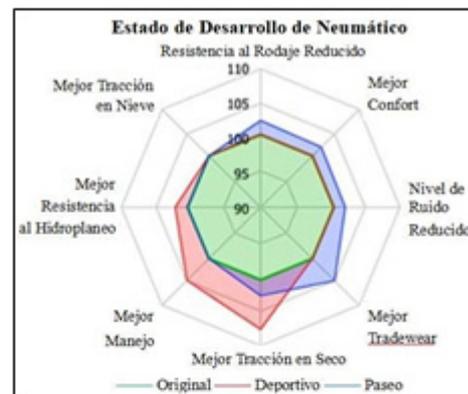


Figura 3. Desarrollo del Neumático  
Fuente: TireRack – Equipo Original

De la figura 3, el color verde es el neumático original en el cual se busca un equilibrio de todas las características que ofrecen los diferentes fabricantes de llantas en una sola, rojo es un neumático deportivo el cual busca incrementar la tracción del vehículo hacia el piso dándole un mejor desempeño al vehículo deportivo, azul es el neumático de turismo el cual ofrece una mejor durabilidad para vehículos de paseo o trabajo.

Todos los neumáticos son excelentes, pero son diferentes en características y funciones. Lo importante es que ambos son modificados para ajustarse de mejor manera al vehículo [14].

### 3. MATERIALES Y METODOS

#### 3.1. METODOS

Es importante considerar que la medición de torque y potencia en relación con el rin del neumático depende de varios factores, como medida del rin, la dimensión y calidad del neumático, y que el vehículo este en buenas condiciones; por lo que se tomó en cuenta únicamente un vehículo de tipo automóvil, estandarizado su diseño propio de marca de neumático y el tamaño del rin generando una tabulación de los neumáticos que genera mayor torque y potencia en relación con el rin del neumático.

El procedimiento realizado fue usando un dinamómetro que permitió conocer los valores de torque y potencia con los

neumáticos originales y los neumáticos de prueba. Se sabe que todo neumático tiene una elasticidad y una resistencia a la rodadura el cual son fabricados para resistir esfuerzos y capacidades de carga en diferentes prestaciones que se las esté usando.

### 3.2. VEHÍCULO

Vehículo Chevrolet Spark LT, un sedán compacto y muy liviano, diseñado para la ciudad gracias a su versatilidad y tamaño, con bajo consumo de combustible.

El Spark se ha comercializado bastante en Ecuador, debido a su gran economía en combustible y en espacio, enfocado a familias y a jóvenes, se realizó la comparación de la ficha técnica con pruebas de dinamómetro.

### 3.3. NEUMÁTICO

En el vehículo Chevrolet Spark de prueba tiene el neumático original medida 155/65R13 73H, y la medida de prueba es la 175/50R15 75H.

Ambos neumáticos son destinados para vehículos de ciudad enfocados en el rendimiento y el confort.

#### 3.3.1. FORMULAS PARA SELECCIÓN DE NEUMATICOS

Para un vehículo familiar sedan, de 5 pasajeros más carga adicional, se considera la siguiente fórmula para selección de neumático, y da conocer si es adecuado o no para el mismo:

$$Pi = P + C$$

$$So = U \times N$$

$$K = So - Pi$$

Donde:

- P = peso del vehículo
- Pi = peso del vehículo con carga
- C = carga que soporta el vehículo
- U = índice de carga de neumáticos en kilogramos
- N = número de neumáticos
- So = carga total que soportan los neumáticos
- K = capacidad de los neumáticos

Como ejemplo, se aprecia en la tabla 3 que los neumáticos de prueba y los neumáticos originales si cumplen con la relación K, la cual determina si es adecuado el neumático y soporta la carga que el vehículo y sus pasajeros representa

Tabla 3. Relación "K"

Neu	Med	Pes/carg	Carg/Tot	Cap	Rel "K"
Orig	155/65R13 73H	Pi = 1448 Kg	So = 1464 Kg	K = 16 Kg	K > 1
Prue	175/50R15 75H	Pi = 1448 Kg	So = 1548 Kg	K = 100 Kg	K > 1

Fuente: Autores  
Donde:

- Neu: Neumático
- Med: Medida.
- Pes/Carg: Peso del vehículo incluido carga.
- Carg/Tot: Carga Total de los neumáticos.
- Cap: Capacidad de los neumáticos.
- Rel"K": Relación en "K"
- Orig: Original.
- Prue: De prueba.

Si  $K \geq 0$  el neumático se puede utilizar en el vehículo.

Si  $K < 0$  no es adecuado utilizar ese neumático.

### 3.4. EQUIPO

El dinamómetro es una herramienta de uso moderno para conocer el estado de un motor, optimizar su rendimiento, su fuerza y velocidad. También es utilizado para proyectos de disminución de emisiones y consumo de combustible.

Los dinamómetros de rodillos se utilizan para obtener las curvas de potencia, par torsor y consumo específico de combustible de un motor de combustión interna, así como para monitorear el comportamiento de los parámetros que describen su funcionamiento.

Con un banco de rodillos en el cual se asienta al vehículo, se determinar si el motor de este cumple con las especificaciones señaladas por el fabricante, así como también, evaluar la influencia de modificaciones mecánicas o

electrónicas, sobre el rendimiento del motor, sin tener que desmontarlo.

### 3.5. NORMATIVA

Se utiliza como referencia a las normativas que permite a una persona comparar varios resultados adquiridos bajo diferentes condiciones de prueba, tales como: torque, potencia, frenos, estado de motor, velocidad, y en algunos equipos, analiza los gases de combustión. Estas normas son: SAE J607, SAE J1349 y la STD.

Se desarrollaron factores de corrección, de acuerdo con la ubicación de dinamómetro, si esta en la costa, sierra u oriente. Las condiciones de prueba para J607, SAE y STD son las mostradas en la tabla 4.

Tabla 4. Tabla de factor de corrección

Fact corr	T°	Pre	Hu
J607	16	29.92inHg	0%
J1349	25	29.234inHg	0%
STD	25	29.92inHg	0%

Fuente: Norma SAE J607, SAE J1349, STD  
Donde:

Fact corr = factor de corrección  
T° = temperatura  
Pre = presión  
Hu = humedad

## 4. RESULTADO

Con la ayuda del equipo dinamómetro, se toman registros de los valores de torque y potencia que marca en cada prueba el vehículo con las diferentes medidas de neumáticos, realizando tres pruebas por cada neumático y obteniendo un promedio por medida [15].

Un motor posee un valor de revoluciones por minuto o RPM en el cual se alcanza su mayor torque, así como potencia.

Para esto se tomó de referencia la ficha técnica del vehículo de prueba que se observa en la tabla 5, donde muestra que a las 5700RPM se alcanza el máximo torque, y a las 4200RPM se alcanza el máximo de potencia.

Tabla 5. Ficha técnica de vehículo

Motor	Hatch 5P 1.0 MT
Cilindrada (cc)	1000
Dirección	Asistida
Frenos (delanteros / traseros)	Discos ventilados / Tambores
Motor	4 cilindros, 8v, SOHC
Potencia máxima (HP @ rpm)	63 HP a 5.400 rpm
Relación de compresión	9,3:1
Suspensión (delantera / trasera)	Independiente Mc Pherson / Dual link
Tipo de combustible	Gasolina
Torque máximo (Nm @rpm)	87 Nm a 4,200 rpm
Tracción	Delantera
Transmisión	Manual de 5 velocidades

Fuente: Chevrolet Ecuador

Dado los valores de las pruebas, se muestran los resultados teóricos y experimentales de medición de torque en color azul y potencia, en color naranja, en la figura 4.

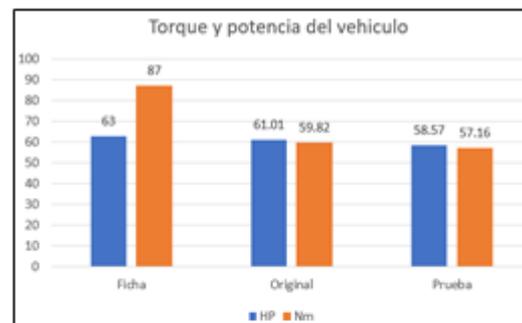


Figura 4. Valores máximos de torque y potencia  
Fuente: Autores – pruebas

Las columnas de potencia muestran una gran diferencia de la ficha técnica del vehículo, con las pruebas realizadas en el dinamómetro con el neumático original y el de prueba. Esto debido a la altura aproximada de 2800msnm de la ciudad de Quito en donde se realizó las pruebas. Con el neumático de prueba se obtuvo una pérdida de 4.45%, con respecto al neumático original.

Las columnas de torque muestran que el neumático original es el cercano al mejor rendimiento del vehículo, esto debido a que el

neumático de prueba tiene una pérdida del 4% de torque con respecto al original, y del 7,03% a la ficha técnica.

En la figura 5 se aprecia los resultados impresos por el dinamómetro, los cuales son: la curva de torque, en color rojo, y la curva de potencia en color azul. Cada una representa como va aumentando sus valores hasta alcanzar su máximo, en el régimen de las 5700RPM, la cual nos indica la marca fabricante del vehículo.

