

**“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE DOS MOTORES CICLO OTTO CON DOS
TIPOS DE COMBUSTIBLE A 2800 MSNM”**

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y AMBIENTALES

Trabajo de Fin de Carrera Titulado:

**“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE DOS MOTORES CICLO
OTTO CON DOS TIPOS DE COMBUSTIBLE A 2800 msnm”**

Realizado por:

JHONNY DARIO BENÍTEZ CHAMBA

Director del proyecto:

Ing. Edilberto Antonio Llanes Cedeño, Ph.D.

Como requisito para la obtención del título de:

**MAGISTER EN ECOEFICIENCIA INDUSTRIAL MENCIÓN EFICIENCIA
ENERGÉTICA**

Quito, abril de 2020

“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE DOS MOTORES CICLO OTTO CON DOS TIPOS DE COMBUSTIBLE A 2800 MSNM”

DECLARACIÓN JURAMENTADA

Yo, JHONNY DARIO BENITEZ CHAMBA, con cédula de identidad # 110377922-7, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o 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.

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Jhonny Dario Benitez Chamba', written over a light blue rectangular background.

FIRMA
110377922-7

“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE DOS MOTORES CICLO OTTO CON DOS TIPOS DE COMBUSTIBLE A 2800 MSNM”

DECLARATORIA

El presente trabajo de investigación titulado:

“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE DOS MOTORES CICLO OTTO CON DOS TIPOS DE COMBUSTIBLE A 2800 MSNM”

Realizado por:

JHONNY DARIO BENÍTEZ CHAMBA

como Requisito para la Obtención del Título de:

MAGISTER EN ECOEFICIENCIA INDUSTRIAL MENCIÓN EFICIENCIA ENERGÉTICA

ha sido dirigido por el profesor

EDILBERTO LLANES CEDEÑO, Ph.D.

quien considera que constituye un trabajo original de su autor



FIRMA

“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE DOS MOTORES CICLO OTTO CON DOS TIPOS DE COMBUSTIBLE A 2800 MSNM”

LOS PROFESORES INFORMANTES

Los Profesores Informantes:

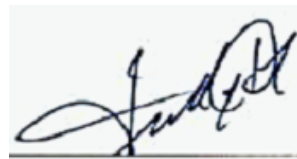
JUAN CARLOS JIMA

JULIO LEGUISAMO MILLA

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



FIRMA



FIRMA

Quito, abril de 2020

**“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE DOS MOTORES CICLO OTTO CON DOS
TIPOS DE COMBUSTIBLE A 2800 MSNM”**

DEDICATORIA

A Dios por sus infinitas bendiciones, a mi madre por su amor incondicional, a mi esposa e hijos por su comprensión y búsqueda de nuevos objetivos, que fueron el pilar fundamental en los momentos más oportunos, para poder lograr una meta tan anhelada.

“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE DOS MOTORES CICLO OTTO CON DOS TIPOS DE COMBUSTIBLE A 2800 MSNM”

AGRADECIMIENTO

A mi director por su valiosa y desinteresada colaboración. A la UISEK, por su predisposición en desarrollar nuevos modelos y formas de investigación para un desarrollo sostenible de los sectores estratégicos, con bases sólidas de eficiencia energética aplicada a todos los grupos empresariales del país.

“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE DOS MOTORES CICLO OTTO CON DOS TIPOS DE COMBUSTIBLE A 2800 MSNM”

Para someter a:

To be submitted:

Evaluación del comportamiento de dos motores ciclo Otto con dos tipos de combustible a 2800 msnm.

Edilberto Llanes Cedeño

Juan Carlos Jima

Julio Leguisamo Milla

1 Universidad Internacional SEK, Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales,
Quito, Ecuador.

***AUTOR DE CORRESPONDENCIA:**

Teléfono: 0996756639; email: jdbenitez.mee@uisek.edu.ec

Título corto o Running title: Evaluación de motores ciclo Otto con combustible súper.

“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE DOS MOTORES CICLO OTTO CON DOS TIPOS DE COMBUSTIBLE A 2800 MSNM”

Resumen.

