

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y AMBIENTALES

Trabajo de Fin de Carrera Titulado:

**“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ENERGÉTICO Y AMBIENTAL DE
UN MOTOR DE ENCENDIDO PROVOCADO BAJO DIFERENTES TIPOS DE
GASOLINAS”**

Realizado por:

FAUSTO JAVIER LLERENA RENGEL

Director del proyecto:

Ing. Edilberto Antonio Llanes Cedeño, PhD.

Como requisito para la obtención del título de:

**MASTER EN ECOEFICIENCIA INDUSTRIAL CON MENCIÓN EN EFICIENCIA
ENERGÉTICA**

Quito, 14 de agosto de 2019

DECLARACIÓN JURAMENTADA

Yo, FAUSTO JAVIER LLERENA RENGEL, con cédula de identidad # 1722637780, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado a calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.



FIRMA

1722637780

DECLARATORIA

El presente trabajo de investigación titulado:

“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ENERGÉTICO Y AMBIENTAL DE UN
MOTOR DE ENCENDIDO PROVOCADO BAJO DIFERENTES TIPOS DE GASOLINAS”

Realizado por:

FAUSTO JAVIER LLERENA RENGEL

como Requisito para la Obtención del Título de:

MASTER EN ECOEFICIENCIA INDUSTRIAL CON MENCIÓN EN EFICIENCIA
ENERGÉTICA

ha sido dirigido por el profesor

EDILBERTO ANTONIO LLANES CEDEÑO

quien considera que constituye un trabajo original de su autor

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'E. Llanes', is positioned above the word 'FIRMA'.

FIRMA

LOS PROFESORES INFORMANTES

Los Profesores Informantes:

PhD. PAOLO SALAZAR ALVEAR

MSc. JULIO CESAR LEGUISAMO MILLA

Después de revisar el trabajo presentado,
lo han calificado como apto para su defensa oral ante
el tribunal examinador



FIRMA



FIRMA

Quito, 14 de agosto de 2020

DEDICATORIA

A Dios por permitirme tener la sabiduría y salud para afrontar este reto.

A mis padres y hermanos que siempre estuvieron a mi lado durante todo el tiempo que he
dedicado a mis estudios.

A mis amigos que hicieron de este reto una experiencia única e irrepetible en la vida.

A mis profesores quienes supieron llegarnos con sus conocimientos.

Al amor de mi vida Andrea que me sacó adelante de un bache muy profundo y me ayudó a
concretar este reto.

A ese ángel que está a punto de ver la luz de este mundo.

AGRADECIMIENTO

A mis profesores y compañeros de la universidad por ser parte de este reto de la vida.

A mi tutor de tesis quien me apoyó durante este último lapso de la maestría sin el cual no
hubiera podido graduarme.

A mi familia por siempre apoyarme en cada decisión que he tomado en la vida.

A todos aquellos que me acompañaron en este proceso.

A mi esposa estar siempre a mi lado.

1. INTRODUCCIÓN	11
2. MÉTODO	23
2.1 Características del vehículo de prueba	27
2.2 Pruebas Dinámicas Ciclo Inspección y Mantenimiento IM240	28
2.2.1 Equipo LPS 3000	28
2.2.2 Analizador de gases MGT5	29
2.2.3 Caja de Interfaces.....	30
2.2.4 Pinza Trigger.....	31
2.2.5 Sonda de Temperatura de Aceite	31
2.2.6 Sonda de Gases de Combustión.....	32
2.2.7 Ventilador de Aire Refrigerante.....	32
2.2.8 Extractor de Gases.....	33
2.2.9 Tanque de Presión de Combustible.....	33
2.2.10 Probeta de 1000ml.....	34
2.2.11 Matraz Erlenmeyer de 5000ml.....	34
2.3 Pruebas Dinámicas Ciclo Inspección y Mantenimiento IM240	35
2.3.1 Protocolo de Pruebas con el Ciclo IM240.	35
2.4 Pruebas de Torque y Potencia con Dinamómetro de Chasis.	37
2.4.1 Protocolo de Pruebas de Torque y Potencia con Dinamómetro de Chasis.....	38
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	40
3.1 Resultados de Torque y Potencia Obtenidos	40
3.2 Análisis de los resultados para la Potencia.....	40
3.3 Análisis de los resultados para el Torque	42
3.4 Resultado de Emisiones Obtenido	43
3.5 Análisis de los resultados para las emisiones	44
4. CONCLUSIONES	46
5. REFERENCIAS	47

Resumen:

Debido al impacto del transporte en la eficiencia energética de la industria, este trabajo realiza el estudio de la afectación en la respuesta de torque, potencia y emisiones al variar el combustible utilizando los tipos de gasolinas que se comercializan comúnmente en la sierra ecuatoriana como son la Extra, Super y Super G-Prix. Para realizar este análisis se utiliza un vehículo tipo SUV de la marca Chevrolet modelo Tracker del año 2018, modelo similar a los vehículos que en la actualidad son los más populares, por ende, la mejor o peor eficiencia causa un impacto directo a la economía, a la cadena de producción y al medio ambiente. Además, en general, estos tipos de gasolinas son usados en la mayoría de vehículos particulares que circulan en el país. El vehículo incorpora un motor de combustión interna de inyección directa y de tipo atmosférico. En las pruebas se usa un equipo de dinamómetro de chasis con rodillos. Se aplica la prueba de ruta IM240 en el análisis de consumo de combustible y el estudio de las emisiones que genera el vehículo; y la prueba de torque y potencia para observar el desempeño del vehículo. Para cada una de las pruebas se realizan tres repeticiones usando cada uno de los tres tipos de combustible. Posteriormente, se hace un análisis estadístico de los datos obtenidos. Con estos resultados se concluye que el combustible que mejor resultado ofrece en general es la gasolina Super y que la gasolina Super G-Prix ofrece resultados similares en términos de eficiencia energética y de impacto ambiental medidos a través de resultados de potencia de 96,6 kW de la gasolina Super frente a los 92,4 kW de la gasolina Extra y con emisiones de alrededor de 1g/km de CO para gasolina Super G-Prix frente a los 1,8 g/km para la gasolina Extra aplicando la prueba dinámica de ruta IM240.

Palabras Clave: gasolina, emisiones, torque, potencia, IM240, eficiencia

Abstrac:

Because of the impact of the transport in the energetic efficiency of the industry, this work studies the torque, power and emissions affectation due to change the fuel by using the kinds of gasoline commercialized in the Ecuadorian Sierra as are the Extra, Super and Super G-Prix. In order to perform this analysis, a 2018 Chevrolet Tracker model SUV type vehicle is used, this model is similar to the ones that actually are the most popular, thus the better or worse efficiency causes an direct impact in the economy, to the production chain and the environment. In addition, in general, these kinds of gasolines are used for the most of vehicles in this country. The vehicle incorporates an atmospheric direct injection internal combustion engine. In the tests it is used a rolls chassis dynamometer. It is applied the IM240 road test to analyze the gasoline consume and study the emissions generated by the vehicle; and the torque and power test to observe the vehicle performance. Three repetitions are done for every test using the three kinds of gasoline. Later, a statistical analysis is done with the collected data. The results is possible to conclude that in general the best result is achieved by the Super gasoline and that the Super G-Prix gasoline offers similar results in terms of energetic efficiency and environmental impact measured by the value of 96,6kW of power in contrast with the 92,4kW obtained when the Extra gasoline is used. When the IM240 road dynamic test is applied, the emissions of CO are around 1g/km by using the Super G-Prix gasoline in contrast with the 1,8g/km obtained when the Extra gasoline is used.

Key words: gasoline, emissions, torque, power, IM240, efficiency.

1. INTRODUCCIÓN

Con la evolución de la industria y tecnología hacia la implementación de procesos más eficientes tanto energética como económicamente ha generado en el ámbito del transporte la imperiosa necesidad de tener sistemas que cumplan estos parámetros y que sean amigables con el medio ambiente. Esto ha provocado que en todo el mundo se emitan leyes para evitar la generación sin control de contaminantes por los motores de combustión interna a la atmósfera, motivo por el cual el desarrollo de tecnologías innovadoras por parte de los fabricantes como vehículos híbridos y puramente eléctricos es cada vez mayor. Sin embargo, debido a que estos nuevos tipos de tecnología no llegan a satisfacer las expectativas del público en general, se ha mantenido el uso del motor de combustión interna mismo que se lo ha mejorado colocando elementos que generan eficiencia, los fabricantes han advertido la necesidad de desarrollar nuevas tecnologías manteniendo el uso de combustibles fósiles, como la gestión térmica, la reducción de fricción, la compresión variable, la implementación de la inyección directa entre otros (Redacción Interempresas, 2018), con el objetivo de cumplir estas normas (J. Leguísamo Milla et al., 2019). La variación en el funcionamiento del motor de combustión interna depende de algunos factores como por ejemplo el tipo de combustible que, aparte de la degradación temprana de elementos internos del motor por el uso de combustibles de baja calidad, afectará en el desempeño del vehículo distintos tipos de gasolinas utilizados en la sierra ecuatoriana (Rocha Hoyos et al., 2019).

El análisis del funcionamiento de un motor de combustión interna a gasolina de un vehículo común en el mercado ecuatoriano permite tener un punto de vista claro de cómo los diferentes tipos de combustibles que se comercializan en Ecuador afectan a la eficiencia energética que puede llegar a tener el vehículo a analizar. Hay que señalar que el último balance energético del Ecuador publicado por el Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables del año 2018 muestra que el transporte tiene una demanda energética del 48.8% del

total de los 94 millones de BEP del año en cuestión y que el transporte individual abarca el 47% del porcentaje antes mencionado (Insituto de Investigación Geológico y Energético, 2018). Esto significa que directamente cualquier análisis que permita generar eficiencia energética en el transporte en el país genera una disminución en el pastel de la demanda para este sector. Esto a la larga no solo afecta al bolsillo del propietario del vehículo, sino que también a toda la cadena de producción puesto que los resultados aquí obtenidos se pueden extrapolar hacia otros vehículos, tanto particulares como los utilizados por empresas, ya que no hay diferenciación del tipo de combustible que utilicen.

Para analizar la eficiencia del motor existen varios fenómenos que se debe tener en cuenta como por ejemplo aquellos que suceden a lo largo de la preparación de la mezcla del combustible tales como el movimiento en el cilindro de flujo, diseño del pistón, la ubicación del inyector, la presión de inyección, características de pulverización, la interacción de combustible con la pared, salto de chispa, etc (J. Leguísamo Milla et al., 2019). Además, las exigencias del conductor que obliga al motor y a la ECU del vehículo a trabajar en diferentes modos de trabajo en función de la velocidad y carga. Estos modos son los que establecen las características que guían el plan de trabajo del motor y la proporción de la mezcla aire-combustible que se encuentra en el cilindro poder ser estratificada, homogéneo y homogéneo pobre (Seong et al., 2014).