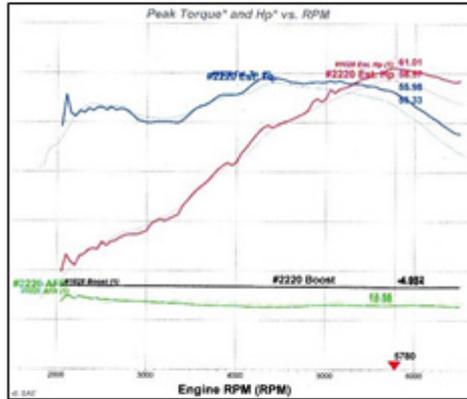


Figura 5. Resultado de dinamómetro  
Fuente: Autores

La curva de torque muestra al neumático original alcanzar los 61.01HP de torque y los 59.82Nm de potencia. Mientras que el neumático de prueba muestra valores más bajos dando 58.57Hp de torque y 57.16Nm de potencia.

El uso de neumáticos no recomendados por el fabricante influye también en el desempeño del motor y produce un consumo excesivo de combustible provocando más gases de contaminación.

Los neumáticos originales son diseñados para trabajar bajo las condiciones específicas de cada modelo de vehículo, de esta manera se protegen los componentes del motor y evitan daños prematuros.

## 6. REFERENCIAS

- [1] <http://www.ambiente.gob.ec/1-500-000-unidades-de-neumaticos-fuera-de-uso-se-recuperaron-en-ecuador-en-dos-anos/>
- [2] <http://www.eldiario.ec/noticias-manabi-ecuador/86027-cuanto-tiempo-pueden-durar-los-neumaticos/>
- [3] <http://www.elcomercio.com/actualidad/negocios/llantas-buen-control-alarga-vida.html>
- [4] [http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/indata/v02\\_n2/proceso.htm](http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/indata/v02_n2/proceso.htm)
- [5] <https://almacennuclear.wordpress.com/2010/10/15/componentes-de-los-neumaticos-y-negro-de-humo-obtenido-de-su-tratamiento->

# DETERMINACIÓN DE TORQUE Y POTENCIA DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA UTILIZANDO MEZCLAS PARCIALES DE BIODIÉSEL

Guillermo Gorky Reyes-Campaña<sup>1</sup>, José Andrés Castillo-Reyes<sup>2</sup>,  
Alex Xavier Escalante-Quezada<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Magíster en Sistemas Automotrices. Profesor de tiempo completo, Coordinador de Investigación.  
Correo electrónico: gureyesca@internacional.edu.ec

<sup>2</sup> Magíster en Gerencia y Liderazgo Educativo. Director de Carrera

<sup>3</sup> Ingeniero Automotriz. Investigador

Facultad Ingeniería Automotriz, Universidad Internacional del Ecuador, Quito, Ecuador

---

Recibido: 15 de noviembre del 2015

Aprobado: 10 de abril del 2016

---

**Cómo citar este artículo:** G. G. Reyes-Campaña, J. A. Castillo-Reyes, A. J. Escalante-Quezada, "Determinación de torque y potencia de un motor de combustión interna utilizando diferentes mezclas parciales de biodiésel", *Ingeniería Solidaria*, vol. 12, no. 20, pp. 23-31, oct. 2016. doi: <http://dx.doi.org/10.16925/in.v19i20.1413>

---

**Resumen.** *Introducción:* este artículo es producto de la investigación "Determinación de torque y potencia de un motor de combustión interna utilizando diferentes mezclas parciales de biodiésel a 2800 m s. n. m. según la norma SAE J1349 y la INEN RTE 017", realizada por el grupo de investigación de la Facultad de Ingeniería automotriz de la Universidad Internacional del Ecuador (Quito), en el periodo comprendido entre el 1 de mayo del 2014 y el 13 de julio del 2015. La investiga-

ción determinó el comportamiento del biodiésel en la altura, específicamente a 2800 m s. n. m., con mezclas parciales de biodiésel, junto con el diésel colombiano y ecuatoriano. *Metodología:* se describe el análisis matemático comparativo de las muestras de biocombustibles en porcentajes B5, B10 y B30, proporcionado por la empresa Lafabril, tomando en cuenta factores ambientales propios del lugar donde se realizan las pruebas. *Resultados:* los datos obtenidos en el laboratorio fueron comprobados cuantitativamente con las mezclas parciales de biodiésel, y de esta manera se obtuvieron curvaturas de torque y potencia al igual que la emisión de material particulado. *Conclusiones:* con las características de los combustibles locales y sus respectivas mezclas parciales de biocombustible, se obtuvo una disminución de material particulado y valores eficientes de torque y potencia con el biocombustible B30, siendo este último el más estable y regular, ya que no tuvo picos en los datos obtenidos.

**Palabras clave:** biodiésel, contaminación, desempeño, desarrollo sustentable, normas.

## 1. Introducción: la contaminación y el parque automotor

La mayor y más importante problemática ha sido el inminente crecimiento progresivo del parque automotor que a su vez ha generado la búsqueda de soluciones que sean amigables con el medio ambiente y a un bajo costo. Por esta razón, en los biocombustibles se ve reflejada una solución energética viable que no genera mayor contaminación, y que por ende no afecta aún más al cambio climático dado por las emisiones de fuentes móviles por combustibles fósiles [1].

En cuanto a Sudamérica, se tomó como referencia Ecuador, específicamente en Quito a 2800 m s. n. m., ya que existe un laboratorio normado que valida las pruebas. El incremento del parque automotor genera niveles de contaminación ambiental, lo que según datos de la Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador (AEADE), desde 2000 hasta 2014 se han comercializado 1 625 156 vehículos, como se observa en la figura 1 [2].

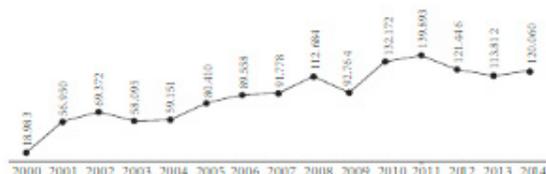


Figura 1. Ventas de vehículo por año (2000-2014)

Fuente: [2]

Según fuente de la AEADE, en el 2014 se comercializaron aproximadamente 21 000 unidades con motor diésel, lo que denota una considerable participación de un 20 % a nivel nacional [2], que sigue en aumento por sus favorables prestaciones y el menor costo del combustible.

Chevrolet domina el segmento de camionetas con su modelo D-Max con aproximadamente unas 10 000 unidades comercializadas, seguida por Mazda con su modelo BT-50, con cerca de 6500 unidades, y seguida por Toyota con su modelo Hilux con 2500 unidades comercializadas.

Este proyecto analizó el biodiésel como biocombustible alternativo para vehículos de combustión interna, encendido por compresión en la topografía y a 2800 m s. n. m.

Un biocombustible es un combustible de origen biológico hecho de manera renovable a partir de desechos orgánicos o denominados biomasa [3],

siendo el biodiésel un tipo de biocombustible que se obtiene a partir de grasas animales y vegetales que, sometido a procesos industriales, es utilizado como sustituto parcial o total del diésel [4].

Un estudio en Colombia de Narváez, Sierra y Montenegro [1] determinó el comportamiento de gases contaminantes y opacidad usando un modelo de predicción matemático por medio de un programa informático, para determinar la relación entre los datos experimentales y reales medidos en un motor estacionario con biodiésel de higuerilla con porcentajes de cargas variables y a una altura de 2600 m s. n. m. Así, establecieron que sí existieron diferencias, aunque en porcentajes difirieron, en solo un 3 % de opacidad.

En Ecuador, La Fabril S. A. es el único productor de biodiésel a partir de aceite de palma, aunque no se expenda localmente por políticas estatales. Este biocombustible cumple varias normas americanas y europeas con certificaciones ambientales y de calidad, y es exportado a varios países como Perú, Estados Unidos, Italia, Holanda [5], por nombrar algunos compradores.

Según un estudio en Cuba, donde se analizan nuevas materias primas como levaduras y microorganismos como nueva fuente, los aceites de palma, soya, girasol, canola, entre otros, y los aceites de frituras son reaprovechados para obtener biocombustibles. Este es el método más utilizado para la transesterificación como proceso industrial en el cual se reacciona al aceite con un compuesto químico para luego separar el biodiésel de otros compuestos como la glicerina [6].

El biodiésel posee características químicas adecuadas que mejora sus aplicaciones en comparación con el diésel, aspecto que lo hace más seguro en términos de manejo y transporte; además, contiene un alto número de cetano [7], genera un menor índice de contaminación y tiene una mejor lubricación [8]. Su obtención a partir de materias primas renovables causa una gran desventaja, ya que compete directamente con cultivos destinados para la industria alimenticia.

## 2. Metodología

Previo a la ejecución de las pruebas, se obtuvieron muestras de combustibles que se utilizaron para los ensayos, con sus respectivos porcentajes de biocombustibles. De la misma manera, se detalla

el tipo de vehículo por utilizar para los ensayos y la respectiva normativa que se debe seguir, con el fin de obtener los resultados cuantitativos según las condiciones de altitud y geografía locales.

## 2.1 Combustible

Los combustibles fósiles por utilizar fueron comparados entre un ecuatoriano y un colombiano, ya que por su geografía poseen alturas similares, y tienen las características propias de cada combustible que se utilizará en función de sus respectivas normativas locales [9] (tabla 1).

El biocombustible utilizado para el presente estudio es el obtenido gracias al apoyo de la empresa La Fabril S. A. que cumple altos estándares internacionales, normas ambientales y de calidad, cuyas características se observan en la tabla 2.