La gasolina Súper en el Ecuador evidencia una caída en su consumo desde que las autoridades liberaron su precio en el 2018, para lograr mayor competitividad la empresa privada opto por ofrecer a sus clientes una gasolina súper mejorada, a diferencia de la ofrecida normalmente. El transporte es el mayor consumidor de gasolinas en el Ecuador, (Sielacolade, 2018), como un aporte a la eficiencia energética de los sectores estratégicos del país, se evalúan factores esenciales en el rendimiento de los motores utilizando combustibles refinados estatalmente o importados, buscando factores para minimizar y fortalecer procesos empresariales y públicos. El actual estudio tiene por objetivo Evaluar el rendimiento y emisiones ambientales, de dos motores ciclo Otto, con dos tipos de combustible, mediante pruebas dinamométricas, para la determinación de la eficiencia del MCI, bajo condiciones de variación de cilindrada y octanaje a 2800 msnm. Se realizan las pruebas estacionarias en un dinamómetro y con una simulación de ciclo de ruta IM240 de 6,4 kilómetros, en base a protocolos establecidos por el Laboratorio de Emisiones y Revisión Vehicular (CCICEV) en Quito-Ecuador a 2800 msnm. Se concreta el método experimental y los equipos de evaluación para ejecutar las pruebas sobre los vehículos, el análisis de los resultados se los obtendrá por medio de software de datos, combinando gráficas estadísticas con procedimientos de modelación matemática, la gasolina súper g-prix es el combustible que menos variación de factores de emisión tiene, dando valores promedios de las tres pruebas de; FCO 0,254 g/km, FHC 0,008 g/km, FNOx 0,241 g/km, de cierta forma garantiza un porcentaje de emisiones estable, cumpliendo la norma NTE INEN 2204, donde los límites máximos de factores de emisión son: 2,2 gCO/km, 0,25 gHC/km, 0,62 gNOx/km, mientras que el combustible súper normal fluctúa de acuerdo a la potencia del motor. El efecto de una gasolina con aditivo si da mayores prestaciones en cuanto a rendimiento y a emisiones ambientales, por lo tanto, es una solución a largo plazo el de invertir para no tener un correctivo mayor en un motor de combustión.

Palabras clave.

Gasolina súper, gasolina súper g-prix, octanos, motor ciclo Otto, par, torque, emisiones, consumo de combustible.

“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE DOS MOTORES CICLO OTTO CON DOS TIPOS DE COMBUSTIBLE A 2800 MSNM”

Abstract.

Super gasoline in Ecuador shows a drop in its consumption since the authorities released its price in 2018, to achieve greater competitiveness the private company chose to offer its customers an improved super gasoline, unlike that normally offered. Transportation is the largest consumer of gasoline in Ecuador and as a contribution to the energy efficiency of the country's strategic sectors, essential factors in the performance of engines are evaluated using state-refined or imported fuels, looking for factors to minimize and strengthen processes business and public. The current study aims to determine the performance of two Otto cycle engines, (torque, power, fuel consumption) and emission factors (exhaust gas analysis) with two types of fuel, through dynamic road tests, in cycle driving dynamometer for the evaluation of the efficiency of the MCI, under conditions of variation of displacement and octane number. The stationary tests are carried out on a dynamometer and with an IM240 road cycle simulation of 6.4 kilometers, based on protocols established by the Emissions and Vehicle Review Laboratory (CCICEV) in Quito-Ecuador at 2800 meters above sea level. The experimental method and the evaluation teams are specified to execute the tests on the vehicles, the analysis of the results is done by means of data software, combining statistical graphics with mathematical modeling procedures, the super g-prix gasoline is the fuel What less variation of emission factors has, giving average values of the three tests of; FCO 0.254 g / km, FHC 0.008 g / km, FNOx, 0.241 g / km, in a certain way guarantees a stable percentage of emissions, complying with the NTE INEN 2204 standard, where the maximum limits of emission factors are: 2.2 g CO / km, 0.25 gHC / km, 0.62 gNOx / km, while super normal fuel fluctuates according to engine power. The effect of a gasoline with an additive does give greater benefits in terms of performance and environmental emissions, therefore it is a long-term solution to invest in order not to have a major corrective in a combustion engine.

“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE DOS MOTORES CICLO OTTO CON DOS TIPOS DE COMBUSTIBLE A 2800 MSNM”

Introducción.