El motor de combustión interna cumple con el ciclo de Otto, este proporciona energía mecánica por medio de la energía química generada por un combustible que se quema dentro de la cámara de combustión (Urbina Guzmán, 2016). El funcionamiento del mismo consiste en la quema de la mezcla de aire comprimido y combustible dentro de una cámara de combustión, con la finalidad de incrementar la presión y generar un movimiento lineal alternativo del pistón. Este es transmitido a través de la biela al eje principal del motor o cigüeñal, donde se transforma

en movimiento rotativo, mismo que es transmitido a los mecanismos de transmisión de potencia (caja de velocidades, ejes, diferencial, etc.) y finalmente a las ruedas (Urbina Guzmán, 2016).

A través del proceso de la combustión de la mezcla, el motor envía energía cada 4 tiempos. A continuación, examina los 4 tiempos de este proceso que se pueden observar en la Figura 1.

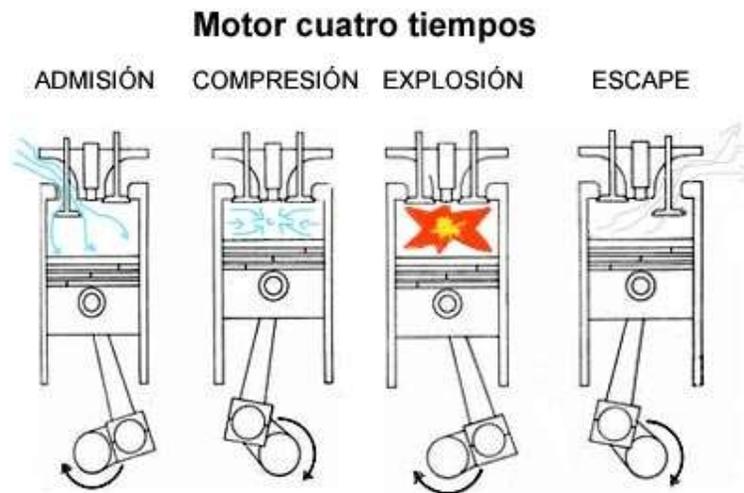


Figura 1 Fase de un motor de ciclo Otto(4.1 El Motor de 4 Tiempos - LAS MÁQUINAS TÉRMICAS, n.d.)

- Admisión (1): es cuando la mezcla de aire-gasolina ingresa a la cámara. El pistón se mueve del punto muerto superior (PMS) al punto muerto inferior (PMI). Esto incrementa el volumen para permitir el ingreso de la mezcla.
- Compresión (2): La válvula de admisión es cerrada, y el pistón se mueve hacia arriba a la parte más alta de la cámara. Esto comprime la mezcla de aire-combustible. Al final de este tiempo, una bujía provee a la mezcla comprimida la energía necesaria para el inicio de la combustión.

- Explosión (3): Mientras el combustible alcanza el fin de la combustión, el calor liberado de la quema de los hidrocarburos incrementa la presión la cual causa que el gas empuje hacia abajo el pistón y cree energía a la salida.
- Escape (4): Mientras el pistón alcanza el final, la válvula de escape se abre. El gas de escape remanente es empujado hacia afuera por el pistón mientras este regresa hacia arriba.

El funcionamiento del motor de combustión interna viene acompañado de varios tipos de alimentación del sistema previamente explicado. Entre estos se tiene (CarBikeTech, n.d.):

- Alimentación por gravedad
- Alimentación presurizada
- Sistemas de vacío
- Sistemas de bomba
- Sistemas de inyección de combustible

Como se ha mencionado, los motores a gasolina utilizan en sistema de inyección de combustible que es el sucesor del carburador. Esta tecnología dosifica mejor el combustible y regula las diferentes fases de funcionamiento, considerando el tipo de manejo del conductor y las emisiones que no sobrepasen las normativas ambientales. El objetivo es conseguir la mezcla ideal entre aire y gasolina para conseguir una combustión total en el cilindro, misma necesidad que hecho que el suministro del combustible haya evolucionado desde el uso del carburador hasta la inyección electrónica actual.

Este proceso inicia en el tanque de gasolina, de donde se extrae utilizando una bomba eléctrica. Más adelante pasa por un filtro hasta llegar a las galerías, en donde la presión es estabilizada por medio de un regulador. Con el combustible, desde la galería principal, son alimentados los inyectores del cilindro y de arranque en frío. Depende del aire que aspira el motor la cantidad de gasolina que se inyecta, el mismo que se mide por el caudalímetro de

trampilla y la sonda de temperatura. Esta información llega a la unidad de control que calcula el tiempo de apertura de los inyectores en cada uno de los ciclos y determina la frecuencia de la apertura de acuerdo a la velocidad del motor.

El acelerador ocasiona la apertura y cierre del interruptor de mariposa y permite cortar la inyección en las retenciones del motor. Con esto se disminuye el consumo y los gases contaminantes. Además se puede usar un sensor de oxígeno que es colocado en la salida de los gases de escape conocida como sonda lambda que en conjunto con el acelerador permite obtener la mezcla estequiométrica de combustible y aire corrigiendo la entrada de combustible (*INYECCIÓN DE COMBUSTIBLE (Sistema) | Partes y Su Funcionamiento, n.d.*).

La eficiencia térmica de estos motores a gasolina variará dependiendo en el modelo y diseño del vehículo. Sin embargo, en general, los motores a gasolina convierten el 20 % del combustible (energía química) a energía mecánica en el cual solamente el 15 % se usa para mover las ruedas (el resto se pierde en fricción y otros elementos químicos) (Afework y Donev, 2019). Esta explicación en porcentajes del rendimiento de un motor está en la Figura 2.

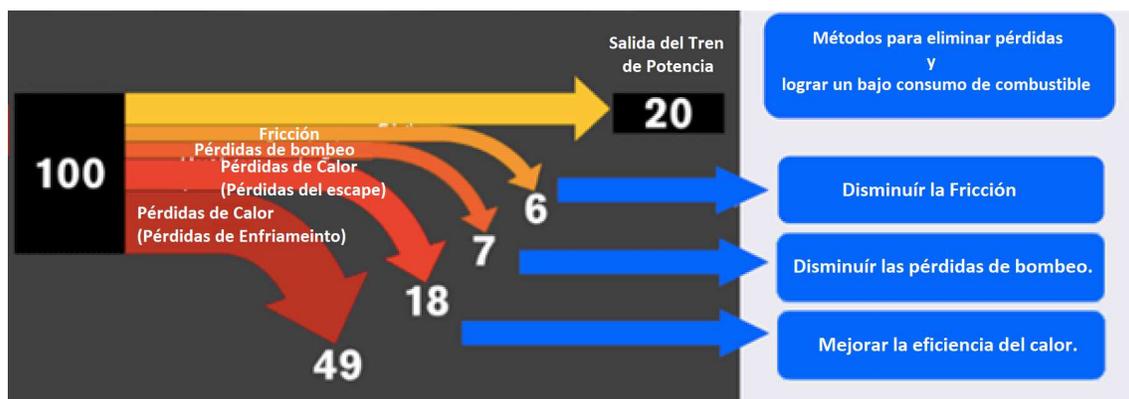


Figura 2 Diagrama de Sankey de la eficiencia de un motor (Phineas, 2014).

Para medir la eficiencia de un vehículo o camión uno de los métodos más utilizados es medir el consumo de combustible o la emisión de CO₂ en las condiciones de una determinada prueba de manejo (Kropiwnicki et al., 2013). Este tipo de experimento es realizado en un laboratorio con dinamómetros de chasis usando equipos y procedimientos estandarizados

(Kropiwnicki et al., 2013). Un ciclo de prueba es definido como una secuencia de puntos de prueba, cada uno con una velocidad definida o con una velocidad rotacional/torque definidos a ser seguidos por el vehículo o por el motor en estudio respectivamente (Giakoumis, 2017). Estos puntos de prueba son divididos en pasos de tiempo, normalmente segundos, durante los cuales aceleración y desaceleración son asumidos constante (Giakoumis, 2017). En la Figura 3 se puede observar ejemplos de ciclos de conducción en un caso por un vehículo (velocidad) en otro caso por un motor (velocidad rotacional/torque).

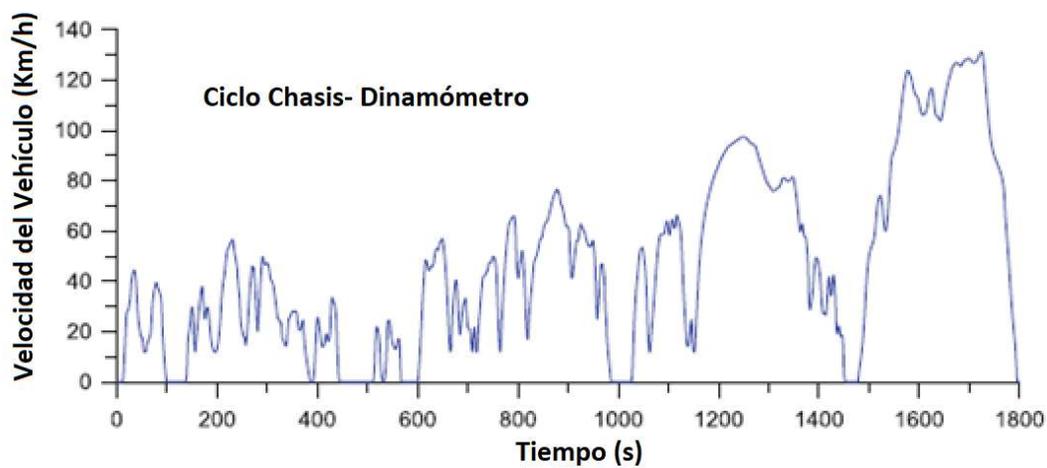


Figura 3a Ciclo Típico de un vehículo de Velocidad versus Tiempo (Giakoumis, 2017).