**Tabla 1.** Características de los combustibles diésel ecuatoriano y colombiano

Requisitos	Mínimo	Máximo
	Ecuador	Colombia
Azufre	500ppm	50 ppm
Punto de inflamación	51°C	50°C
Agua y sedimento	0,05 %	0,05 %
Viscosidad cinemática	2,5-6cst*	1,9-5cst**
Índice de cetano	45	45
Temperatura de destilación 90 %	360°C	360°C

\*viscosidad cinemática a 37,8°C

\*\*viscosidad cinemática a 40°C

Fuente: [9]

**Tabla 2.** Características del biodiésel de palma

Requisitos	Valores
Cenizas	<0,005 % (en peso)
Agua y sedimentos	562 ppm
Punto de inflamación	125°C
Punto de nube	14°C
Viscosidad a 40°C	4,608 cst
Índice de cetano	62,3
Destilación	350°C

Fuente: [10]

El siguiente paso para la realización de las pruebas fue obtener las mezclas parciales de biodiésel B5, B10 y B30, siendo la letra B el biodiésel y el número, el porcentaje de mezcla, para lo cual se utilizó una probeta graduada para el tanque al turno de pruebas en el biodiésel.

## 2.2 Vehículo de pruebas

El vehículo de pruebas es una camioneta cuyo modelo es uno de los más comercializados en Ecuador, de marca Chevrolet modelo D-Max, cuya elección se realizó por la influencia de la marca y la representación que tiene en el país, siendo el segmento de camionetas más comercializado a nivel local.

Así pues, se toman en cuenta los parámetros de seguridad y el mantenimiento preventivo del vehículo en todos sus sistemas de alimentación de combustible y de seguridad, tanto activa como pasiva, para garantizar el óptimo desempeño en las pruebas dinámicas y estáticas en el laboratorio.

## 2.3 Normativa

En la fase experimental se utilizaron dos normas: la primera es local, del Reglamento Técnico Ecuatoriano (RTE INEN 017:2008), cuyo propósito es el control de emisiones contaminantes de fuentes móviles, sean importados o de fabricación nacional por categorías y sus respectivos límites de emisiones [11]. La segunda norma para la ejecución de las pruebas es la americana SAE J1349, que determina el desempeño en un motor a plena carga con valores de torque y potencia en un dinamómetro, como se observa en la tabla 3, tomando los valores atmosféricos referenciales en el momento de ejecutar los ensayos [12].

**Tabla 3.** Condiciones atmosféricas

	Condición estándar	Rango de límite
Presión (absoluta) de entrada de aire	100 Kpa	--
Presión (absoluta) de aire seco	99 Kpa	90/105 Kpa
Temperatura de entrada de aire	25°C	15 - 35 °C

Fuente: [12]

Se eligió la norma SAE J1349, ya que considera el funcionamiento del vehículo con todos sus dispositivos como bomba de agua, bomba de aceite, alternador, electro ventilador. Por su parte, la norma alemana DIN 70020 no considera a los dispositivos antes mencionados, y mide la potencia neta solamente en el motor.

## 2.4 Protocolo de pruebas

Los ensayos se realizaron en el laboratorio de pruebas del Centro de Capacitación e Investigación en Control de Emisiones (CCICEV), que cuenta con equipos normados y se dedica a temas de investigaciones referentes a la contaminación y emisiones vehiculares, además de homologaciones y certificación de carrocerías. El CCICEV está ubicado en el centro norte de Quito a 2800 m s. n. m. Si bien este proyecto está dirigido a comprobar el uso de biodiésel y medir su rendimiento en un motor a través de torque y potencia, también se realizaron pruebas de opacidad para entender que el cambio de combustible afecta la contaminación.

## 2.5 Sistema auxiliar de combustible

### 2.5 Sistema auxiliar de combustible

Para el ingreso del nuevo combustible con los porcentajes descritos, se adaptó un sistema en paralelo

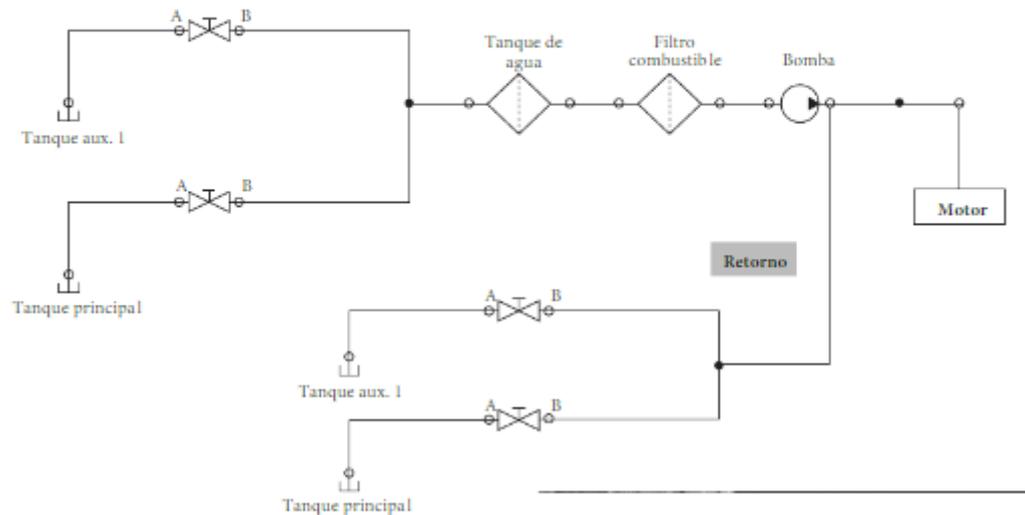


Figura 3. Diagrama hidráulico

Fuente: elaboración propia

de alimentación. En la figura 2 se aprecia el tanque y su ubicación en el vehículo etiquetando cada salida, entrada y retorno del combustible.

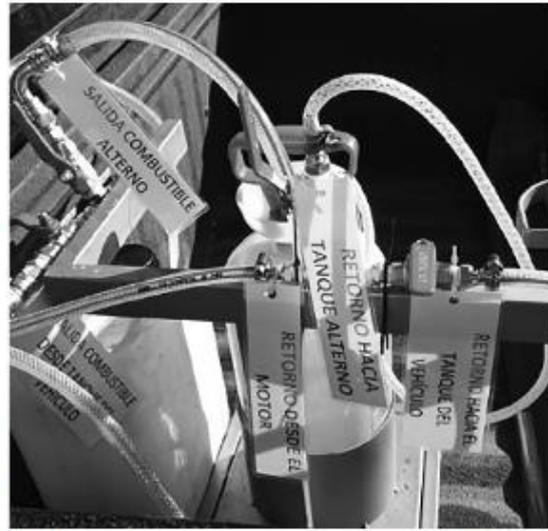


Figura 2. Válvulas y tanque alternativo del sistema adicional de combustible

Fuente: elaboración propia

En la figura 3 se indica el diagrama hidráulico del sistema de combustible alternativo y del vehículo que se diseñó para los ensayos.

### 3. Resultados

Un estudio previo en Guatemala, llevado a cabo en una camioneta Nissan Frontier, en el cual se utilizó biodiésel puro y se comparó con otro vehículo similar con diésel, determinó las correlaciones entre gases emitidos que denotaron una reducción de un 70% aproximadamente en monóxido de carbono (CO), además de una reducción de potencia de cerca de un 11% en comparación con el vehículo diésel [13]. Lo que el presente estudio utilizó fueron mezclas establecidas en proporciones B5, B10 y B30 de biodiésel para las pruebas de laboratorio.

Los resultados de las pruebas con las mezclas de biodiésel en porcentajes B5, B10 y B30 fueron comprobados y testeados con los combustibles ecuatoriano y colombiano.

De las figuras 4, 7 y 8 se tomó una medida de los tres ensayos y se obtuvo un dato por cada combustible, mientras que para los ensayos de opacidad estática se elaboró una tabla con las tres mediciones respectivas y su promedio, y el mismo procedimiento se realizó para la tabla 6 cuyos valores son de opacidad dinámica o Lug Down.

En la figura 4 se muestran las gráficas obtenidas en el banco de pruebas, comenzando con la curva de color azul denominada potencia a las ruedas, que es la medida en el vehículo que le sigue a la formación de la curva verde, la cual se genera al desacelerar el vehículo y es denominada potencia de arrastre. Por su parte, la curva de color rojo es la potencia normal, que es el resultado del producto de la potencia a las ruedas multiplicado por un factor de corrección dado en función de la norma por medio de los datos del ambiente.

Los valores del ambiente que se obtuvieron en el momento del ensayo determinan el factor de corrección para conseguir la potencia normal, como lo establece la norma SAE J1349 [14].

La tabla 4 recopila los datos del combustible ecuatoriano por cada ensayo de torque y potencia (ver figura 10) y los respectivos valores medios determinados de RPM, potencia en HP (caballos de potencia) y par motor en Nm (Newton por metro).

La tabla 5 muestra los resultados de la prueba de opacidad estática según la norma local NTE INEN 2202, que establece el método de determinación de opacidad por el método de aceleración libre [16], además de recopilar las rpm alcanzadas por cada ensayo, y así mismo el porcentaje de desviación y de opacidad.