El uso del combustible súper de 92 octanos por los vehículos livianos, ha sufrido una reducción importante en su disposición final en los últimos años. La demanda de este combustible es marginal. En base a estos antecedentes la gasolina súper esta en continuo decrecimiento en su consumo, los costos por galón y la mejora de octanaje del combustible extra promovió a que el cliente final decida por un combustible de menor precio, sin tomar en cuenta detalles importantes como el rendimiento y emisiones ambientales según el tipo de cilindrada del motor que tenga el vehículo a utilizarse. En la tabla 1 se muestran los informes estadísticos de Ep Petroecuador, enero-mayo 2020, y se evidencia una fuerte caída en este tipo de combustible, acompañado de la gran pandemia que influye a nivel mundial.

Tabla 1.

Producción de gasolina súper 2020.

*Gasolina súper disponible en el mercado interno
Año 2020*

Mes	Oferta nacional	Demanda
Enero	171255	225256
Febrero	228683	213668
Marzo	227309	130748
Abril	76310	37335
Mayo	56405	82524
TOTAL	1327290	1225000

Nota: Datos estadísticos (Ep Petroecuador 2020).

En la figura 1, se observa el decrecimiento del requerimiento de la gasolina súper a nivel de todo el Ecuador.

“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE DOS MOTORES CICLO OTTO CON DOS TIPOS DE COMBUSTIBLE A 2800 MSNM”

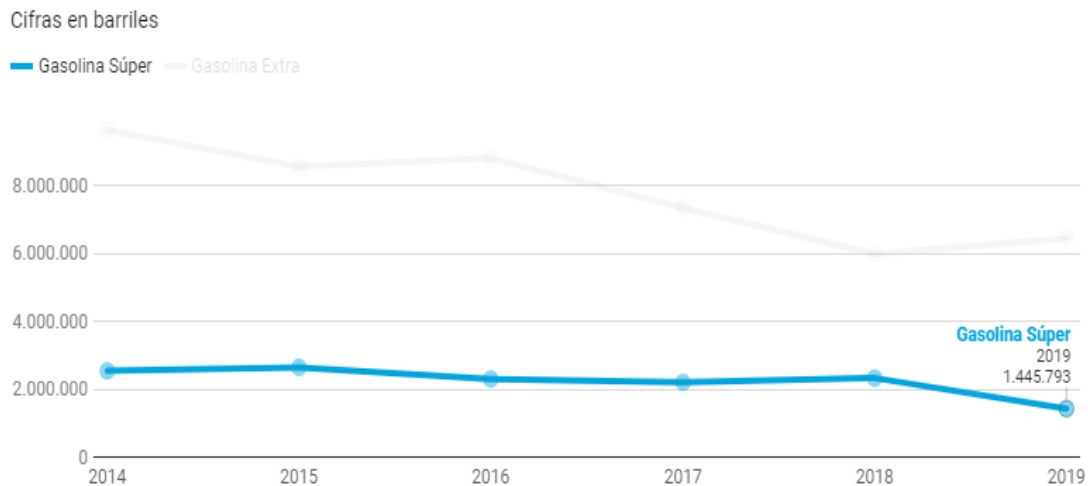


Figura 1. Comercialización de gasolina súper (Ep Petroecuador, 2019).

Por esta disminución del consumo de gasolina súper, la empresa privada propone un nuevo modelo de gasolina de alto octanaje para enriquecer el rendimiento de los motores ciclo Otto y mínimas emisiones al medio ambiente.

Para ello se ha propuesto:

- **Objetivo general.**

Evaluar el rendimiento y emisiones ambientales, de dos motores ciclo Otto, con dos tipos de combustible, mediante pruebas dinamométricas, para la determinación de la eficiencia del MCI, bajo condiciones de variación de cilindrada y octanaje a 2800 msnm.

Objetivos específicos.

- Determinar los valores de torque, potencia, consumo y factores de emisión de los dos motores ciclo Otto, mediante pruebas estáticas y ciclo de conducción IM240, con el uso de gasolina súper normal y gasolina súper g-prix, para establecer las variables y observar su comportamiento.
- Comparar las cifras obtenidas, modelar los valores y determinar factores predominantes que le hacen al combustible o motor más eficiente, con mejores prestaciones y resultados para el cliente final.

“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE DOS MOTORES CICLO OTTO CON DOS TIPOS DE COMBUSTIBLE A 2800 MSNM”

- Definir mediante la aplicación del software de análisis estadístico de datos *Statgraphics*, el análisis descriptivo de las variables, utilizando gráficos que expliquen su distribución o calculando sus medidas características de los elementos empleados para obtener los mejores tratamientos.