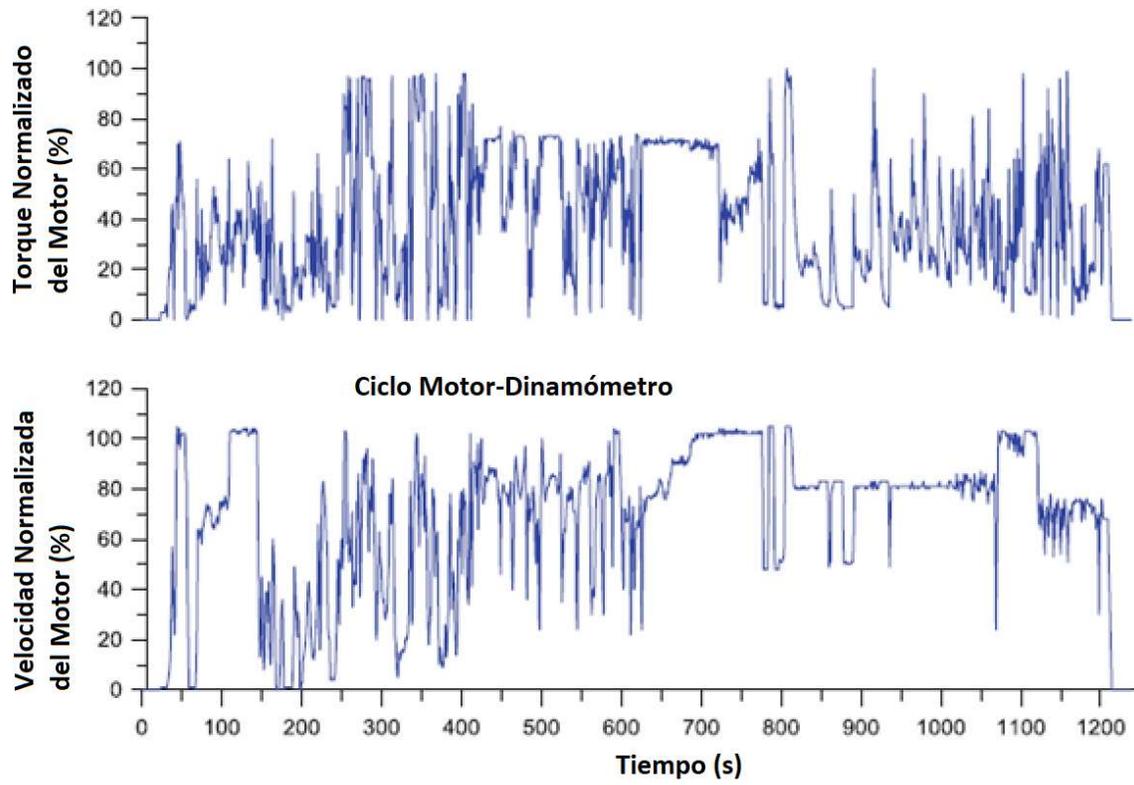


Figura 3b Ciclo Típico de un Motor de Velocidad/Torque versus Tiempo (Giakoumis, 2017).

Los ciclos de prueba se clasifican en básicamente dos tipos (Giakoumis, 2017):

- Prueba de dinamómetro de chasis
- Prueba de dinamómetro de motor

En el caso del método dinámico existe pruebas de tipo estable y transitorias (Urbina Guzmán, 2016). En el caso de las pruebas de estado estable el vehículo se conduce a velocidad y carga constante al no existir una fase transitoria durante la prueba. Algunos tipos de estas pruebas son la US Federal 3, Clayton Key, CALVIP y ASM (Recalde y Revelo, 2015). En el caso de las pruebas de estado transitorio, un programa de manejo específico conduce los vehículos en el dinamómetro, en donde la principal diferencia con las pruebas estables es la duración del ciclo. Debido a que las muestras de gases de escape son recolectadas continuamente a lo largo de la duración de la prueba, estas tienen que ser expresadas en unidades de masa y por lo tanto es utilizado un sistema de recolección de volumen constante

(Urbina Guzmán, 2016). Algunos tipos de estas pruebas son FTP75, New York, Europea ECE, CDH 226, IM240 (Recalde & Revelo, 2015).

En las pruebas de dinamómetro de chasis los rodillos de este tienen la tarea de simular la resistencia que el vehículo experimenta cuando este es conducido. Estas fuerzas son la aerodinámica, la resistencia de la fricción del rodamiento, la inclinación, así como la fuerza inercial. La fuerza de tracción total F_{tr} está dado por la Ecuación 1:

$$F_{tr} = \overbrace{c_{fr} m v g}^{\text{rodaje}} + \overbrace{m v g \sin \theta}^{\text{gravitacional}} + \overbrace{\frac{1}{2} \rho_a c_d A_f V^2}^{\text{aerodinámico}} + \overbrace{m v \frac{dV}{dt}}^{\text{aceleración}} \quad [1]$$

Donde c_{fr} es el coeficiente de fricción de la llanta, m_v es la masa del vehículo, g es la aceleración del vehículo, θ inclinación de la vía, ρ_a densidad del aire, c_d coeficiente de resistencia aerodinámica, A_f área frontal del vehículo, and V velocidad del vehículo (Gillespie, 1992).

En las pruebas se asume carreteras planas sin inclinación. El vehículo permanece estático durante la prueba con sus dos ruedas (delanteras o posteriores) girando sobre el dinamómetro. En la Figura 4 se observa un esquema de los elementos usados para la prueba.

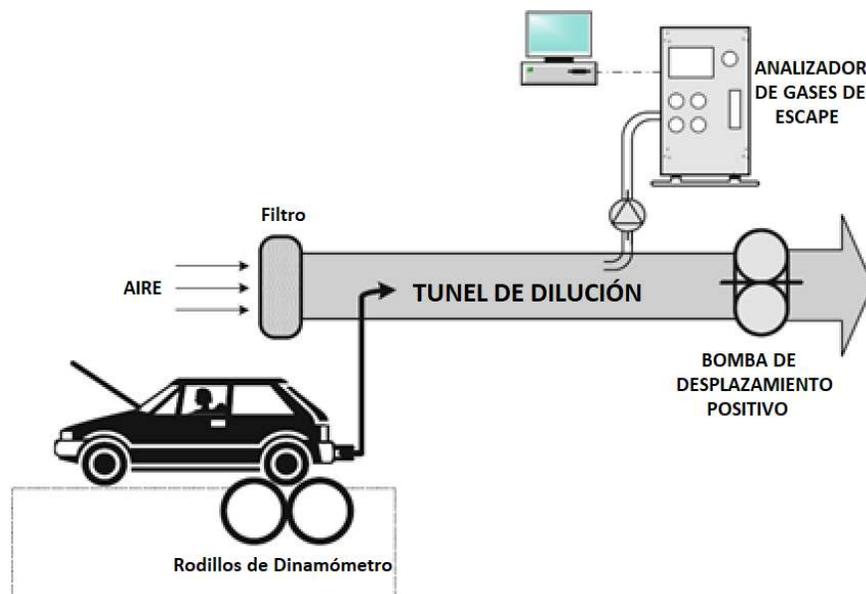


Figura 4 Vehículo sobre un dinamómetro de chasis (Giakoumis, 2017).

Una de estas pruebas es la prueba IM240 que se trata de uno de los ensayos dinámicos transitorios, misma que se realiza usando vehículos livianos en un dinamómetro de chasis por medio de un ciclo de manejo de 240 segundos, que simula un recorrido en zona urbana de 3,151 km a una velocidad media de 47,28 km/h y una máxima de 91,25 km/h. Para la realización del ciclo se realizó una fase preliminar que consta de los siguientes pasos. Primero se efectuó una operación estacionaria a 2500 rpm en un tiempo máximo de 4 minutos, después se aplicó una operación en estado estable a una velocidad de 48 km/h por un tiempo de 4 minutos y por último una operación dinámica transitoria. Antes de realizar las mediciones de gases del vehículo el automóvil se lleva a la temperatura de servicio según lo referido por Celi Ortega et al. (2018). El número de mediciones (3) está en función a lo indicado por la norma NTE INEN 2004 y el protocolo de prueba dinámica IM240.

Esta prueba es usada en algunos estados de Estados Unidos para pruebas de emisión de vehículos livianos en programas de inspección y mantenimiento. La Figura 5 muestra de velocidad y aceleración versus tiempo.

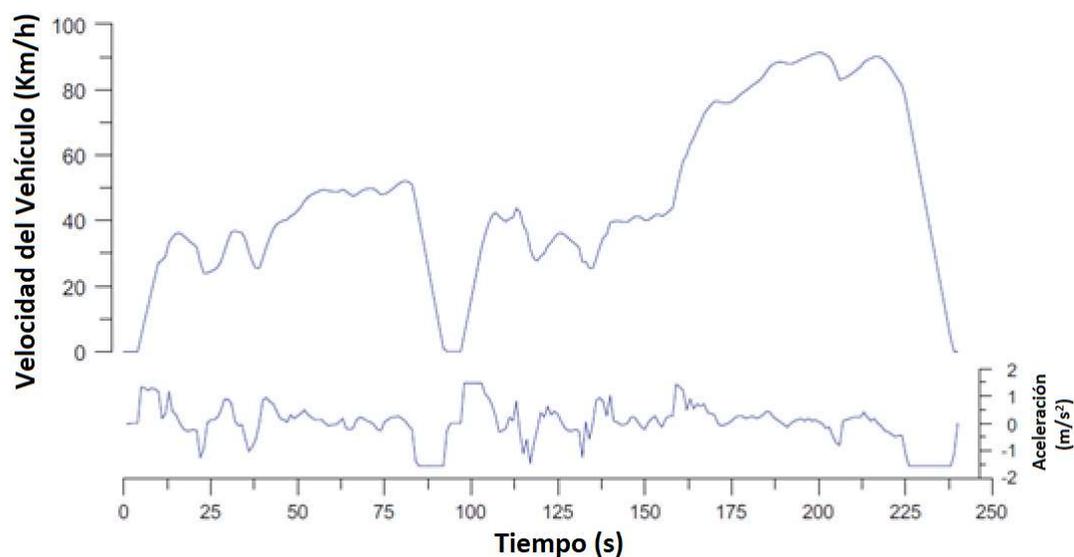


Figura 5 Gráfico velocidad y aceleración versus tiempo en prueba IM240 (Giakoumis, 2017)

La Tabla 1 señala los parámetros técnicos la prueba IM240.

Tabla 1
Especificaciones técnicas prueba IM240

Parámetro	Valor 1	Valor 2
Distancia (m)/Duración (s o min)	3151,9	240 (4)
Velocidad del Vehículo Máxima/Promedio (km/h)	91,25	47,28
Aceleración Promedio/Máxima (m/s ²)	0,439	1,475
Desaceleración Promedio/Máxima (m/s ²)	-0,684	-1,565
Tiempo de Conducción (s)/(%)	231	96,25
Tiempo de Conducción (%) $V \leq 30 \text{ km/h} \leq 60 \text{ km/h}$	22,92	49,17
Tiempo de Conducción (%) $60 < V \leq 100 \text{ km/h} \leq 60 \text{ km/h}$	27,92	0
Tiempo velocidad crucero (s)/(%)	11	4,58
Tiempo gastado en aceleración (s)/(%)	134	55,83
Tiempo de aceleración (%) $0 < a \leq 1.0 \text{ m/s}^2/a > 1.0 \text{ m/s}^2$	48,33	7,50
Tiempo gastado en desaceleración (s)/(%)	86	35,83
Tiempo de desacel. (%) $a \leq -1.0 \text{ m/s}^2/-1.0 \leq a < 0 \text{ m/s}^2$	12,08	23,75
Tiempo de Marcha en Vacío (s)/(%)	9	3,75
Aceleraciones por km/por min	4,76	3,75 (5,00)
Número de Paradas/Máxima parada intermedia (s)	2	4
Paradas por km/Duración promedio de paradas (s)	0,63	4,50

Como se observa en la Figura 5 y en la Tabla 1 la prueba tiene un pequeño tiempo de reposo de 9s que corresponde al 3,75% del tiempo de toda la prueba. Esta prueba fue diseñada en base a una prueba anterior conocida como la FTP-72. Esta prueba es importante para detectar malfuncionamiento en vehículos debido a la discontinuidad en las características operativas de vehículos controlados electrónicamente. Para determinar niveles de emisión, segundo a segundo mediciones instantáneas de emisiones son tomadas e integradas por una computadora. La computadora usa algoritmos de aprueba/falla para identificar vehículos excepcionalmente contaminantes o sucios. Esta avisa al inspector para detener la prueba antes de que termine, esta solo se completa cuando los niveles de contaminación están cercanos al máximo permitido (Giakoumis, 2017).