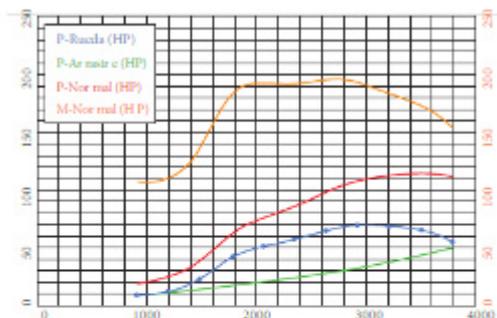


Figura 4. Ensayo con diésel ecuatoriano

Fuente: [15]

Tabla 4. Prueba de torque y potencia diésel ecuatoriano

	RPM	Potencia (HP)	Par Motor (Nm)
Ensayo 1	2710	114,98	264,79
Ensayo 2	2620	113,6	273,6
Ensayo 3	2695	111,4	265,74
Promedio	2675	113,33	268,04

Fuente: elaboración propia

Tabla 5. Prueba de opacidad estática del diésel ecuatoriano

	RPM	Desviación	Opacidad
Ensayo 1	2500	5 %	9 %
Ensayo 2	2500	1 %	8 %
Ensayo 3	2500	1 %	6 %

Fuente: elaboración propia

Tabla 6. Prueba de opacidad dinámica diésel ecuatoriano

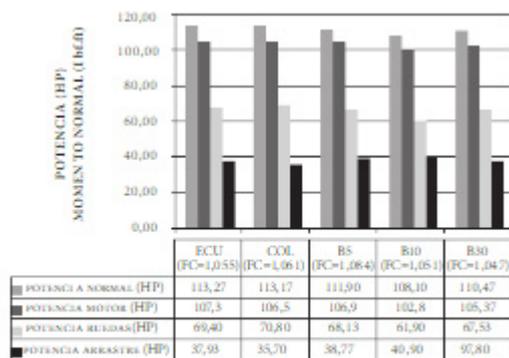
Análisis de humo al 100 % vel. máx.	RPM	Opacidad
$k(m^{-1})=0,24$	2627	9,81 %
Análisis de humo al 90 % vel. máx.	RPM	Opacidad
$k(m^{-1})=0,21$	2368	8,63 %
Análisis de humo al 80 % vel. máx.	RPM	Opacidad
$k(m^{-1})=0,20$	2105	8,24 %
Promedio	2366,67	8,89 %

Fuente: elaboración propia

En la tabla 6 se observan los valores obtenidos en la prueba de opacidad dinámica o Lug Down, en función del 100 %, 90% y 80 % de la potencia máxima, respectivamente, los rpm alcanzados y el porcentaje final de opacidad por cada ensayo y su promedio en cada variable.

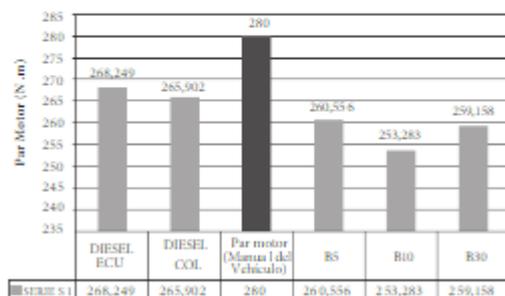
### 3.1 Análisis de resultados

En la figura 5 se aprecian las potencias obtenidas por cada combustible en el banco de pruebas, el combustible ecuatoriano posee la mejor potencia, seguido por el diésel colombiano, mientras que en los biocombustibles el B10 posee el menor valor y el B5 fue el de mayor valor.



**Figura 5.** Gráfico de potencias  
Fuente: elaboración propia

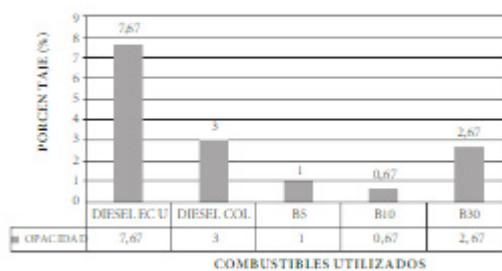
El factor de potencia que resulta en la potencia normal es dado por la norma SAE J1349, en función de los valores del ambiente, que puede variar según las condiciones geográficas como la temperatura, densidad del aire, presión atmosférica, humedad relativa, y determinar así el factor de corrección.



**Figura 6.** Gráfico de par motor vs. combustibles  
Fuente: elaboración propia

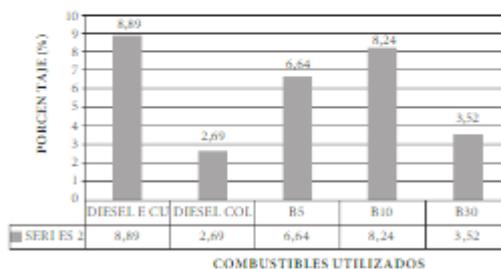
En la figura 6 se aprecia que el par motor más alto está dado en el combustible ecuatoriano, mientras que el biodiésel B5 mostró el valor más alto seguido por el B30, y el B10 obtuvo el valor más bajo entre los biocombustibles. Estos valores están muy por debajo de lo que indica el manual del vehículo con 280 Nm, debido a que los ensayos en el vehículo están dados en condiciones ideales y de ahí radica el valor superior a los obtenidos en el banco de pruebas.

En la figura 7 se observa un pico en el valor de opacidad del diésel ecuatoriano y el valor más bajo estuvo dado en el biodiésel B10; el B30 registró el valor más alto entre los biocombustibles, pero estos valores están por debajo de lo que indica la norma local de 50 % de opacidad para los vehículos a partir del 2000 y de 60 % para los vehículos de 1999 y años anteriores.



**Figura 7.** Gráfico de opacidad estática  
Fuente: elaboración propia

La figura 8 muestra en términos de opacidad dinámica que el diésel ecuatoriano tuvo el valor más alto, mientras que el colombiano tuvo el más bajo de todos los combustibles; para los biocombustibles, el B30 obtuvo el menor valor. Lo anterior denota que estos valores siguen muy por debajo de lo que establece la norma local antes mencionada.



**Figura 8.** Gráfico de opacidad dinámica  
Fuente: elaboración propia

#### 4. Discusión y conclusiones

- En términos de opacidad estática y dinámica, todos los valores obtenidos en los ensayos estuvieron bajo la norma INEN 2207, encargada de limitar los valores máximos permisibles de opacidad para vehículos de combustión interna y encendido por compresión [17], cuyo valor máximo estuvo dado por el combustible ecuatoriano con 7,67 % y los valores más bajos se obtuvieron para el biodiésel B5 y B10 con 1 % y 0,67 %, respectivamente.
- La desventaja de potencia entre el combustible ecuatoriano y el colombiano se ve recompensada al bajar la opacidad considerablemente en ambos ensayos de opacidad estática y dinámica.
- Los valores de potencia y de par motor en el biocombustible B30 fueron los más estables y regulares de todos, ya que no tuvieron picos de valores que difieran entre ensayos realizados.
- Las concentraciones de azufre en partículas por millón (ppm) se vieron reflejadas en el bajo porcentaje de opacidad para el diésel colombiano, lo que denota una mejor calidad del combustible [18].
- Los vehículos diésel tienen una menor pérdida de potencia en la altura, ya que poseen sistemas turbo cargado que mejoran el llenado de aire en los cilindros [14], cuyo valor está en un 1 % por cada mil metros sobre el nivel del mar; aún con biodiésel su valor no disminuyó considerablemente.
- El consumo de biodiésel aumenta en los climas fríos debido a que sus partículas están cohesionadas, de tal forma que en el sistema de combustible debe ingresar más biocombustible para recompensar la pérdida de potencia [19].
- A mayor concentración de mezcla parcial de biodiésel, más se visualiza la disminución del característico humo negro de los vehículos diésel que en los ensayos disminuyó su opacidad satisfactoriamente.

#### Referencias

- [1] F. Narváez, E. Sierra y M. Montenegro, "Modelo basado en redes neuronales para predecir las emisiones en un motor diésel que opera con mezclas de Biodiesel de Higuera", *Informador Técnico*, no. 76, pp. 46-61, enero 2012.

- [2] Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador AEADE. *Anuario 2014*. Quito, Ecuador: Gestión creativa, 2014, p. 24. [en línea]. Disponible en <http://tinyurl.com/h9nx8ug>.
- [3] P. N. Benjumea, J. R. Agudelo y L. A. Ríos, "Propiedades de flujo a baja temperatura del biodiésel de aceite de palma", *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, vol. 42, pp. 94-104, diciembre 2007.
- [4] M. Camps y F. M. Martín, *Los Biocombustibles*. Madrid, España: Mundiprensa, 2004. pp. 65-69.
- [5] NextFuel, "Biodiésel Argentina" [en línea]. Disponible en: <http://biodiesel.com.ar/historia-del-biodiesel>.
- [6] E. Pérez, M. Otero A. Delgado, "Producción de biodiésel a partir de organismos oleaginosos. Una fuente de energía renovable", *ICIDCA*, vol. 46, no. 1, pp. 22-32, 2012.
- [7] G. Knothe, *The Biodiesel Handbook*. Champaign, Illinois: AOCS Press, 2005. pp. 137-139.
- [8] P. Benjumea, J. Agudelo A. Agudelo, *Basic Properties of Palm Oil Biodiesel-Diesel Blends*. Antioquia, Colombia: Elsevier, 2007. pp. 2069-75.
- [9] Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), *Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1489:2012 Derivados del Petróleo. Diésel requisitos; séptima revisión*. Quito, Ecuador: INEN, 2012. [en línea]. Disponible en <https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.ntc.1489.2012.pdf>.
- [10] S. M. Rincón y D. M. Martínez, "Análisis de las propiedades del aceite de palma en el desarrollo de su industria", *Revista Palmas*, vol. 30, n.º 2, pp. 11-24, 2009. [en línea]. Disponible en: [publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/1432/1432](http://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/1432/1432)
- [11] Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), "Legal Office FAOLEX" [en línea]. Disponible en <http://faolex.fao.org/docs/texts/ecu83403.doc>
- [12] SAE International, *SAE J1349. Engine Power Test Code. Spark Ignition and Compression Ignition, Net Power Rating*. Warrendale, 2004.
- [13] G. Zambrano, C. Sosa y A. Hernández, "Emisión de gases en vehículo experimental diésel-biodiésel", *Revista Universidad del Valle*, no. 27, pp. 64-67, 2014.
- [14] W. Pulkrabek, *Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engines* (2da. ed.). Platteville, USA: Prentice Hall, 2003. p. 382.
- [15] Centro de Capacitación e Investigación en Control de Emisiones (CCICEV), Ladrón de Guevara y Toledo (Campus Rubén Orellana), Quito-Ecuador.
- [16] Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), "Public Resource Org", dic., 2012 [en línea].