Estado del arte

El combustible que se va a usar en los vehículos con motor de ciclo Otto, siempre queda a reflexión del consumidor, sin embargo, no resta importancia comprobar, si en realidad existen efectos negativos en cuanto a rendimiento, economía e emisiones ambientales de los diferentes tipos de combustibles y disponibles en Ecuador.

La marca Primax Ecuador, tiene una participación del 22% en el mercado ecuatoriano, tiene un producto único que es la gasolina súper g-prix y para ser más competitivo, en sus informes técnicos del combustible súper g-prix, argumenta que hay:

- MAYOR LIMPIEZA: Remueve y previene los depósitos que se forman en las piezas del motor.
- MÁS PROTECCIÓN: Cubre el motor con una película protectora que evita daños en el motor por corrosión de gases y humedad.
- MEJOR RENDIMIENTO: Cuenta con tecnología FRICCIÓN MODIFIER que evita el desgaste del pistón disminuyendo la fricción lo que proporciona un ahorro en el consumo de combustible.
- MENOS EMISIONES: Sus nuevos aditivos dan un efecto de limpieza, que remueve los depósitos de carbón evitando la acumulación de residuos que producen emisiones.

La gasolina SUPER G-PRIX, a diferencia de la gasolina súper del mercado, es la única gasolina del país que posee aditivos alemanes de última generación que limpian y mejoran el rendimiento del motor. Cuenta con tecnología FRICCIÓN MODIFIER que evita el desgaste del pistón disminuyendo la fricción, proporcionando ahorro en el consumo de combustible. (Primax 2017)

Versus la gasolina producida y expedida en las estaciones de servicio de todo el Ecuador que nos dice que:

“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE DOS MOTORES CICLO OTTO CON DOS TIPOS DE COMBUSTIBLE A 2800 MSNM”

- Las gasolinas con mayor octanaje responden al requerimiento de una alta compresión en los motores, aumentando el rendimiento de los mismos.
- Disminución de los costos de mantenimiento de los vehículos; pues al tener motores de alta compresión el combustible se adapta a esta característica.
- Un mayor rendimiento y vida útil de los motores pues disminuye el autoencendido prematuro de la mezcla combustible-aire. Con esto, se evita que el pistón sufra un golpe brusco (cascabeleo).
- La gasolina con mayor octanaje permite desarrollar motores con una mayor relación de compresión, generando mayor rendimiento.

A más de los beneficios que ofrece el nuevo octanaje de la gasolina súper a los motores de los vehículos, también se genera un beneficio ambiental; pues disminuye la emisión de gases de combustión no deseables; esto por cuanto genera una mejor combustión y mayor rendimiento del combustible (Ep Petroecuador, 2018).

La eficiencia volumétrica depende de factores tales como el flujo sin obstáculos de mezclas de aire y combustible a través de válvulas y puertos, y el mantenimiento de una alta compresión mediante un cierre y sincronización eficientes de la válvula. Sin embargo, la mayoría de los combustibles que se utilizan hoy en día, cuando se emplean en dichos motores, se deterioran y dejan depósitos carbonosos duros en la parte inferior de la válvula de admisión y en los vástagos y en los puertos de la válvula, lo que interfiere con el asiento adecuado de la válvula y provoca la consiguiente pérdida de potencia y, por lo tanto, requiere un mantenimiento frecuente. que los motores puedan desarrollar su máxima eficiencia en cuanto a potencia y consumo de combustible. Estos depósitos son el resultado en parte del retroceso de los productos de descomposición de la cámara de compresión y en parte de la descomposición del aceite del cárter que ingresa a través del vástago de la válvula. Los depósitos también pueden contener compuestos de plomo que resultan de la descomposición de mejoradores de octano que contienen plomo. Estos depósitos se adhieren firmemente a las válvulas y puertos y los detergentes de combustible que se utilizan actualmente en los combustibles tienen poco o ningún efecto en la reducción de los depósitos ya formados o en la prevención de la formación de nuevos depósitos dañinos.