Para la medición del combustible se la puede hacer a través de los datos de volumen de combustible que existen antes y después de realizar una prueba, también se lo puede calcular indirectamente a partir de las mediciones de emisiones de gases como HC, CO y CO₂ (Giakoumis, 2017). Una de las pruebas para medir consumo de combustible es la aplicada en

Japón con el nombre de JE05 en donde se tiene una duración de 1829s. En el caso de los Estados Unidos las pruebas FTP sirven para estos propósitos y tienen una duración de entre 1372s y 2477s (Barlow et al., 2009). Al tratarse de un vehículo LDV (Light Duty Vehicle - Vehículo Liviano) usado normalmente para el desplazamiento en el circuito urbano la prueba IM240 sirve para medir el consumo de combustible y para que este sea significativo se utiliza los mismos principios de las pruebas mencionadas en donde se maneja un tiempo de más de 1000s y en algunos casos con un periodo de pre-calentamiento. Para alcanzar este periodo de tiempo se repite el ciclo de manejo de 240s 6 veces lo que implica una ruta de 1440s donde se puede examinar, no solo el estado del vehículo bajo los parámetros de un ciclo de la prueba IM240 sino el consumo de combustible en un trayecto de alrededor de los 18km.

Dentro de los LDV, en el mercado mundial y en este caso específico el de Ecuador la tendencia al uso de los SUV por ser de uso familiar, cómodos y potentes (Smith, 2020) (Grupo Editorial El Universo, 2018). Este segmento de vehículos livianos tiende a tener un cilindraje de los 1,6L a los 4,0L dependiendo del uso tenga como por ejemplo en la ciudad o en caminos de tercer orden. El estudio pretende examinar las condiciones de consumo y emisiones para un vehículo y con una prueba de ciclo de manejo de tipo urbano por lo que se decide usar un SUV con características muy similares a los 10 modelos más vendidos en Ecuador como son el KIA Sportage R o el Captiva (Grupo Editorial El Universo, 2019). En este caso se decide usar el vehículo modelo Tracker con un cilindraje de 1,8L.

El tipo de gasolina viene dado, entre otros parámetros, por el octanaje de la misma clasificándola básicamente en dos tipos las que se encuentran sobre 90 octanos son conocidas como gasolinas Premium y las que se encuentran con octanajes por debajo de 90 octanos se consideran como gasolinas regulares (Demirbas et al., 2015). Otro aspecto importante es que la industria automotriz alcance estándares necesarios para estar acorde a las regulaciones en emisiones de gases de efecto invernadero como por ejemplo dióxido de carbono (CO₂), óxidos

de nitrógeno (NO_x), monóxido de carbono (CO) y material particulado (PM) los cuales son responsables de principales de la degradación del medio ambiente (Li et al., 2018). Este tipo de aspectos se han corregido por el adiconamiento de accesorios externos para reducir estos gases (García et al., 2019). Conociendo que el octanaje es una cuantificación de la calidad y capacidad antidetonante de las gasolinas, el proceso de la combustión del motor es su principal característica. A nivel continental los más altos octanajes se encuentran en la parte norte del continente mientras que en los vecinos de Colombia y Perú se manejan 92 y 98 octanos respectivamente (Grupo Editorial El Comercio, 2019).

En Ecuador se comercializan 4 tipos de gasolina que son Extra, Súper, Ecopais y Súper G-Prix. Estas son clasificadas de acuerdo la NORMA INEN 935 en donde se menciona:

- Gasolina de 87 octanos (Gasolina Extra y Ecopais).
- Gasolina de 92 octanos (Gasolina Super).
- Gasolina de 93 octanos (Gasolina Super G-Prix).

En el caso de la gasolina Súper G-Prix se trata de una gasolina con aditivos que no solo mejoran el octanaje de la gasolina Súper convencional, sino que estos mejoran la calidad del combustible a nivel TOP TIER, estándar europeo y americano, avalado por las principales casas automotrices a nivel mundial. Esta fórmula G-PRIX tiene una combinación de dispersantes, inhibidores, detergentes y demulsificantes (Valdivieso Salazar, 2016). La gasolina Ecopaís que tiene una mezcla de etanol no se considera debido a que no es comercializada en la sierra ecuatoriana.

Es importante determinar cuál de las gasolinas existentes en el mercado ecuatoriano tiene el mejor rendimiento y menores emisiones en un mismo vehículo puesto que permite al usuario tener una mejor visión sobre que combustible utilizar, y a empresas y organismos de control identificar como establecer normativas de emisiones.

El propósito de este estudio es evaluar el comportamiento de las emisiones y eficiencia energética en un motor de encendido provocado alimentado con tres tipos de combustible: Extra, Súper y Súper G-Prix mediante ensayos simulados en dinamómetros para la determinación de diferencias significativas en el aprovechamiento mecánico y minimización de impacto.

Para cumplir este objetivo general se llevan a cabo los siguientes objetivos específicos:

1. Obtener medida de potencia en el vehículo de prueba a través de las pruebas estáticas aplicando la prueba de ciclo de emisiones IM240 con los tres tipos de gasolinas (Extra, Súper, Súper G-Prix).
2. Obtener medida de torque en el vehículo de prueba a través de las pruebas estáticas aplicando la prueba de ciclo de emisiones IM240 (Extra, Súper, Súper G-Prix).
3. Obtener medidas de emisiones de monóxido de carbono (CO), Hidrocarburos (HC) y los óxidos de nitrógenos (NO_x) en el vehículo de prueba a través de las pruebas estáticas aplicando la prueba de ciclo de emisiones IM240 (Extra, Súper, Súper G-Prix).
4. Comparar las medidas obtenidas de potencia, torque y emisiones entre los tres tipos de combustible y encontrar en cuál de los tipos de combustible se tiene mejor rendimiento y menor cantidad de emisiones.

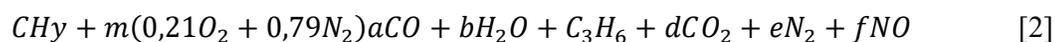
2. MÉTODO

El estudio se basa en una investigación explicativa a partir de la aplicación del método experimental realizado en un vehículo Chevrolet Tracker TM 1,8 L, 5P en los laboratorios del Centro de Transferencia Tecnológica para la Capacitación e Investigación en Control de Emisiones Vehiculares (CCICEV) de la Escuela Politécnica Nacional Quito-Ecuador. Las pruebas realizadas en el motor de 1800cc sirven para determinar la cantidad de emisiones contaminantes, el consumo de combustible y los resultados de torque y potencia mediante una

prueba dinámica utilizando un ciclo de conducción, de tres tipos de gasolina que son: Extra, Súper y Súper G-Prix.

En el estudio se presenta el comportamiento de las variables dependientes: Potencia (kW), Torque (Nm) y Factor de emisión (g/km); al emplear las principales gasolinas comercializadas en el Ecuador (Extra, Súper y Súper G-Prix) en unos de los vehículos más comercializados en el mercado en la categoría SUV (Chevrolet Tracker) en ciclos simulados en un dinamómetro de chasis (6 ciclos de IM240).

Los factores de emisión son estimados a través de la Ecuación 2 a partir de los datos obtenidos experimentalmente del equipo de medición. El análisis dinámico del comportamiento de los gases de escape en los vehículos utiliza las variables a , b , c , d , e , f y m corresponden a coeficientes estequiométricos desconocidos y determinados por mol de combustible consumido. Se desarrolla un balance de masa respecto a la cantidad de carbono, debido a que como fruto de la combustión se obtiene CO_2 , CO y HC presente en el combustible. El balance de masa para el carbono se puede escribir como la Ecuación 2 (J. C. Leguísamo Milla et al., 2020).



Dónde:

m = moles de aire consumido por mol de combustible consumido

a = moles formados de CO por mol de combustible consumido

b = moles formados de H_2O por mol de combustible consumido

c = moles formados de C_3H_6 por mol de combustible consumido

d = moles formados de CO_2 por mol de combustible consumido

e = moles formadas de N_2 por mol de combustible consumido

f = moles formados de NO por mol de combustible consumido.

Al ser el CO_2 el gas predominante, en los residuos de combustión se va a relacionar este gas con el resto para tal se presenta las Ecuaciones 3, 4, 5 y 6, de acuerdo a lo mencionado por J. C. Leguísamo Milla et al., (2020).

$$1 = a + 3c + d \quad [3]$$

$$a = d \times R_{CO} \quad [4]$$

$$c = d \times R_{HC} \quad [5]$$

$$d = \frac{1}{R_{CO} + 3R_{HC} + 1} \quad [6]$$

Dónde:

R_{CO} es la relación de CO respecto a CO_2 en porcentaje

R_{HC} es la relación de HC respecto a CO_2 en porcentaje.

Se toma en cuenta como base principal del combustible al octano C_8H_{18} (equivalente $CH_{2.25}$) y se procede a determinar el peso molecular del combustible como se muestra en la Ecuación 7.

$$MW_{CO} = \frac{12gC}{molC} \times \left(\frac{1molC}{mol\ comb} \right) + \frac{1gH}{molH} \times \left(\frac{ymolH}{mol\ comb} \right) = 14,25 \frac{gcomb}{mol\ comb} = 0,01425 \frac{Kgcomb}{mol\ comb} \quad [7]$$

Utilizando la densidad del combustible (kg/m^3) y el consumo por distancia recorrida FC (m^3/km), se puede obtener el factor de emisión en gramos de cada contaminante por kilómetro recorrido, como se puede observar en las Ecuaciones 8, 9 y 10.

$$F_{CO} = \frac{R_{CO}}{R_{CO} + 3R_{HC} + 1} \frac{MW_{CO}}{MW_{comb}} \quad [8]$$

$$F_{HC} = \frac{R_{HC}}{R_{CO} + 3R_{HC} + 1} \frac{MW_{HC}}{MW_{comb}} \quad [9]$$

$$F_{NO} = \frac{R_{NO}}{R_{CO} + 3R_{HC} + 1} \frac{MW_{NO}}{MW_{comb}} \quad [10]$$

Dónde:

F_{CO} corresponde a factor de emisión de CO

R_{CO} razón de % de CO con respecto a la concentración de CO_2

R_{HC} razón de % de HC en cuanto a la concentración de CO_2

R_{NO} razón de % de NO_X en cuanto a la concentración de CO_2

MW_{CO} peso molecular del CO

MW_{HC} peso molecular de HC

MW_{NO} peso molecular de NO

MW_{COMB} peso molecular del combustible

La densidad del combustible δ_{com} (kg/m^3) con un valor de $744 kg/m^3$ a $15\text{ }^\circ C$ es una variable independiente en estas fórmulas al igual que el consumo de combustible por distancia recorrida en la ruta de prueba (J. C. Leguísamo Milla et al., 2020).