***Análisis del torque y potencia de un motor de combustión interna con mezcla de etanol-gasolina en diferentes concentraciones y la influencia en el sistema de inyección***

***Analysis of the torque and power of an internal combustion engine with ethanol-gasoline mixture in different forms and the influence on the injection system***

***Análise do torque e da potência de um motor de combustão interna com mistura etanol-gasolina em diferentes concentrações e a influência no sistema de injeção***

Celin Abad Padilla-Padilla <sup>I</sup>

[c\\_padilla@esPOCH.edu.ec](mailto:c_padilla@esPOCH.edu.ec)

<https://orcid.org/0000-0002-2241-5421>

Bolívar Alejandro Cuaical-Angulo <sup>III</sup>

[baquaicala@istx.edu.ec](mailto:baquaicala@istx.edu.ec)

<https://orcid.org/0000-0003-1878-2541>

Luis Fernando Buenaño-Moyano <sup>II</sup>

[lfbuenanio@esPOCH.edu.ec](mailto:lfbuenanio@esPOCH.edu.ec)

<https://orcid.org/0000-0002-2194-4102>

Diego Armando Tacle-Humanante <sup>IV</sup>

[diego.tacle@istcarloscisneros.edu.ec](mailto:diego.tacle@istcarloscisneros.edu.ec)

<https://orcid.org/0000-0002-9287-5298>

**Correspondencia:** [c\\_padilla@esPOCH.edu.ec](mailto:c_padilla@esPOCH.edu.ec)

**\*Recibido:** 22 de mayo del 2021 **\*Aceptado:** 20 de junio del 2021 **\* Publicado:** 05 de julio del 2021

- I. Magíster en Diseño Mecánico Mención en Fabricación de Autopartes de Vehículos, Máster en Ingeniería de Vehículos Híbridos y Eléctricos, Ingeniero Automotriz, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, Carrera de Ingeniería Automotriz, Riobamba, Ecuador.
- II. Magíster en Gestión del Mantenimiento Industrial, Ingeniero Automotriz, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, Carrera de Ingeniería Automotriz, Riobamba, Ecuador.
- III. Magíster en Gestión de Energías, Ingeniero Automotriz, Instituto Superior Tecnológico Cotopaxi, Carrera de Mantenimiento y Reparación de Motores a Diesel y Gasolina, Latacunga, Ecuador.
- IV. Ingeniero Automotriz, Instituto Superior Tecnológico Carlos Cisneros, Carrera de Tecnología Superior en Mecánica Automotriz, Riobamba, Ecuador.

### Resumen

Debido a la gran demanda en el parque automotor y los contaminantes producidos por los mismos, el presente trabajo da conocer la importancia de una mezcla de etanol con gasolina para motores de combustión interna, esto por la disminución de los combustibles fósiles que producen gases contaminantes perjudiciales para el medio ambiente, para esto se ve la necesidad de buscar nuevas fuentes de combustibles como la mezcla del etanol a distintas concentraciones, sin afectar el torque y la potencia generada por el motor, además de la influencia de la mezcla en el sistema de inyección de riel común, ya que para su obtención debe ser de buena calidad. El análisis de torque y potencia se puede dar mediante un dinamómetro o un sensor de presión y que mediante un programa computacional se podrá obtener estos parámetros en tiempo real, entonces la utilización de etanol puro para la combustión es una de las alternativas que ya es aplicada en algunos países. La mezcla de etanol con la gasolina en distinta concentración tendría una influencia en el torque y la potencia ya que varía las propiedades del combustible, obteniendo así un índice de octano muy relevante para la combustión, para ello también se debe tener en cuenta los gases contaminantes producidos por el nuevo combustible que son menos nocivos que utilizar directamente gasolina que es un derivado del petróleo.

**Palabras clave:** Motor de combustión interna; combustibles fósiles; etanol; gases contaminantes; riel común.

### Abstract

Due to the great demand in the automotive fleet and the pollutants produced by them, this work reveals the importance of a mixture of ethanol with gasoline for internal combustion engines, this due to the decrease in fossil fuels that produce harmful polluting gases for the environment, for this there is a need to look for new sources of fuels such as the mixture of ethanol at different concentrations, without affecting the torque and power generated by the engine, in addition to the influence of the mixture in the injection system of common rail, since to obtain it must be of good quality. The analysis of torque and power can be given by means of a dynamometer or a pressure sensor and through a computer program it will be possible to obtain these parameters in real time, then the use of pure ethanol for combustion is one of the alternatives that is already applied. in some countries. The mixture of ethanol with gasoline in another concentration will have an influence on the torque and power since the properties of the fuel vary, thus obtaining a very relevant octane number for combustion, for this,

## **Introducción**

El parque automotor tiene un incremento sustancial en los últimos años, produciendo gases contaminantes que afectan al medio ambiente, debido a esto se considera una alternativa la utilización de una mezcla de gasolina con etanol en distintas proporciones hasta obtener una mezcla donde las emisiones sean lo más bajas posibles, pero no afecte al torque y a la potencia del motor de combustión interna. Para solucionar este problema, en la presente investigación se opta por utilizar una mezcla de gasolina con etanol a diferentes concentraciones en un motor de encendido provocado ya que es una opción factible y viable que nos ayuda a contrarrestar la dependencia por el petróleo.

El etanol es un combustible más utilizado que se obtiene de la destilación de la caña de azúcar, plátano entre otros, la característica es que debe ser tratado hasta obtener un anhídrido para poder ser utilizado en la mezcla con la gasolina, en Brasil una fuente de combustible es etanol puro y no ha causado daños. En base a esto en Colombia se comenzó la utilización de una mezcla de etanol con gasolina en año 2005 cuando se aprobó una ley donde todos los usuarios de automotores deben usar una mezcla de etanol del 10% designándose a la mezcla con la letra E, así la sustancia pura se denomina como E0 y en base a la concentración de etanol en la gasolina se utiliza la designación de E10, E15. Las propiedades físicas-químicas de esta mezcla y el comportamiento en los motores de combustión interna se ven afectados en la calidad de la gasolina, obteniendo datos variantes de las emisiones y contaminantes de los motores. (Masson Ricaurte, 2012)

En la actualidad los transportes impulsados por un motor hacen uso de combustibles fósiles que ya es muy escaso y en la combustión de estos está expuesto a altas temperaturas dentro de la cámara de combustión produciendo gases nocivos para el medio ambiente. La finalidad es determinar el comportamiento del motor de combustión interna con la mezcla gasolina-etanol obteniendo la reducción de la temperatura en la cámara debido a las nuevas propiedades del combustible y así disminuyendo los gases contaminantes pero que el torque y la potencia no se vean afectados, para esto se debe hacer un estudio de la cantidad exacta que se debe introducir de etanol en la gasolina para alcanzar nuevas propiedades en el combustible que favorezcan a la combustión.

## **Metodología**

En los automotores que utilizan carburador, en los colectores de admisión se produce una mezcla de aire-combustible desigual para cada cilindro, por eso la necesidad de asignar un inyector a cada cilindro para que la mezcla sea estequiometría.

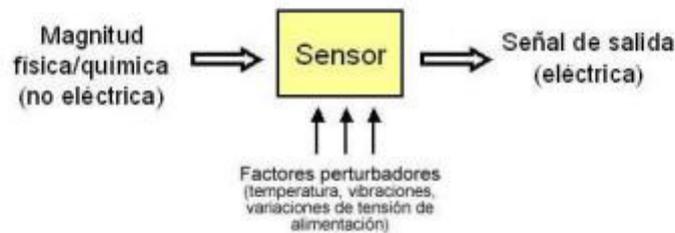
Clasificación de los sistemas de inyección

- Según el número de inyectores
- Según el tipo de inyección
- Según las características de funcionamiento
- Según el lugar donde inyectan.

Partes del sistema de inyección electrónica a gasolina

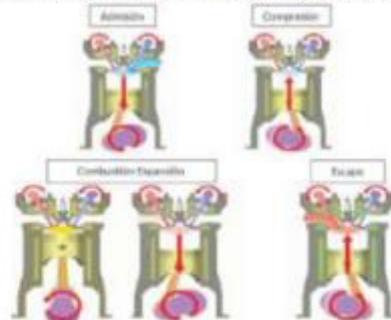
Sensores: Estos convierten magnitudes químicas o físicas en señales eléctricas que son enviadas a la unidad de control. La señal de salida no es considerada solo el voltaje sino también parámetros eléctricos como la resistencia, capacidad e inductancia. En la figura 1 se puede apreciar el funcionamiento básico del sensor. (Cabezas Jaramillo, y otros, 2015)

**Figura 1:** Funcionamiento básico del sensor.



El motor de combustión interna es un conjunto de elementos mecánicos que permite transformar la energía química en mecánica mediante el movimiento alternativo. Para obtener la energía mecánica debe ocurrir 4 fases en donde el pistón efectúa cuatro desplazamientos lineales dentro del cilindro, este movimiento lineal mediante el cigüeñal es convertido en movimiento rotacional. En la figura 2 podemos observar las cuatro fases del proceso de combustión.