El número de octano, según estudios en 1929, Graham Edgar propuso una escala de octanos. En esta escala, dos HCs parafínicos, tienen seleccionado como estándares

“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE DOS MOTORES CICLO OTTO CON DOS TIPOS DE COMBUSTIBLE A 2800 MSNM”

(PRF, combustibles de referencia primarios), iso-octano (2-2-4 trimetil pentano), con muy alta resistencia al golpe, (arbitrariamente asignado un valor de 100) y n-heptano con resistencia a los golpes extremadamente baja (se le asigna un valor de 0).

El motor de prueba para determinar los valores de octano, fue desarrollado por Cooperative Fuel Research Committee (CFR). Es un motor CR mono cilíndrico variable (Dulari, 2013).

En los estudios de investigación sobre combustibles para motores de encendido por chispa, el objetivo es mejorar las propiedades, disminuir el consumo de combustible del motor, aumentar la potencia del motor y disminuir las emisiones de escape no deseadas. Se ha logrado un progreso considerable en el motor de encendido por chispa a lo largo de sus más de 100 años de historia, particularmente en los últimos años, (Nagai S, 2000). Las emisiones de escape de los automóviles y el rendimiento del motor tienen una relación muy cercana con la calidad de la gasolina (índice de octano).

La gasolina es el combustible principal de un motor de combustión interna. Aumentar la eficiencia del combustible, cambiar sus atributos y características progresivas son las principales áreas de investigación en la industria automotriz. El octanaje de la gasolina es uno de los parámetros más importantes que determina la calidad del combustible. El efecto del índice de octano sobre la detonación ha sido investigado, ya que el índice de octano de una gasolina es una medida de su resistencia a la detonación, (Korkmaz, A 1996).

El índice de octano de un motor se determina de acuerdo con el diseño del motor y la relación de compresión. El clima, las condiciones de conducción y las condiciones mecánicas del motor son algunos ejemplos que podrán influir en este requisito. Por ejemplo, si en la cámara de combustión, los depósitos disminuyen la eficiencia volumétrica, lo que aumenta el requerimiento de octanaje y la probabilidad de detonación. Disminución de la eficiencia de enfriamiento, problemas en los sistemas de combustible, problemas de encendido y falla de los controles de emisiones también pueden cambiar los requisitos de octanaje, (Cenk Sayin, 2004).

En la práctica, se cree que el índice de octanaje más alto mejora el rendimiento del motor. Esto atrae a la gente a utilizar gasolina de mayor octanaje en sus motores.

“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE DOS MOTORES CICLO OTTO CON DOS TIPOS DE COMBUSTIBLE A 2800 MSNM”

Aunque hay estudios, que usar la gasolina correcta es lo mejor para el motor, la gente todavía prefiere usar gasolina de mayor octanaje. El uso excesivo de gasolina de mayor octanaje en el motor prolonga el retraso del encendido y aumenta la velocidad de la llama más corta. Sin embargo, para alcanzar la máxima presión de combustión, es esencial tener más tiempo. Esto conduce a la presión máxima para aumentar la potencia de salida del motor. Si se utiliza la gasolina de menos octano, el punto de inflamación será menor que el de la gasolina de octanaje normal. El tiempo que se gasta entre encendidos y arranque de la combustión, será muy breve. Esto provoca una disminución de la potencia efectiva, (Chanchaowna S, 1999).

En el mercado ecuatoriano solo existe un proveedor de combustibles y es Petrocomercial, Primax a este combustible le da un valor agregado, utilizando un aditivo, que es un detergente que ayuda a mantener limpio los inyectores y pistones, mejorando la combustión. En el siguiente grafico podemos observar y diferenciar el ángulo de pulverizado de un inyector limpio y otro defectuoso. En la figura 2, se aprecia cuando el inyector está limpio se quema en su totalidad el combustible y es eficiente (Merchán, 2010).

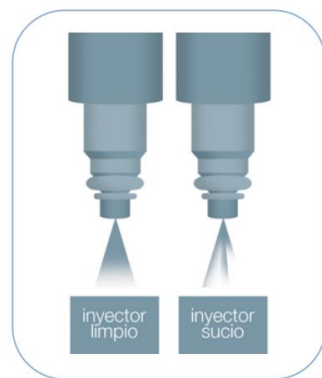


Figura 2. Inyectores (Merchán, 2010)

Con este aditivo no se generan gomillas en la parte inferior del motor, que son producto de la mala combustión, además posee un anticorrosivo que protege al motor, ya que el combustible posee partículas de agua. La marca del aditivo es BASF (Merchán, 2010).