Para el análisis y comparación de los resultados se emplea el *software Statgraphics Centurion XVI*, realizándose un ANOVA simple para los diferentes tratamientos (combinaciones) que se muestran en la Tabla 2. Se realizaron 3 repeticiones de cada tratamiento según lo establecido por la norma NTE INEN 2205 en el apartado 6 sobre métodos de ensayo donde en el punto 6.1.5.4 refiere “Registrar y promediar un mínimo de 3 lecturas en cada prueba”.

Tabla 2
Tratamientos para el análisis de diferencias significativas

Número de Tratamientos	Autos	Combustibles
T1	Chevrolet Tracker	Súper
T2	Chevrolet Tracker	Súper G-Prix
T3	Chevrolet Tracker	Extra

2.1 Características del vehículo de prueba

Los ensayos de pruebas estáticas y dinámicas se realizaron en un vehículo con las siguientes características (Tabla 3).

Tabla 3
Especificaciones técnicas del vehículo

ESPECIFICACIONES DEL VEHÍCULO		
<i>VIN:</i> 3GNDJ8EE8JL148152	<i>SERIE MOTOR:</i> CJL148152	
<i>MARCA:</i> CHEVROLET	<i>MODELO:</i> TRACKER	
<i>VERSION:</i> MANUAL	<i>AÑO:</i> 2018	
<i>TORQUE:</i> 178Nm @ 3800RPM	<i>POTENCIA:</i> 138HP @ 6200RPM	
<i>CILINDRADA Y # DE CILINDROS:</i> 1,8L y 4 C	<i>MODELO DE MOTOR:</i> DOHC MPFI	
<i>DISPOSICIÓN DE CILINDROS:</i> EN LÍNEA	<i>POSICIÓN DE MOTOR:</i> FRONTAL	
<i>COMBUSTIBLES:</i> GASOLINA	<i>TRACCIÓN:</i> FWD/4X2	
<i>TONELAJE:</i> 750Kg	<i>PAIS DE ORIGEN:</i> MEXICO	
<i>TAMAÑO NEUMATICOS:</i> P205/70 R16	<i>TIPO DE FRENOS:</i> DISCO TAMBOR ABS - EBD	
<i>CATEGORÍA – SUBCATEGORÍA – CODIGO - TIPO</i>		
M1	SWG	STATION WAGON

Los equipos utilizados para la recolección de los parámetros necesarios para el estudio fueron un dinamómetro automotriz o banco de potencia MAHA modelo LPS 3000, mediante el cual se desarrolló un ciclo de conducción seleccionado; analizador de gases contaminantes de vehículos a gasolina MAHA modelo MGT5.

El ensayo de emisiones dinámico es un método que se realiza por medio de aplicación de cargas en el motor en diferentes relaciones de marcha, con la finalidad de determinar los gases residuales producto de la reacción de combustión del motor. Este ensayo dinámico ayuda a determinar los porcentajes y partes por millón de cinco gases residuales en la combustión: CO, HC, NO_x. En el presente proyecto se aplicó el ensayo dinámico americano conocido como IM240 no solo para determinar las emisiones del vehículo sino también el consumo de combustible realizando una medición antes y después de iniciar cada prueba. Junto con esta prueba de ciclo de manejo se realiza un ensayo para calcular la curva de torque y potencia con el uso de dinamómetro de chasis con cada tipo de gasolina considerada para este estudio.

2.2 Pruebas Dinámicas Ciclo Inspección y Mantenimiento IM240

Los equipos que se utilizaron para realizar las pruebas con el ciclo IM240 son los siguientes:

- Equipo LPS 3000
- Analizador de gases MGT5
- Caja de interfaces
- Pinza trigger
- Sonda de temperatura de aceite
- Sonda de gases
- Ventilador de aire refrigerante
- Extractor de gases
- Tanque de presión de combustible
- Probeta de 1000ml
- Matraz Erlenmeyer de 5000ml

2.2.1 Equipo LPS 3000

Tal como una prueba de ciclo de manejo, habilita simular un perfil de velocidad en función del tiempo. En la Figura 6 se puede observar este equipo.

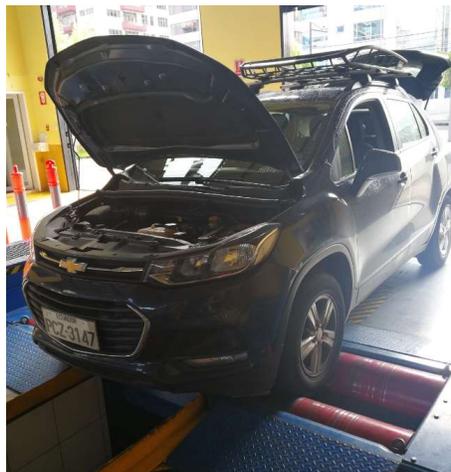


Figura 6 Equipo LPS 3000 con Vehículo de Prueba

En la Tabla 4 se observan los datos técnicos del equipo LS 3000.

Tabla 4
Datos técnicos de equipo LPS 3000

JUEGO DE RODILLOS	
Carga sobre el eje (Ton)	15
Longitud (mm)	4550
Ancho (mm)	1100
Altura (mm)	625
Peso (Kg)	2410
Longitud de rodillo (mm)	900
Vía min. (mm)	820
Vía max. (mm)	2620
Diámetro mínimo de rueda para ensayar (pulg)	12
Diámetro de rodillo (mm)	318
Distancia entre rodillos (mm)	565
Sobreelevación rodillo (mm)	45
SISTEMA DE ELEVACIÓN CON BLOQUEO DE RODILLOS	
Hidráulico	
DATOS ELÉCTRICOS	
Potencia corriente parásita (kW)	2x200
Potencia rueda (kW)	30 máx. 660
Fuerza de tracción (kN)	Máx. 25
Número de revoluciones (rpm)	10 - 10000
Precisión de medición (%)	± 2 del valor

2.2.2 Analizador de gases MGT5

El analizador MGT5 facilita medir las emisiones de gases en concentración de volumen (CO, CO₂ y O₂) y ppm (HC y NO_x), en la Figura 7 se observa este tipo de analizador.



Figura 7 Analizador MGT5

En la Tabla 5 se detallan los datos técnicos del equipo.

Tabla 5
Datos técnicos de analizador de gases MGT5

Gases Analizables	CO	CO ₂	HC	O ₂	NO _x
Rango de Medición	0-15,00 Vol %	0-20,00 Vol %	0-2000 Vol %	0-25,00 Vol %	0-5000 ppm Vol
Precisión	0,06 Vol %	0,5 Vol %	12 ppm Vol	0,1 Vol %	32-120 ppm
Principio de medida	Infrarrojo	Infrarrojo	Infrarrojo	Electro-químico	Electro-químico
Resolución valores de medida	0,001 Vol %	0,5 Vol %	12 ppm vol	0,1 Vol %	32-120 ppm Vol
Deriva del rango de medidas	Inferior a $\pm 0,6\%$ del valor final del rango de medición				
Fase de precalentamiento	Mínimo 30 minutos, máximo 10 minutos (regulado por temperatura)				
Nivel de electricidad	Automática, continua aproximadamente 1L/min				
Presión de servicio	750 – 110 mBar				
Variación de presión	Máximo Error 0,2% para variaciones de 5 kPascal				
Alimentación de corriente	Cable de alimentación con conexión a 10 – 42 Vcc con pinzas de apriete y diodo como protección contra polarización				

2.2.3 Caja de Interfaces

El número de revoluciones y temperatura de aceite del motor son registradas por la caja de interfaces que está compuesta por varios módulos. En la Figura 8 se indica este equipo.



Figura 8 Analizador MGT5

2.2.4 Pinza Trigger

La pinza trigger permite registrar la señal del número de revoluciones del motor en el cable de encendido (bujía o bobina de encendido del distribuidor), esta pinza capta a través del principio inductivo la señal de alta tensión que se transmite del distribuidor a cualquier cilindro, estos impulsos son transmitidos desde las pinzas trigger hacia la caja de interfaces mismas que facilitan la interpretación de estos como un dato de RPM. En la Figura 9 se observa este tipo de pinza.



Figura 9 Pinza Trigger

2.2.5 Sonda de Temperatura de Aceite

Las pruebas de marcha en el LPS3000 únicamente deben efectuarse cuando el motor haya alcanzado la temperatura de servicio, esta sonda sirve para determinar y controlar la temperatura del aceite durante la prueba. En la Figura 10 se observa esta sonda.



Figura 10 Sonda de Temperatura de Aceite

2.2.6 Sonda de Gases de Combustión

La sonda de gases permite recolectar las emisiones producidas por el motor y direccionarlas hacia el analizador de gases, en la Figura 11 se observa este elemento.



Figura 11 Sonda de Gases de Combustión

2.2.7 Ventilador de Aire Refrigerante

Para evitar la reducción de potencia que los sistemas modernos realizan debido a altas temperaturas de aspiración en el motor el aire refrigerante es de especial importancia. En la Figura 12 se observa este ventilador.



Figura 12 Ventilador de Aire Refrigerante

2.2.8 Extractor de Gases

Este equipo permite evacuar los gases de combustión del motor, desde la toma final del tubo de escape hacia el medio exterior, permitiendo realizar las pruebas en un ambiente libre de gases tóxicos. En la Figura 13 se observa este extractor.



Figura 13 Extractor de Gases

2.2.9 Tanque de Presión de Combustible

Este equipo permite medir la cantidad de combustible consumida por el vehículo al realizar la prueba del ciclo IM240, consta de un par de mangueras que se utilizan para el ingreso y retorno de la gasolina al motor, también dispone de una bomba manual que sirve para producir presión en el interior del tanque y con ello simular la presión producida por la bomba de combustible del automotor. En la Figura 14 se observa este equipo.



Figura 14 Extractor de Gases

2.2.10 Probeta de 1000ml

Este elemento permite realizar la medición del volumen de combustible consumido durante la prueba. Ayuda a obtener con una precisión de $\pm 10\text{ml}$ la cantidad de cada tipo de gasolina utilizada en cada ensayo. En la Figura 15 se observa este elemento.