**Figura 2:** Funcionamiento del motor de combustión interna.



Par motor: La combustión de aire-combustible en la cámara produce un aumento de presión y temperatura en el motor, esta presión genera una fuerza de empuje sobre el pistón que se desplaza en movimiento lineal donde este movimiento es transformado en un movimiento rotacional por el

cigüeñal que es enviado mediante mecanismos a las ruedas. Entonces podemos decir que es la capacidad que tiene el motor para mover el vehículo con o sin carga en él.

Potencia: Es cuantas veces está disponible el par motor en un determinado tiempo, mientras más se disponga de este para en menos tiempo se puede decir que tendremos mayor potencia.

### Balance energético

En los motores de combustión interna el poder calorífico aportado por la gasolina en la combustión se descompone en trabajo útil, calor disipado por el refrigerante, gases de escape que son evacuados a altas temperaturas, entonces la energía utilizada es baja debido a las pérdidas térmicas. En la tabla 1 se muestra el porcentaje aproximado de pérdidas de energía en un motor de combustión interna. (Castillo Calderón, y otros, 2015)

**Tabla 1: Porcentaje de pérdidas de energía**

Descripción	Porcentaje Aproximado
Perdidas por gases de escape	20-25%
Perdidas por refrigeración	20-25%
Perdidas por radiación calorífica	15-25%

Fuente: (Castillo Calderón, y otros, 2015)

### Combustibles

En la actualidad tradicionalmente se utilizan combustibles derivados del petróleo por los tanto son de origen fósil, las normas que regulan las emisiones hacen que se implementen diversos sistemas para seguir utilizando este combustible.

Debido a la exigencia de los motores MEP y MEC se han desarrollado diversos tipos de combustibles con las características y prestaciones adecuadas para los regímenes de trabajo de cada uno de ellos. En la tabla 2 se da a conocer los tipos de combustibles más utilizados.

**Tabla 2: Aplicación, fase en la que se encuentran y fuentes de los diversos combustibles.**

COMBUSTIBLE	Tipo de Motor		Fase del Combustible		Origen del Combustible	
	MEP	MEC	LIQUIDO	GAS	FÓSIL	OTROS
Gasolina	X		X		X	
Etanol	X		X			X
Metanol	X		X		X	X
MTBE	X		X		X	X
ETBE	X		X			X

Gas Natural Gas	X		X	X	X	
Licuado de Petróleo	X		X		X	
Hidrogeno	X		X	X	X	X
Diésel		X	X		X	X
Biodiesel		X	X			X
GTL		X	X		X	
CTL		X	X		X	
BTL		X	X			X
DME		X	X		X	X
Biogás	X			X		X

Fuente: (Gómez Yáñez, y otros, 2017)

### Propiedades físicas de los combustibles

Destilación: se trata de la volatilidad de combustible, mientras más pesados sean más poder calorífico aportan.

Densidad relativa: la dispersión afecta negativamente a la potencia del motor, un ejemplo tenemos la densidad del etanol  $789,3 \text{ Kg/ [cm]}^3$

Viscosidad y lubricidad: este parámetro es muy importante ya que debe tener una viscosidad suficientemente baja para circular por los conductos de alimentación hasta ser inyectados sin tener pérdidas de cargas excesivas.

Índice de cetano: es la predicción del cetano basado en las propiedades de destilación y densidad del combustible.

El etanol es una sustancia química que tiene características similares que, de la gasolina, se obtiene mediante la fermentación de azúcares y hoy en día este compuesto ha empezado a ser utilizado como combustibles puro o en porcentajes de mezcla con la gasolina.

El etanol puede ser utilizado en cantidades pequeñas o altas para la mezcla, la diferencia es que los vehículos deben ser modificados, pero en la actualidad existen algunas series de automotores que ya tienen sus respectivas modificaciones para soportar las concentraciones del etanol en la gasolina, esta serie de vehículos son denominados Coches Flexibles. En Europa está permitido usar el Etanol como aditivo para los autos. (SoliClima, 2018)

También conocido como alcohol etílico, es un líquido inflamable de olor desagradable. Es un alcohol que contiene aproximadamente el 35% de oxígeno en su composición y puede provocar por sí misma la combustión en un motor, el resultado más relevante de esto es las bajas emisiones de gases contaminantes hacia la atmósfera.

**Tabla 3:** Características fisicoquímicas del etanol anhidro

Características	Valor
Temperatura de ebullición (°C)	78.5
Temperatura de inflamación (°C)	13
Temperatura de autoignición (°C)	363
Densidad relativa (g/cm <sup>3</sup> )	0.79
Solubilidad en agua	miscible
Presión de vapor (mmHg a temp. ambiente)	43
Poder calorífico inferior (KJ/kg)	26,810
Poder calorífico superior (KJ/kg)	29,670
Número de octanaje (RON, MON)	109/98
Relación estequiométrica A/F	9

Fuente: (Camarillo Montero, 2011)

El etanol se obtiene a partir de la destilación de la caña de azúcar, remolacha, cascara del plátano entre otros. Existen diferentes tipos de etanol dependiendo de la cantidad de agua que contenga, el contenido máximo de pureza es del 96%, es por eso, que se ha utilizado en la mezcla con la gasolina para producir la combustión en los países como Brasil y Cuba.

Etanol como Sustituto de la Gasolina, debido a que es fuente de combustible renovable, y es la manera para ya no depender de los combustibles fósiles. Este compuesto tiene un poder calorífico idéntica a la Gasolina por lo que se les puede mezclar en cualquier proporción, pero luego de los análisis ya efectuados en distintos países consideran que el porcentaje ideal es de entre 10 a 15% teniendo una gran influencia en tipo de motor de combustión interna.

Mezclas Etanol – Gasolina, la mezcla proveniente de la gasolina con el etanol se le conoce con el nombre dealconafta, por tener un alto contenido de oxígeno se utiliza en la mezcla para sustituir al éter que es el contaminante del suelo y el agua.

Laalconafta siendo una mezcla de gasolina y etanol es utilizada como combustible alternativo para motores de combustión interna que inicialmente son diseñados para la combustión de los derivados del petróleo. El etanol es el más utilizado para la mezcla con la gasolina ya que es más comercializable entre los alcoholes, aunque también puede hacer una mezcla con el metanol. El uso más común dealconafta aprobado en Colombia es la utilización de un porcentaje del 10% de volumen de etanol, el porcentaje de este compuesto es designado con la letra E acompañado de la concentración, de esta manera se designa de la siguiente forma E para un combustible de Etanol 100% puro, E10 par una concentración de 10% de etanol y 90% de gasolina. En el mundo en el año

2011 más de 20 países utilizan el E10 mientras que en Estados Unidos y Europa se utiliza un E85, y aún más notable es en Brasil ya que se utiliza un E100 es decir etanol puro para los automotores. El E10 es una mezcla del 90% de gasolina con el 10% de etanol juntos hacen un combustible que es utilizado en los automotores de hoy en día sin producir daño en los motores a diferencia de otros combustibles que se tiene que modificar completamente el motor la para la utilización de ellos.

Producción del etanol como combustible: los principales productores de este compuesto son Estados Unidos y Brasil ya que ellos tienen una visión más amplia de la reducción de contaminantes producidos por los motores de combustión interna, seguido a ellos están China, India y Francia.

La producción de etanol en nuestro país Ecuador es mínima ya que no cuentan con las refinerías y equipos necesarios para la destilación óptima para la obtención del Etanol, Ecuador tiene una superficie amplia para la siembra de caña de azúcar, remolacha u otros capaz de producir etanol, pero no lo suficiente para poder compararse con Brasil u otros países.

- 10% etanol: para la utilización con este porcentaje se debe hacer una modificación en caso de ser un sistema a carburación debido a que el alcohol tiene efectos perjudiciales con el aluminio, en el caso de ser un sistema de inyección no hace falta modificar nada.
- 10% - 20%: Se debe sustituir el carburador completamente por el problema que se mencionó anteriormente, en el sistema de inyección se requiere sustituir los inyectores propios del fabricante por unos de acero inoxidable que soporten el contenido de alcohol, de igual manera en el tanque de combustible es necesario poner un recubrimiento de iguales prestaciones, algunos componentes también son necesarios recubrirlos de un material anticorrosivo.
- 20% - 100%: para la utilización de concentraciones superiores a 20% se requiere hacer una modificación completa del motor empezando por el carburador, tanque de combustible entre otros componentes.

Efecto en el Octanaje: El Etanol como alcohol puro es una sustancia con un octanaje muy alto de aproximadamente 117 octanos dependiendo del país en donde sea refinado, entonces es utilizado en mezclas con los combustibles fósiles para aumentar el octanaje y obtener una potencia mayor en los motores de combustión interna. Además, la utilización del etanol es para reducir la llamada penalidad del petróleo crudo.

En la tabla 4 se dará a conocer el nivel de octanaje que aumenta con las distintas concentraciones de Etanol en la Gasolina.

**Tabla 4:** Octanaje en función de la concentración de etanol

Porcentaje de Etanol en la Mezcla	Numero de Octano	Variación de Octanos
0	72,5	0
5	74,8	2,3
10	76,8	1,8
15	78,5	1,9
20	80,3	1,8
25	81,4	1,1

Fuente: (Alvarez, y otros, 2017)

Los datos nos dan a conocer según la experiencia brasileña que hay un aumento significativo entre los valores del 10 al 20% de Etanol en la Mezcal, este aumento es de aproximadamente 1,8. (Alvarez, y otros, 2017)

Los motores de combustión interna es un conjunto de mecanismo que con la utilización de un combustible producen un trabajo, pero para que esto pase el combustible a utilizar para la combustión debe ser de óptima calidad y tener un octanaje óptimo como para poder mover todos los elementos y agregar la potencia adecuada. Todos estos motores tienen varias formas de inyectar el combustible como los autos antiguos poseen solo carburadores siendo estos vehículos de gran consumo de combustible por el simple hecho de ser mecánicos y tener un índice de error muy grande.