“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE DOS MOTORES CICLO OTTO CON DOS TIPOS DE COMBUSTIBLE A 2800 MSNM”

Consumo de combustible.

En la figura 3, se puede apreciar la participación del consumo final por sectores energéticos y sectores productivos del Ecuador en el año 2018 con una medición de [10³ bep], se observa que la gasolina tiene una participación del 18,6 % y que en su mayoría se utiliza para el sector del transporte y en un mínimo porcentaje para la construcción.

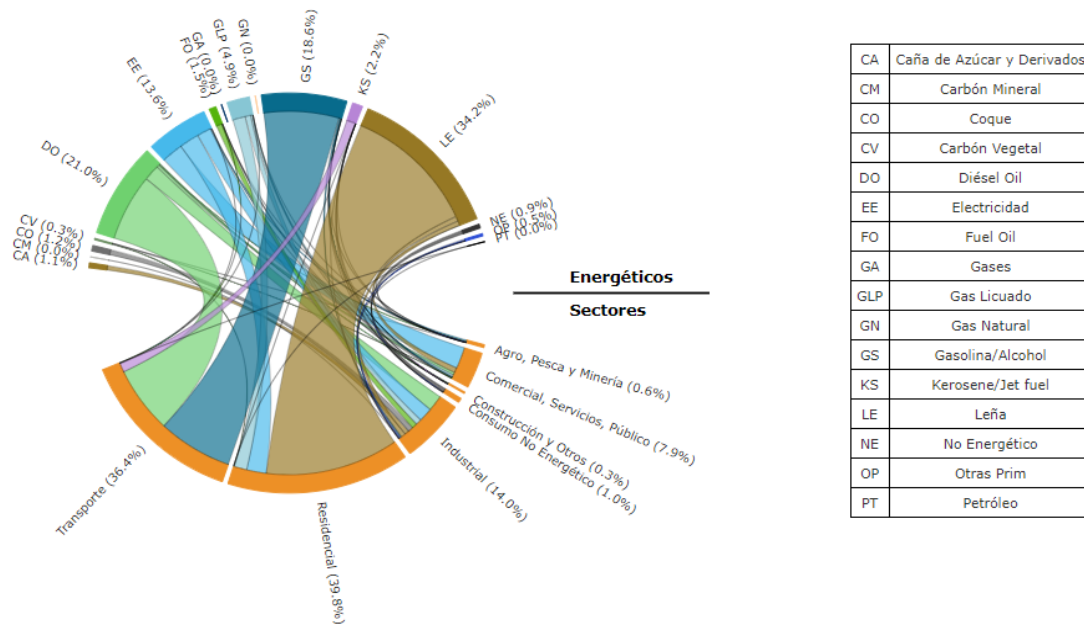


Figura 3. Consumo de sectores estratégicos (Sielacolade, 2018).

En los últimos años la contaminación del medio ambiente ha sido de crucial interés, a nivel global. Hoy en día, Estados Unidos es una de las naciones más motorizadas, con 821 vehículos por cada 1000 personas en 2015 (OICA, 2018).

El sector del transporte es culpable de una considerable cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero en la UE28, lo que lo convierte en el segundo emisor más grande después de la producción de energía (EEA, 2018; Comisión Europea, 2018).

Ha pasado más de un siglo desde que los motores de gasolina se emplearon por primera vez y fueron ampliamente utilizados como motores principales para actividades humanas, como el transporte y la generación de energía. Las tecnologías para diseñar y hacer motores de gasolina están bien desarrolladas. Pero las preocupaciones ambientales desde la década de 1970, han hecho el control de las emisiones del motor, un desafío para la industria automotriz. Los ingenieros e investigadores han tomado numerosas

“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE DOS MOTORES CICLO OTTO CON DOS TIPOS DE COMBUSTIBLE A 2800 MSNM”

medidas para reducir las emisiones del motor y cumplir con las restricciones sobre la calidad y cantidad de emisiones permitido en las diferentes aplicaciones. La necesidad de cumplir con la legislación sobre emisiones significa que es apropiado investigar continuamente las formas de reducir las emisiones sin comprometer la eficiencia del motor o aumentar el costo de fabricación de motores. Uno de las mejoras para bajar el impacto de las emisiones al medio ambiente, es mejorar el octanaje en los combustibles, para ello el estado Ecuatoriano mejoro la calidad de los combustibles y a su vez entro en estándares internacionales como punto verde e iniciativa para cumplir normativa para la eficiencia de los sectores estratégicos del país.