Figura 15 Probeta de 1000ml

2.2.11 Matraz Erlenmeyer de 5000ml

Este elemento permite realizar la medición del volumen de combustible que entra en el tanque antes de iniciar un ensayo. Ayuda a obtener con una precisión de $\pm 1\text{L}$ la cantidad de cada tipo de gasolina utilizada en cada ensayo. En la Figura 16 se observa este elemento.

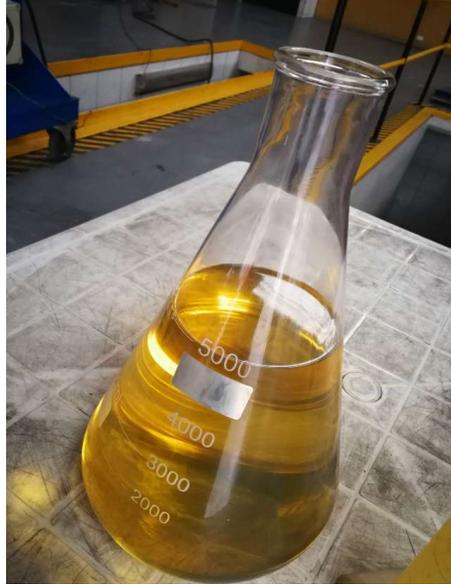


Figura 16 Matraz Erlenmeyer de 5000ml

2.3 Pruebas Dinámicas Ciclo Inspección y Mantenimiento IM240

El ensayo IM240 pertenece a los ensayos dinámicos transitorios, este ensayo se realiza en vehículos livianos en un dinamómetro de chasis por medio de un ciclo de manejo de 240s. El dinamómetro simula una carga externa y se intenta seguir una ruta preestablecida en el software del equipo de medición. Junto con este equipo se dispone de un analizador de gases, el mismo que se utiliza para medir las emisiones de: CO, HC y NO_x. Para realizar esta prueba se utilizan los equipos indicados en la sección anterior. A continuación, se detalla el procedimiento realizado durante la prueba.

2.3.1 Protocolo de Pruebas con el Ciclo IM240.

Las pruebas se realizan con los tres tipos de gasolina (Extra, Super y Super G-Prix). En cada prueba se realiza el recorrido de 6 ciclos IM240 completando 3 pruebas con cada tipo de gasolina. El procedimiento para cada prueba es el siguiente:

1. Posicionar las ruedas motrices del vehículo (en este caso las delanteras) sobre los rodillos del dinamómetro de chasis de forma recta en dirección de marcha.

2. Fijar el vehículo al dinamómetro por medio de correas de tensión al gancho de remolque o al eje trasero del automotor.
3. Conectar la pinza trigger al cable de la bobina de encendido del distribuidor.
4. Colocar la sonda de temperatura de aceite en el lugar donde se encuentra la varilla del nivel del lubricante del motor.
5. Instalar la sonda de gases al final del tubo de escape.
6. Poner el extractor de gases a la salida de las emisiones contaminantes del motor.
7. Posicionar el ventilador de aire refrigerante delante del radiador del vehículo.
8. Conectar el tanque de presión de combustible en las tomas de ingreso y retorno de gasolina del motor, este equipo debe instalarse a una presión similar a la del funcionamiento de la bomba de combustible, que en vehículo de prueba es de 50 PSI. Además, se debe llenar este recipiente con cinco litros de gasolina, que al finalizar la prueba son medidos, y la diferencia entre el combustible gastado y la base de cinco litros, es la cantidad de combustible consumida por el automotor. Esta medición se la realiza con el matraz Erlenmeyer y la probeta.
9. Activar el analizador de gases en el equipo LS 3000.
10. Seleccionar y cargar el ciclo de ruta IM240 en el equipo LPS 3000.
11. Antes de iniciar la medición de gases, llevar el motor a la temperatura normal de funcionamiento de 94°C.
12. Dar inicio al ciclo IM240 y medición de gases en el equipo LPS 3000.
13. Conducir el vehículo siguiendo la ruta preestablecida por el equipo, procurando estar dentro de la zona de tolerancia de la prueba y evitar que esta sea cancelada por el equipo.
14. Repetir el ciclo IM240 5 veces adicionales de forma consecutiva para obtener un consumo significativo de combustible.

15. Después de que concluya el sexto ciclo IM240 pararlo conjuntamente con el vehículo y registrar las mediciones de gases contaminantes producidas en el ciclo.
16. Medir y registrar la cantidad de combustible consumido en el tanque de presión utilizando la probeta.
17. Repetir el procedimiento 2 veces más por cada tipo de combustible.
18. Desinstalar los equipos.

2.4 Pruebas de Torque y Potencia con Dinamómetro de Chasis.

Para un completo análisis del desempeño de un vehículo, un rango completo de condiciones de trabajo del motor es necesario. Debido a la complejidad del modelado completo de la operación del motor y la falta de un software técnico completamente desarrollado, la tendencia principal hasta ahora ha sido la recolección de datos experimentales para el desempeño del motor usando dinamómetros (Mashadi & Crolla, 2012). En este caso se usa un dinamómetro de chasis que mide la potencia entregada por las ruedas de tracción a través de la transmisión del vehículo y por lo tanto la potencia efectiva entregada es medida.

Para un punto de vista global de la eficiencia de un vehículo, es importante conocer como el motor produce la potencia de salida del eje a ser usada para el movimiento del vehículo. La característica torque-velocidad demuestra el rendimiento de salida adecuado para el uso de análisis del tren de fuerza. Un mapa torque versus velocidad con el acelerador del motor a fondo provee alguna información valiosa respecto al rendimiento del vehículo (Mashadi & Crolla, 2012). Un mapa a carga completa o *wide-open-throttle* (WOT en sus siglas en inglés) es indicador del rendimiento de potencia pico del motor (Mashadi & Crolla, 2012). Un mapa típico de carga completa de un motor de combustión interna es mostrado en la Figura 17.

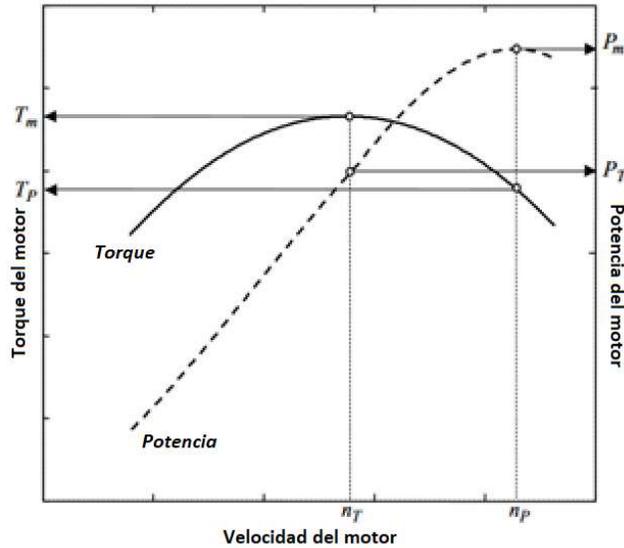


Figura 17 Mapa de carga completa de torque-potencia versus velocidad del motor (Mashadi y Crolla, 2012).

En este mapa se observan los puntos importantes a considerar en el análisis de esta curva como son:

- P_m Potencia máxima del motor.
- P_T Potencia en el punto de máximo torque del motor.
- T_m Torque máximo del motor.
- T_P Torque en el punto de máxima potencia del motor.
- n_P Velocidad del motor a la máxima potencia.
- n_T Velocidad del motor al máximo torque.

2.4.1 Protocolo de Pruebas de Torque y Potencia con Dinamómetro de Chasis.

Estas pruebas al igual que las realizadas con ciclo de manejo se realizan con los tres tipos de gasolina (Extra, Súper y Súper G-Prix 3 pruebas con cada tipo de gasolina. El procedimiento para cada prueba es el siguiente:

1. Posicionar las ruedas motrices del vehículo sobre los rodillos del dinamómetro de chasis de forma recta en dirección de marcha. Al tratarse de un vehículo con tracción delantera se colocan las ruedas delanteras.
2. Fijar el vehículo al dinamómetro por medio de correas de tensión al gancho de remolque o al eje trasero del automotor.
3. Conectar la pinza *trigger* al cable de la bobina de encendido del distribuidor.
4. Colocar la sonda de temperatura de aceite en el lugar donde se encuentra la varilla del nivel del lubricante del motor.
5. Conectar el tanque de presión de combustible en las tomas de ingreso y retorno de gasolina del motor, este equipo debe instalarse a una presión similar a la del funcionamiento de la bomba de combustible, que en el vehículo de prueba es de 50 PSI. En este caso no es necesario conocer el consumo de combustible durante la prueba.
6. Seleccionar la prueba de torque y potencia en el equipo LPS 3000.
7. Antes de iniciar la prueba, llevar el motor a la temperatura normal de funcionamiento de 94°C.
8. Dar inicio a la prueba en el equipo LPS 3000.
9. Acelerar el vehículo a fondo hasta que alcance el máximo número de revoluciones especificadas en la hoja de datos, en este caso 6200RPM (Chevrolet, 2018).
10. Repetir el procedimiento 2 veces más por cada tipo de combustible.
11. Desinstalar los equipos.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Resultados de Torque y Potencia Obtenidos

Para esta prueba se sigue el protocolo descrito en el numeral 2.4.1 basado en la norma ISO 1585. Se realizan 3 ensayos en el banco de potencia para obtener las curvas de torque y potencia. Se presentan los resultados en la Tabla 6. Hay que tomar en cuenta que:

- La potencia máxima es la potencia generada por el motor a 6200 rpm, a esta velocidad de giro se equilibra con el aumento de rozamientos internos.
- Torque máximo es el punto donde se produce el mejor llenado posible de los cilindros.

De acuerdo a la Tabla 3 a 3800 rpm.

Tabla 6
Resultados de Torque y Potencia

Parámetros	POTENCIA			TORQUE		
	kW	HP	RPM	Nm	lbf×ft	RPM
Gasolina Extra						
Prueba 1	90,8	121,7	6155	154,02	113,6	4145
Prueba 2	93,4	125,2	6285	155,24	114,5	4125
Prueba 3	93,0	124,7	6305	157,68	116,3	4175
Gasolina Súper						
Prueba 1	97,3	130,5	6285	162,43	119,8	4055
Prueba 2	95,9	128,7	6285	159,58	117,7	4075
Prueba 3	96,5	129,7	6290	164,19	121,1	4010
Gasolina Súper G-Prix						
Prueba 1	95,8	128,5	6260	163,78	120,8	4090
Prueba 2	94,9	127,3	6255	163,24	120,4	4065
Prueba 3	95,1	127,6	6260	160,0	118,1	4110

3.2 Análisis de los resultados para la Potencia

En la Tabla 7 y Figura 18, se representa la prueba de múltiple rango y gráfico de caja y bigotes para la variable dependiente Potencia, en la misma se aplica el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher con un nivel del 95,0% de confianza. Se

concluye que existe diferencia significativa entre las gasolinas, siendo el Súper G-Prix y Súper las de mejores resultados.