En la actualidad los vehículos vienen equipados con un sistema de inyectores y estos sistemas son conocidos por la precisión de pulverización que a su vez es controlada por una computadora llamada ECU esta recibe señales de diferentes sensores y actuadores para controlarla correcta cantidad de combustible a inyectar.

Estos autos de hoy en día tienen un sistema de Riel Común que controla mediante una bomba de alta presión la cantidad exacta a ser pulverizado.

Combustión estequiométrica: Para que la combustión sea rápida y completa se debe tener una mezcla de 14.7:1 esto quiere decir que 14.7 gramos de aire se deben mezclar con 1 gramo de gasolina, a esta mezcla se denomina estequiométrica que también tiene un coeficiente lambda cuyo valor es 1

La relación estequiométrica tiene una variación en cada uno de los combustibles empleados ya sean puro o combinados, en la tabla 5 se da a conocer esta relación.

**Tabla 5:** Relación estequiométrica de diferentes combustibles

<b>Combustible empleado</b>	<b>Relación estequiométrica</b>
Gasolina pura	14.7/1
Etanol puro	9/1
Metanol puro	6.4/1
Gas Natural	17.2/1
Propano	15.5/1
Diesel	14.6/1
Hidrogeno	34/1

Fuente: (Mirian, Febrero 2015)

Mezcla rica: es cuando el valor de lambda es menor a 1, mezcla pobre: son cuando los valores de lambda es mayor a 1, esto indica un exceso de aire en la admisión.

Estas pruebas de la sonda lambda se lo puede hacer con un analizador de gases, estos analizadores captan la presencia de los distintos gases que salen del tubo de escape y nos arroja el dato de lambda y según este dato se analiza para luego hacer las respectivas modificaciones en el sistema que se vea afectado, para ellos también se recurre al escáner que nos da los parámetros básicos del motor, estos parámetros se compara con el manual del fabricante y de igual manera se analiza los componentes que estén afectados para luego sustituirlos, calibrarlos o hacer alguna modificación en el componente.

Luego de analizar los gases existentes se debe comparar con la norma de regulación de gases contaminantes en caso de no hacerlos el sistema de matriculación no tendrá a estos vehículos aptos para la circulación, puesto a que su contaminación es mucha y daña al medio ambiente y por consecuencia al ser humano, estos gases tóxicos causan alergias, infecciones, cáncer a la piel entre otras enfermedades que afectan a la salud a corto o largo plazo.

Entonces la manera más eficiente para reducir gases contaminantes con la utilización de la mezcla gasolina etanol es con una concentración de 10% de volumen del alcohol, así los gases contaminantes se verán reducidos en comparación con la utilización de combustibles fósiles.

La gasolina es un derivado del petróleo y es utilizado como un combustible para los motores de combustión interna provocados por chispa, se obtiene en una refinería su color es rojo, pero mediante tratamientos puede asumir diferentes colores debido a su octanaje.

Este combustible en estado puro utilizado para la combustión produce gases contaminantes perjudiciales para el medio ambiente y para la salud del ser humano. Al ser un producto químico sometido a altas temperaturas produce gases como el monóxido de carbono, Dióxido de carbono entre otros que son sustancias cancerígenas o hasta pueden producir alteraciones genéticas.

La ventaja de utilizar Etanol es que se introduce más oxígeno por lo tanto la combustión será más completa.

Las emisiones de los gases contaminantes son la cantidad de gases que se producen por la combustión hacia la atmosfera, por lo general los gases más comunes emanados al ambiente son: Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), e hidrocarburos no combustionados (HC).

Dentro de la emanación de gases contaminantes existen normas que regulan las emisiones, a este factor se le denomina lambda ya que controla que la mezcla sea estequiométrica, porque un lambda mayor o menor a 1 las emisiones de gases son muy elevadas y se encuentran fuera de las normas internacionales. (Mantilla, 2010)

Se han creado políticas en varios países para la utilización obligatoria del etanol en la gasolina con una concentración del 10% debido a que no requieren ninguna modificación mecánica en el motor, algunos autores afirman que los gases contaminantes son mayores que la utilización de la gasolina pura, esta controversia no ha permitido que algunos países opten por la vi del desarrollo energético.



**Elaboración** de la mezcla etanol – combustible

En esta sección se determina las propiedades físicas-químicas del nuevo combustible, así como las diferentes concentraciones en la mezcla.

Para la elaboración se utiliza un etanol con una destilación de 4% de contenido de agua que viene a ser el mejor alcohol obtenido en la refinación,

### **Características de las mezclas**

Miscibilidad: para ello se utilizaron vasos de precipitación donde se mezclaron el etanol y la gasolina con su debida proporción y se introdujeron a un baño térmico de 35°C para evitar la separación de las fases esto se lo hace en un tiempo de 5 minutos luego se agita suavemente y se observa que no haya una separación de fases, luego se vuelve a introducir a un baño térmico por cinco minutos para luego ya ser utilizado como un combustible para los motores de combustión interna

Relación estequiométrica: para esta prueba se basa en la utilización de distintos métodos que se basa en la medición de los gases de escape que nos lleva a conocer la característica principal que es el lambda.

Olor y aspecto físico: para esta prueba se observó detenidamente la mezcla, así con cada sustancia por separado para ver la diferencia y la similitud. En la prueba de olor únicamente se inhala cada sustancia (etanol, gasolina y la mezcla), el objetivo de esto es poder identificar el combustible solo con el olor. (Israel, 2012)

### **Resultados y discusión**

#### **Pruebas de caracterización fisicoquímica**

Miscibilidad: después de introducir al baño térmico a una temperatura de 35°C no se observó ninguna separación en las fases de la mezcla, por lo que queda listo para ser utilizado en motores de combustión interna.

Relación estequiométrica: la cantidad de agua presente en la mezcla nos da más oxígeno al momento de la combustión por lo que se realiza de manera completa, esto se ve reflejado en la disminución de gases contaminantes producidos por los motores de combustión interna.

Olor y aspecto físico: todas las mezclas presentaron el color característico de la gasolina, por otro lado, el olor se ve afectado cuando la concentración es más del 20% debido al alto contenido de alcohol. (Maldonado Sarmiento, 2013)

### Parámetros de Operación

Consumo de Combustible: El consumo de combustible aumenta en los motores de combustión interna que no hayan sido modificados, esta variación es del 1 a 6% dependiendo del tipo de control de inyección. Se dice que el aumento del consumo de combustible es directamente proporcional al porcentaje de etanol que haya en la mezcla.

Potencia: Con la utilización de la mezcla la potencia no se ve muy afectada, debido a que la pequeña pérdida presente en los motores es compensada con el consumo de combustible. (Mezcla Gasolina-Etano en Motores de Combustion Interna en Colombia, 2016)

Tabla 6: Resultados de los experimentos

Potencia (HP)	Torque (Nm)	Velocidad (rpm)	% de Etanol
35,07	99,90	2500	5
53,01	107,86	3500	5
37,60	105,96	2500	10
58,87	119,79	3500	10
41,19	117,86	2500	15
58,61	119,27	2500	15
38,64	119,27	3500	20
54,32	110,53	2500	20
42,25	119,46	2500	0
57,7	116,19	3500	0

Fuente: (Alvarez, y otros, 2017)

Según los resultados que se muestran en la tabla 6, tenemos una mayor Potencia con la utilización de Etanol de un 10 y 15%, que estos valores son buenos ya que no se va a hacer una inversión en modificaciones del motor.

La mezcla de Etanol afecta de manera considerable a la vida del motor por ser el Etanol un alcohol muy corrosivo, y debido al tiempo las partículas de esta sustancia se pegan en las paredes de los elementos que entren en contacto con la mezcla. (Zerdar, y otros, 2006)

Luego de un análisis se puede decir que la calidad del combustible mejora con la adición del 10% de volumen de Etanol a la gasolina, además con esta mezcla se logra la reducción del contenido de azufre, aromáticos y por supuesto lo que es interesante la reducción de gases contaminantes que es un beneficio para el medio ambiente. La destilación que se hace para esta obtención es muy importante ya que deben mantenerse en los rangos permitidos. La cantidad de agua presente en la

gasolina es menor a la mezcla gasolina-etanol ya que en la mezcla se junta el contenido de agua del Etanol además del porcentaje de agua que haya absorbido del medio ambiente en la elaboración de la mezcla, el contenido de agua debe ser hasta los 1500 o 2000 ppm como máximo para evitar la separación de fases de los dos compuestos. (Estudio de la Mezcla de la Gasolina con 10% de Etanol Anhidrido, Evaluacion de Propiedades Fisicoquimicas, 2002)

La mezcla gasolina – etanol con un porcentaje del 10% de concentración de alcohol aporta una corrosión igual a la gasolina base ya que el etanol tiene un poder calorífico menor, por lo tanto, la corrosión de la mezcla es muy baja. (Estudio de la Mezcla de la Gasolina con 10% de Etanol Anhidrido, Evaluacion de Propiedades Fisicoquimicas, 2002)

## **Conclusiones**

Se recopiló bibliografía de distintos artículos científicos, documentos distintas marcas de vehículos, tesis de posgrado, tesis de maestrías, obteniendo suficiente información para redactar el presente trabajo.