Emisiones.

De acuerdo a los análisis de la Organización Mundial de la Salud (OMS) 2012-2013, las ciudades del Ecuador sobrepasan los niveles internacionales de contaminación de 10 ug/m³ perjudiciales para la salud, Quito, Milagro y Santo Domingo tienen 18 ug/m³, 32 ug/m³ y 33 ug/m³ de material particulado 2,5 (PM_{2,5}) respectivamente (OMS, 2016; Rocha, 2017).

Las emisiones y el consumo de combustible se han reducido significativamente en virtud de los esfuerzos en el diseño del motor. Sin embargo, es difícil alcanzar los estándares de emisión requeridos únicamente a través del diseño del motor (Çelik, 2015).

En un estudio de Celik (2015), se informó claramente que el número de octano juega un papel importante en las emisiones de escape. En este trabajo, dos combustibles de gasolina de diferentes octanos, 91 y 93 respectivamente, se llevaron a cabo en un motor de cuatro cilindros y cuatro tiempos. Los resultados demostraron que a medida que el índice de octano se incrementó de 91 a 93, las emisiones de CO aumentaron casi un 5%.

Los aditivos utilizados para aumentar el octanaje también influyen en las emisiones. Por ejemplo, un estudio realizado por Sayin (2003), confirma que el tetraetilo de plomo en la gasolina es un parámetro muy importante que influye en el contenido de emisiones de escape.

Las principales emisiones gaseosas de los motores de gasolina son hidrocarburos (HC), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂) y óxidos de nitrógeno

“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE DOS MOTORES CICLO OTTO CON DOS TIPOS DE COMBUSTIBLE A 2800 MSNM”

(NO_x, es decir, NO y NO₂). Entre ellos, el NO_x es el gas más dañino que necesita ser minimizado (Yaodong, 2013).

Durante el desarrollo del ciclo de funcionamiento del motor y logrando una combustión ideal se obtendría nitrógeno molecular (N₂), agua (H₂O) y dióxido de carbono (CO₂). Pero como resultado de los ciclos de funcionamiento de un motor térmico la combustión no llega a ser perfecta, dando lugar a que se generen elementos adicionales como son compuestos orgánicos volátiles (COV), monóxido de carbono (CO), óxidos de azufre, humos negros, compuesto de plomo y óxidos de nitrógeno (NO y NO₂).

El monóxido de nitrógeno (NO) se forma por la reacción de nitrógeno y oxígeno, a altas temperaturas en la cámara de combustión. El dióxido de nitrógeno (NO₂) es un gas rojizo e irritante que al ser inhalado se adhiere en la mucosa nasal formando ácido nítrico. La generación de este ácido provoca una reacción inmediata: la irritación de las vías respiratorias juntamente con un malestar en los ojos; los pulmones son afectados provocando problemas respiratorios y reacciones broncopulmonares (Rojas, 2019).

En la figura 4, se muestra las emisiones de CO₂ en el Ecuador en el año 2018, el transporte es la principal fuente de contaminación, ya que su operación se basa en derivados del petróleo