Tabla 7
Tratamientos para el análisis de diferencias significativas

Combustible	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Extra	3	92,4	X
Super G-Prix	3	95,2667	X
Super	3	96,5667	X

Nota. Método: 95,0 porcentaje LSD

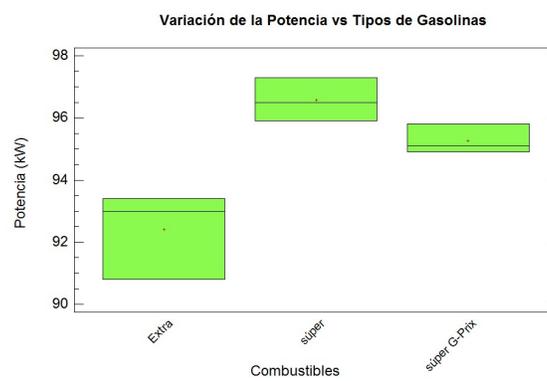


Figura. 18 Gráfico comparativo de la Potencia para las distintas gasolinas

Los resultados obtenidos aquí son comparables a lo obtenido por Taipe Defaz et al., (2020), donde se utiliza la gasolina Súper y Extra para accionar un motor de combustión interna que forma parte de un prototipo. En este experimento se obtuvo una mayor potencia para la gasolina Súper, resultado que igual al obtenido, difiere obviamente en el cilindraje de motores ya que el utilizado en el estudio del prototipo es de 0,6 L.

Otro trabajo a tomar en cuenta es el de Heng Teoh et al. (2018), donde se observa una marcada diferencia en los valores de potencia de frenado frente a velocidad del motor con gasolinas de diferentes octanajes, en este caso se usa un motor de 126 cc con una potencia máxima de 3,9 kW a 4000 rpm.

3.3 Análisis de los resultados para el Torque

En la Tabla 8 y Figura 19, se representa la prueba de múltiple rango y gráfico de caja y bigotes para la variable dependiente Torque, en la misma se aplica el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher con un nivel del 95,0% de confianza. Se concluye que existe diferencia significativa entre los torques al aplicar distintas gasolinas, siendo el Súper G-Prix y Súper las de mejores resultados.

Tabla 8
Tratamientos para el análisis de diferencias significativas

Combustible	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Extra	3	155,647	X
Super	3	162,067	X
Super G-Prix	3	162,34	X

Nota: Método: 95,0 porcentaje LSD

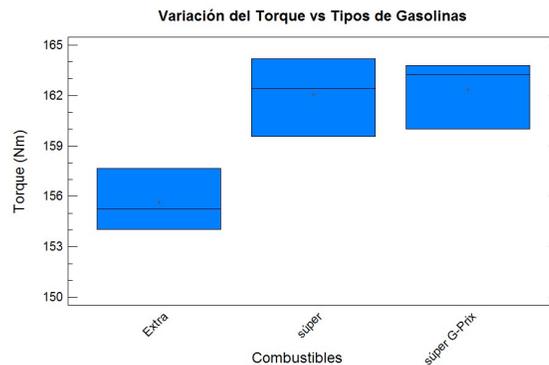


Figura 19 Gráfico comparativo del Torque para las distintas gasolinas

Al igual que en el caso de la potencia, en los trabajos de Taipe Defaz et al., (2020) y Serpa Andrade & Zumba Tenezaca (2016) se observan comportamientos similares tanto en comportamiento de un combustible a otro, para el primer caso, como en el valor obtenido de valor de torque al utilizar la gasolina Súper. Ahora se observa un variación significativa entre los resultados obtenidos entre la gasolina Súper y Extra, algo que es más significativo que lo obtenido por Serpa Andrade & Zumba Tenezaca (2016) donde solo se variaron el tipo de bujías.

Por esto se puede decir que en el caso de torque y potencia un mejor resultado se obtiene variando el tipo de gasolina a utilizar que variando el tipo de bujía.

En el caso de los resultados de Heng Teoh et al. (2018), el valor del torque siempre es superior para la gasolina de 100 octanos sin importar las revoluciones por minuto a las que esté funcionando el motor, es similar a lo obtenido en este trabajo donde el torque es mayor y más cercano al nominal con la gasolina de mayor octanaje. Una de las diferencias con el estudio de Heng Teoh et al. (2018) es que ahí se usan gasolinas de 95, 97 y 100 octanos mientras que en el país solo se disponen de gasolinas de hasta 93 octanos.

3.4 Resultado de Emisiones Obtenido

Para obtener los resultados de emisiones se sigue el protocolo indicado en el numeral 2.3.1. Se Toma en cuenta los valores de factor de emisión. Estos datos se muestran a continuación en la Tabla 9 para los tres tipos de combustible y tres pruebas por cada uno.

Tabla 9
Resultados de Factores de Emisión

Parámetros	FCO (g/km)	FHC (g/km)	FNOx (g/km)
Gasolina Extra (Densidad = 744 kg/m³)			
Prueba 1	1,269	0,009	0,037
Prueba 2	1,813	0,009	0,036
Prueba 3	1,822	0,009	0,037
Gasolina Súper (Densidad = 744 kg/m³)			
Prueba 1	1,408	0,003	0,024
Prueba 2	1,624	0,004	0,028
Prueba 3	1,898	0,005	0,023
Gasolina Súper G-Prix (Densidad = 744 kg/m³)			
Prueba 1	0,857	0,011	0,028
Prueba 2	1,137	0,011	0,042
Prueba 3	1,987	0,005	0,041

3.5 Análisis de los resultados para las emisiones

En las Figuras 20, 21 y 22, se representa el comportamiento de los factores de emisión para el monóxido de carbono (CO), Hidrocarburos (HC) y los óxidos de nitrógenos (NOx). Se observa que cuando se usa gasolina Súper los factores de emisión para el HC y NOx son menores en relación al resto de las gasolinas, no siendo así para el caso del factor de emisión CO, donde los mejores resultados se presentan cuando se usa gasolina Súper G-Prix.

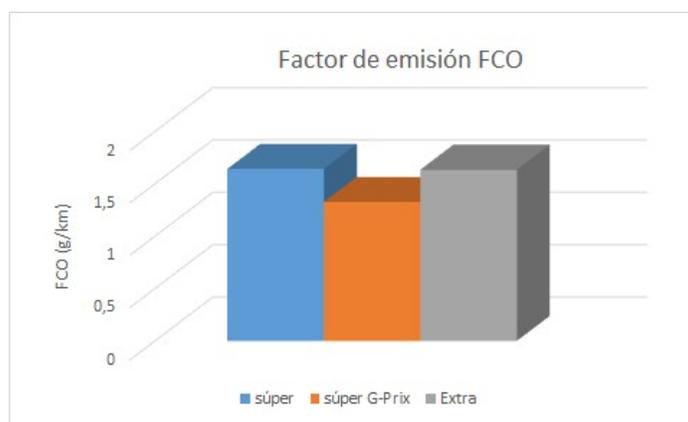


Figura 20 Gráfico comparativo del Factor de emisión CO para las distintas gasolinas

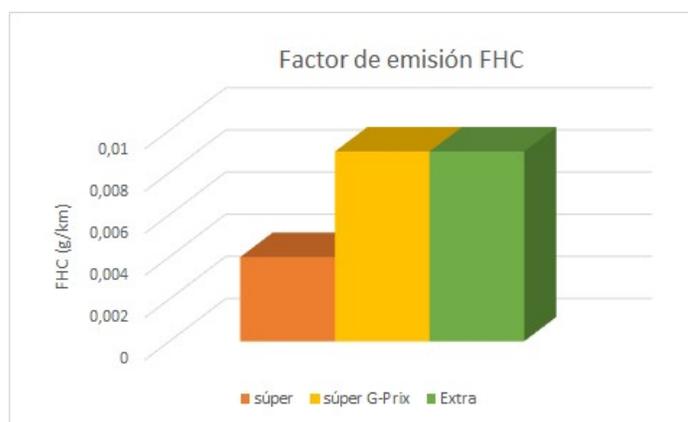


Figura 21 Gráfico comparativo del Factor de emisión HC para las distintas gasolinas

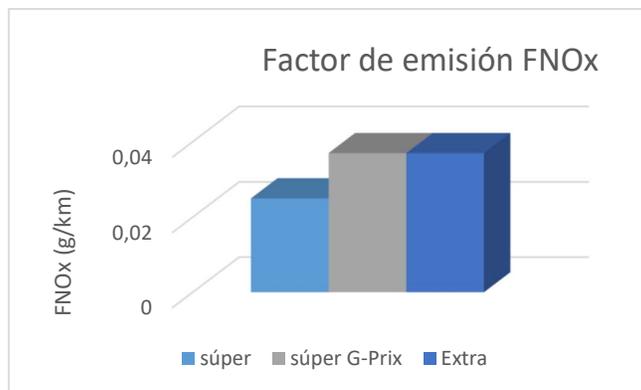


Figura 22 Gráfico comparativo del Factor de emisión NOx para las distintas gasolinas

En general la gasolina Súper y Súper G-Prix, que es similar a la Súper, pero con aditivos, tiene mejor respuesta a las emisiones siendo siempre menores para estos combustibles. Este comportamiento en uno de los gases medidos difiere del obtenido por Heng Teoh et al. (2018), donde a mayor octanaje mayor cantidad de gases de óxido nitroso (NOx) se obtiene. Este puede ser porque en este caso el motor del vehículo en prueba se encuentra calibrado para funcionar con gasolina de alto octanaje del medio en el que se desempeña, es decir la sierra ecuatoriana, mientras que el motor utilizado en el ensayo de Heng Teoh et al. (2018) es uno dedicado para este tipo de experimentos y no sufrió de una calibración especial para el medio en el que se desempeña. Además, las gasolinas utilizadas son de un octanaje muy superior al que se pueda tener en este medio.

En el trabajo de Celi Ortega et al. (2018), se analizan los mismos tipos de gases que en este trabajo y se observa que al variar el tipo de combustible si varía la cantidad de emisiones de las mismas, en este caso la gasolina Súper frente a la gasolina E50. La diferencia con el trabajo presentado no solo es en el uso de gasolina con mezcla de etanol sino también en que se realizan pruebas en ralentí para la medición de gases, prueba que no se tomó en cuenta en este estudio.

Un resultado de emisiones comparable al del vehículo utilizado en esta prueba de un cilindraje de 1800 cc es el obtenido para emisiones por Recalde y Revelo, (2015) donde se hace

la prueba dinámica aplicando la ruta IM240 utilizando un vehículo Toyota de 1800 cc. En este caso los valores de CO son similares a los de este estudio. En el caso de Llanes Cedeño et al. (2018), si se comparan 3 gasolinas la Súper, la Extra y la Ecopais y no se obtiene una diferencia significativa entre las emisiones HC y NOx para cada tipo de gasolina mientras que en el caso del CO las emisiones son mayores para la gasolina Ecopais que es una mezcla de etanol con Extra. Esto difiere de los datos obtenidos donde la menor cantidad de gases emitidos se logra con una gasolina de mejor calidad y octanaje. Esto puede deberse al modelo, cilindraje y año del vehículo utilizado.