Para las concentraciones de etanol hasta un 20% las modificaciones en un sistema a carburación se requiere cambiar el carburador y en el sistema de inyección se requiere cambiar los inyectores y demás componentes por elementos con revestimiento que soporten la degradación del etanol, para una concentración de más del 20% se requiere la modificación completa del motor de combustión interna.

La mezcla de etanol con la gasolina provoca que la temperatura de admisión disminuya considerablemente esto con una concentración del 10% al 20%, esta particularidad hace que la eficiencia volumétrica del motor aumente, debido a las bajas temperaturas después de la combustión los gases nocivos que emana se ven reducidos en una gran proporción.

El Etanol puede ser considerado como una fuente de energía renovable del futuro ya que es un combustible que reduce las emisiones contaminantes producidas por la combustión, esto también por buscar ser independientes de los combustibles fósiles, hoy en día ya se hace muchos estudios para obtener el Etanol de la basura, algas entre otras luego de un debido proceso de fermentación y destilación. El objetivo es no modificar el motor, debido a que esta modificación es muy costosa, entonces ya que el poder calorífico del Etanol es similar a la Gasolina en la actualidad solo se busca el porcentaje ideal para mezclar estos dos combustibles.

## **Referencias**

1. Alvarez, José, Saenz, Carlos y Torres, Lilita. 2017. Utilización de Etanol en un Motor a Gasolina. D.F, Mexico : s.n., 12 de Noviembre de 2017.
2. Cabezas Jaramillo, Willian Eduardo y Moyano Montero, Marco Javier. 2015. "Análisis de torque, potencias consumo de combustible y emisiones contaminantes a diferentes concentraciones de gasolina/etanol en un banco de pruebas motor corsa 1.6 LT. de la C.I.A". [En línea] 2015. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/5637>.
3. Camarillo Montero, Jesús Antonio. 2011. "Estudio de la combustión de un motor monocilíndrico de ignición alimentado con mezclas gasolina-etanol anhídrido e hidrato a

4. Carlos, R. Yamid, C. y Luz, M. 2015. Effects of ethanol-Gasoline Blends, Compression Ratio and Cylinder Head Material on Engine. Colombia : s.n., 2015.
5. Castillo Calderón, Jairo Darío , Rojas Reinoso, Edgar Vicente y Martínez Coral, Jorge Enrique . 2015. DETERMINACION DEL TORQUE Y POTENCIA DE UN MOTOR DE COMBUSTION INTERNA A GASOLINA MEDIANTE EL USO DE BUJIA CON SENSOR DE PRESION ADAPTADO Y APLICACIÓN DE UN MODELO MATEMATICO. [En línea] 2015. [http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S1390-01292017000100049&lng=pt&nrm=iso](http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1390-01292017000100049&lng=pt&nrm=iso).
6. Contreras, Carlos. 2000. Evaluación de Mezcla Gasolina Etanol en Vehículos Automotores con Diferentes Tecnologías. Mexico : UNAN, 2000.
7. Estudio de la Mezcla de la Gasolina con 10% de Etanol Anhidrido, Evaluacion de Propiedades Fisicoquimicas. Torres, Jaime, y otros. 2002. 12 de Noviembre de 2002, Scielo.
8. Gómez Yáñez, Christian René y Vargas Tipán, Lenin Marcelo. 2017. Medicion y evaluacion de las emisiones de material particulado y opacidad en una flota de vehiculos con motor ciclo diesel, utilizando una mezcla de diesel con 20% de queroseno. [En línea] 2017. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/17596>.
9. Israel, G. 2012. Biocombustible: conversion de sistema de alimentacion de un motor de gasolina a etanol. Quito, Pichincha , Ecuador : s.n., 10 de Octubre de 2012.
10. Maldonado Sarmiento, Luis Enrique. 2013. Pruebas de rendimiento y comparacion de las

## Punto máximo de torque

Para saber [cómo ahorrar combustible](#) con el torque, debes saber que cada auto tiene un **punto de máximo torque**, es decir un punto de máxima fuerza que puede hacer el motor para mover los pistones, bielas y cigüeñal.

Este punto se conoce como **rango útil de par motor**, otra forma de llamar al torque. Se produce cuando el proceso de combustión se realiza de forma óptima, obteniendo la mayor potencia con el menor consumo de combustible.

**El punto máximo de torque** se relaciona con las RPM, es decir de lo rápido que se realice el proceso de combustión. Cuando las RPM son demasiado lentas, no llega suficiente combustible a los cilindros y la potencia es baja, conforme este proceso se acelera más combustible llega al cilindro y aumenta la fuerza en los pistones, es decir aumenta el torque y la potencia hasta **llegar a un punto óptimo**.

De seguir aumentando las RPM, simplemente no habría suficiente tiempo para que la combustión se hiciera de forma óptima y con ello se obtuviera la mayor potencia.

Ahora en términos prácticos, **puedes ahorrar combustible al conducir**, si conoces a qué RPM tu auto alcanza su punto máximo de torque. Ésta información la puedes encontrar en tu manual de usuario, expresado así: *385 Nm @ 3,400 rpm* o bien *385 lb-pie @ 3,400 rpm*.

Con esta información sabrás, **a qué RPM es recomendable que conduzcas** tu auto para mejorar su rendimiento. Recuerda que en cada velocidad las RPM bajan y debes acelerar más para encontrar ése punto máximo e torque.

### **De qué depende el torque de un auto**

El torque del motor lo determina el diseño del motor, de forma precisa la disposición y calibración de los discos del cigüeñal, la resistencia del motor, la eficiencia en la combustión del combustible y hasta la aerodinámica del auto.

### **Cómo calcular el torque de un motor**

El torque se puede calcular de forma muy simple por medio de un dinamómetro en donde se acelera el auto y los cilindros aplican una resistencia a las llantas. Su capacidad de continuar en la misma velocidad determina el torque del motor.

### **CARACTERIZACIÓN DE LAS CURVAS DE PRESIÓN, PAR Y POTENCIA DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA MONOCILÍNDRICO BAJO DIFERENTES REGÍMENES DE OPERACIÓN**

**DANIELA MARÍN ARIAS**

**MIGUEL TORO LADINO**

## CAPÍTULO 7: CONSIDERACIONES FINALES

### 7.1 CONCLUSIONES

- Se hizo una revisión bibliográfica de los conceptos teóricos sobre motores de combustión interna y sus parámetros de operación más relevantes, comprendiendo los principios generales de funcionamiento de los motores de combustión interna, así como su historia y su importancia en el mundo y la función que cumplen las curvas características de los mismos.
- Se estudiaron diferentes técnicas de pre-procesamiento y procesamiento de señales, revisando en la bibliografía los conceptos teóricos generales sobre el tratamiento de datos experimentales, con el fin de aplicar las técnicas necesarias para el análisis de los datos adquiridos. Para la etapa de pre-procesamiento se aplicaron técnicas de normalización y segmentación a las señales de velocidad y presión. Se concluye que realizar un correcto pre-procesamiento de los datos proporciona un mejor manejo y análisis de las señales experimentales en la etapa de procesamiento.
- Se desarrolló un modelo con base en datos para la generación de las curvas características de potencia, par y consumo del motor de combustión interna evaluado. Se obtuvieron dichas curvas para el motor funcionando con gasolina extra (relación de compresión de 11) y gasolina corriente (relación de compresión de 9), a velocidades de 1200, 1800, 2400, 300 y 3500 con carga alta y baja. A partir de curvas representativas obtenidas, se pudo relacionar el comportamiento del par, consumo y potencia del motor para cada uno de los puntos de operación evaluados. Se concluye que el motor presenta una mayor potencia a mayor velocidad de rotación del cigüeñal y mayor carga.
- Se observa en los anexos que el consumo absoluto fue mayor en el motor usando una relación de 9:1 que una relación de 11:1, sin embargo, estos resultados no pueden ser comparados debido a que las condiciones en que se tomaron los datos fueron diferentes.
- Finalmente, se desarrolló un modelo con base en procesamiento de señales y técnicas estadísticas para determinar y analizar el comportamiento de la presión en la cámara, la cual se relacionó con el ángulo del cigüeñal. Por medio de las técnicas utilizadas, se pudieron obtener parámetros característicos del comportamiento de la presión, tal como: inicio de la combustión, presión más alta alcanzada y variación de presión durante un ciclo de combustión. Se concluye que se debe usar una técnica más precisa para caracterizar la

67

---

presión en la fase de expansión, ya que es allí donde se presenta una desviación mayor.

## 7.2 RECOMENDACIONES

Con el propósito de mejorar los modelos y la metodología planteada en el presente proyecto, se presentan a continuación algunas recomendaciones y sugerencias, para el desarrollo de futuros trabajos:

- El laboratorio de máquinas de combustión interna requiere una mejor organización y una mejora del sistema de evacuación de los gases producidos por los motores porque estos dificultan la permanencia de las personas en el laboratorio para la realización de proyectos.
- Se recomienda que los estudiantes adquieran más habilidades con respecto al manejo del *software* para la adquisición y procesamiento de señales experimentales.
- Se sugiere realizar una investigación en la que se desarrolle un modelo con base en datos que contenga una técnica más precisa para caracterizar la presión en la fase de expansión, ya que es allí donde se presenta mayor variación.
- Se recomienda que se desarrolle un modelo para la construcción del diagrama indicado (P-v) para el motor evaluado en este trabajo, a partir de la base de datos ya obtenida.
- Se recomienda volver a realizar la base de datos, estandarizando todos los puntos de operación.