4. CONCLUSIONES

- La eficiencia energética del motor de combustión interna analizado en este trabajo investigativo está directamente relacionada con el tipo de combustible utilizado para alimentarlo. Se observa que el uso de la gasolina Extra no permite tener el mismo desenvolvimiento del vehículo no solo en la parte energética, sino también ambiental ya que al usar este tipo de combustible se obtiene mayor cantidad de emisiones de CO, HC y NOx.
- El análisis de los resultados de torque y potencia en el vehículo utilizado se observa un mejor desempeño en el caso del uso de la gasolina Súper. En el caso de la gasolina Súper G-Prix se tiene resultados superiores a la gasolina Extra pero no llegan a tener la respuesta de la gasolina Súper convencional.
- El análisis de emisiones deja ver que la gasolina Súper tiene menores emisiones de NOx y HC mientras que se observa que en el caso del CO las emisiones son menores con el uso de la gasolina Súper G-Prix.
- El análisis de las hojas de datos de los combustibles utilizados en el Ecuador muestra que la gasolina Súper G-Prix es similar a la gasolina Súper, pero con la adición de aditivos

que permiten disminuir la cantidad de emisiones que genera en vehículo y disminuye el desgaste de los componentes del motor. Sin embargo, solo se pudo constatar que esta gasolina tiene un ligero mayor desempeño en torque y ligeramente menor en potencia que la gasolina Súper convencional y solo menores emisiones de monóxido de carbono.

- A pesar de que no se analiza el desempeño a lo largo del tiempo del vehículo al usar un determinado de combustible y el impacto que este tiene sobre las partes constitutivas del motor, se observa que a pesar que la gasolina Súper G-Prix no arroja resultados muy diferentes a la gasolina Súper convencional esta puede llegar a generar ahorro al disminuir el desgaste de las partes del motor.
- El uso de la prueba IM240 para el análisis del consumo de combustible y la generación de emisiones de gases permite tener un ambiente controlado donde someter al vehículo a condiciones habituales de aceleración y desaceleración que facilita hacer el análisis sobre el vehículo.

5. REFERENCIAS

4.1 *El motor de 4 tiempos - LAS MÁQUINAS TÉRMICAS*. (n.d.). Retrieved August 10, 2020, from <https://sites.google.com/site/quesunamaquinatermica/combustion-interna/4-1-el-motor-de-4-tiempos>

Afework, B., & Donev, J. (2019). *Four stroke engine - Energy Education*. Energy Education. https://energyeducation.ca/encyclopedia/Four_stroke_engine

Barlow, T., Latham, S., Mccrae, I., & Boulter, P. (2009). A reference book of driving cycles for use in the measurement of road vehicle emissions. In *TRL Published Project Report*. http://www.trl.co.uk/online_store/reports_publications/trl_reports/cat_traffic_and_the_environment/report_a_reference_book_of_driving_cycles_for_use_in_the_measurement_of_road_vehicle_emissions.htm%5Cnhttps://www.gov.uk/government/uploads/system/upl

oads/a

CarBikeTech. (n.d.). *What Are The Types Of Fuel Feed System Of Engine?* - CarBikeTech.

Retrieved August 10, 2020, from <https://carbiketech.com/engine-fuel-feed-system-types/>

Celi Ortega, S., Ortega, F., Rocha Hoyos, J., Peralta Zurita, D., & Salazar, P. (2018).

Comportamiento de las emisiones en motor de encendido provocado a base de etanol a 2850 msnm Behavior of the on ignition engine emissions based on. *UTCiencia*, 5(1), 1–10.

Chevrolet. (2018). *Chevrolet Tracker 2013-2015*. http://www.happybuyleads.com/car-dvd-player-for-chevrolet-tracker-20132015-gps-navigation-auto-radio-stereo-bluetooth-tv-p-146.html?referrer=CNWR_3271437443451

Demirbas, A., Balubaid, M. A., Basahel, A. M., Ahmad, W., & Sheikh, M. H. (2015). Octane Rating of Gasoline and Octane Booster Additives. *Petroleum Science and Technology*, 33(11), 1190–1197. <https://doi.org/10.1080/10916466.2015.1050506>

García, A., Monsalve Serrano, J., Villalta, D., & Sari, R. (2019). Octane number influence on combustion and performance parameters in a Dual-Mode Dual-Fuel engine. *Fuel*, 258(May), 116140. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.116140>

Giakoumis, E. G. (2017). *Driving and Engine Cycles*. Springer.

Gillespie, T. D. (1992). *Fundamentals of vehicle dynamics*. Society of Automotive Engineers.

Grupo Editorial El Comercio. (2019). *Medidas económicas 2018: ¿Cuánto cuesta la gasolina en América Latina?* | Metro Ecuador. El Comercio. <https://www.metroecuador.com.ec/ec/noticias/2018/08/22/medidas-economicas-2018-cuanto-cuesta-gasolina-america-latina.html>

Grupo Editorial El Universo. (2018). *Más ventas de vehículos sobretodo los SUV, expectativa del sector automotor en Ecuador para el 2019* | Compras | Entretenimiento | El Universo. El Universo.

<https://www.eluniverso.com/entretenimiento/2018/11/16/nota/7052973/boom-ventas-vehiculos-sobretudo-tipo-suv-expectativa-sector>

Grupo Editorial El Universo. (2019). *¿Sabes cuáles son los 10 carros preferidos por los ecuatorianos?* | *Motores* | *Entretenimiento* | *El Universo*. El Universo.

<https://www.eluniverso.com/entretenimiento/2019/11/08/nota/7594208/sabes-cuales-son-10-carros-preferidos-ecuatorianos>

Heng Teoh, Y., Geok How, H., Hwa Yu, K., Guan Chuah, H., & Loon Yin, W. (2018).

Influence of Octane Number Rating on Performance, Emission and Combustion Characteristics in Spark Ignition Engine. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences Journal Homepage*, 45, 22–34.

www.akademiabaru.com/arfmts.html

Instituto de Investigación Geológico y Energético. (2018). *BALANCE ENERGÉTICO NACIONAL 2018*.

INYECCIÓN DE COMBUSTIBLE (sistema) | Partes y su funcionamiento. (n.d.). Retrieved August 10, 2020, from <https://como-funciona.co/una-inyeccion-de-combustible-sistema/>

Kropiwnicki, J., Kneba, Z., & Ziółkowski, M. (2013). Test for assessing the energy efficiency of vehicles with internal combustion engines. *International Journal of Automotive Technology*, 14(3), 479–487. <https://doi.org/10.1007/s12239-013-0052-9>

Leguísamo Milla, J. C., Llanes Cedeño, E., & Rocha Hoyos, J. (2020). Impacto del Ecodriving sobre las emisiones y consumo de combustible en una ruta de Quito. *Enfoque UTE*, 11(1), 68–83. <https://doi.org/10.29019/enfoque.v11n1.500>

Leguísamo Milla, J., Celi Ortega, S., Llanes Cedeño, E., & Rocha Hoyos, J. (2019).

Estratificación de un motor de inyección directa a gasolina al variar la altitud altitude. *Revista Ciencia UNEMI*, 12(May), 46–56.

Li, Y., Jia, M., Kokjohn, S. L., Chang, Y., & Reitz, R. D. (2018). Comprehensive analysis of

exergy destruction sources in different engine combustion regimes. *Energy*, 149, 697–708. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.02.081>

Llanes Cedeño, E. A., Rocha-Hoyos, J. C., Peralta Zurita, D. B., & Leguísamo Milla, J. C. (2018). Evaluación de emisiones de gases en un vehículo liviano a gasolina en condiciones de altura. Caso de estudio Quito, Ecuador. *Enfoque UTE*, 9(2), 149–158. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v9n2.201>

Mashadi, B., & Crolla, D. (2012). *Vehicle powertrain systems*.

<https://pdfs.semanticscholar.org/f303/110122dbf9286771ef543bf693e32a023457.pdf>

Phineas. (2014). *engine – Sankey Diagrams*. <http://www.sankey-diagrams.com/tag/engine/>

Recalde, M., & Revelo, R. (2015). *Análisis De Emisiones En Vehículos a Gasolina Utilizando Pruebas Estacionaria Y Dinámica Mediante Ciclo Im-240*.

Redacción Interempresas. (2018). *10 tecnologías para un futuro brillante de los motores de combustión y los cambios manuales - Automoción*. Interempresas.Net.

<https://www.interempresas.net/Sector-Automocion/Articulos/216273-10-tecnologias-para-futuro-brillante-de-motores-de-combustion-y-cambios-manuales.html>

Rocha Hoyos, J., Llanes Cedeño, E. A., Andrade Villarreal, J., Caiza Quishpe, L., &

Leguísamo Milla, J. (2019). Incidencia del uso de gasolina extra y mezcla al 5 % con etanol anhidro en los microfiltros de los inyectores multipunto. *Enfoque UTE*, 10(2), 28–38. <https://doi.org/10.29019/enfoque.v10n2.430>

Seong, H., Choi, S., & Lee, K. (2014). Examination of nanoparticles from gasoline direct-injection (GDI) engines using transmission electron microscopy (TEM). *International Journal of Automotive Technology*, 15(2), 175–181. <https://doi.org/10.1007/s12239-014-0019-5>

Serpa Andrade, G. F., & Zumba Tenezaca, X. A. (2016). *DETERMINACIÓN DE LA INFLUENCIA EN EMISIONES CONTAMINANTES, TORQUE, POTENCIA Y*

CONSUMO DE COMBUSTIBLE DE UN VEHÍCULO CON MOTOR CICLO OTTO, DE INYECCIÓN ELECTRÓNICA DE GASOLINA, MEDIANTE LA VARIACIÓN DE 6 TIPOS DE BUJÍAS.

Smith, C. (2020). *20 Best-Selling Cars And Trucks Of 2018*. Motor1.

<https://www.motor1.com/features/358016/20-bestselling-vehicles-2019/>

Taípe Defaz, V. A., Antonio, E., & Llanes Cedeño, E. A. (2020). "*Evaluación Energética Y Exergética De Un Motor De Encendido Provocado Experimental Bajo Diferentes Gasolinas*" Universidad Internacional SEK Facultad De Ciencias Naturales Y Ambientales "*Evaluación Energética Y Exergética De Un Motor De Encendido Provocado*. UISEK.

Urbina Guzmán, A. J. (2016). *Comparación de factores de emisión vehicular al utilizar ciclos de conducción IM240 y on board en la ciudad de Quito*.

<http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/15097>

Valdivieso Salazar, M. F. (2016). *Levantamiento y Diseño de un Manual de Procesos de una Empresa Comercializadora de Combustibles y Derivados: Caso Px Trabajo*.