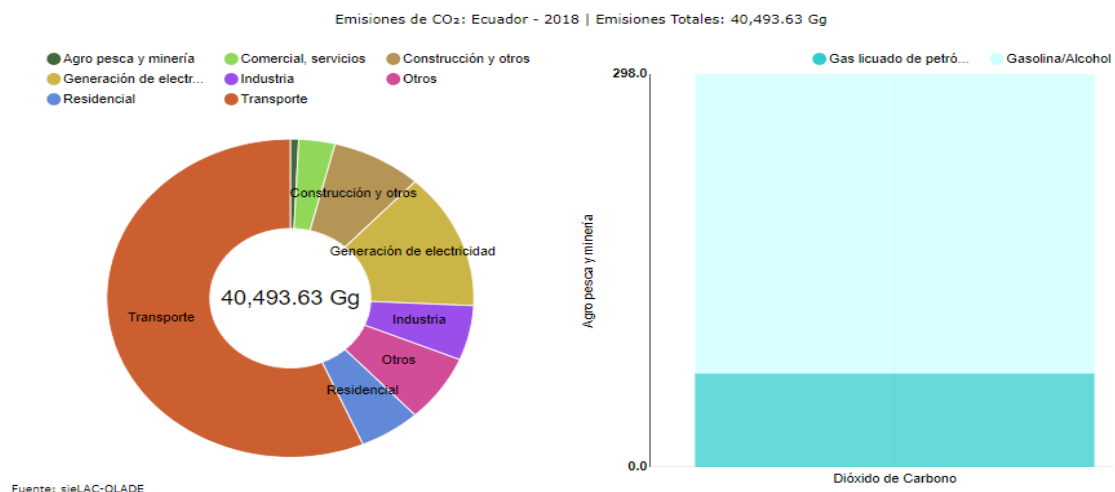


Figura 4. Emisiones CO₂ 2018 Ecuador (Sielacolade, 2018).

“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE DOS MOTORES CICLO OTTO CON DOS TIPOS DE COMBUSTIBLE A 2800 MSNM”

Motor ciclo Otto.

Los vehículos propulsados por motores Otto de gasolina se han diseñado durante muchos años con sincronización del árbol de levas. La simplicidad, compacidad y rigidez de este diseño lo hacen rentable, y los ingenieros se han resistido a rediseñar para mejorar el ahorro de combustible y reducir las emisiones contaminantes. Preocupaciones sobre la conservación de energía, el golpe del motor de preencendido, la emisión de contaminantes y la producción de dióxido de carbono ha provocado modificaciones en el motor Otto.

El motor Otto funciona con admisión estrangulada, aire (que gobierna la cantidad) y un combustible casi homogéneo, aproximadamente estequiométrico. Tradicionalmente, la composición de la mezcla dependía de las condiciones de funcionamiento del motor, es decir, a plena carga y directamente después del arranque en frío, los motores operados con un exceso de combustible (mezcla rica), mientras que bajo carga parcial más cerca de la mezcla estequiométrica. Para la preparación de la mezcla aire-combustible previamente fueron usados carburadores.

Los inyectores de combustible electrónicos modernos, en particular, son superiores a los carburadores con respecto a rendimiento, consumo de combustible y precisión de control de la fuerza de la mezcla necesaria para el uso eficiente de convertidores catalíticos de tres vías. Por lo tanto, los carburadores fueron reemplazados gradualmente por sistemas de inyección de combustible. Un último desarrollo son los denominados motores de inyección directa (GDI, FSI), que ofrecen una óptima eficiencia de combustible. La principal ventaja de esta tecnología es la evitación de pérdidas por estrangulamiento en condiciones de carga parcial. Mientras que los motores Otto convencionales funcionan a relación aire-combustible fija y ajuste de potencia a carga parcial reduciendo la carga del cilindro por el acelerador de la válvula, los motores de inyección directa funcionan como un diésel con carga del cilindro casi sin estrangulamiento y cantidades variables de combustible inyectado.

Si la calidad del octanaje del combustible no cumple con el requisito de número de octanaje del motor, después del encendido por la chispa se produce la autoignición de la porción aún no quemada de la mezcla. Esta autoignición conduce a una velocidad de combustión considerablemente mayor con un aumento muy brusco de la presión y la

“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE DOS MOTORES CICLO OTTO CON DOS TIPOS DE COMBUSTIBLE A 2800 MSNM”

temperatura Una combustión anómala de este tipo se manifiesta por golpes o ruido. Mientras que los golpes ocasionales que se producen en la aceleración generalmente no dañan el motor, el golpeteo permanente de la mala combustión a altas velocidades y cargas durante un período más largo aumenta el riesgo de daños en el motor. Los sensores de detonación modernos permiten un funcionamiento seguro del motor incluso si varían las calidades de octanaje, porque ajustan la sincronización de la chispa según la calidad del octanaje. Las gasolinas con baja calidad de octanaje requieren un encendido retardado que conduce a pérdidas de eficiencia y, por ejemplo, temperaturas más altas de los gases de escape.

Para el caso de que los motores de combustión interna operen bajo condiciones no óptimas en ciudades que sobrepasan los 2000 msnm ocasiona pérdidas económicas y ambientales producidas por el mayor consumo de combustible, la menor generación de potencia y la mayor concentración de contaminantes en los gases de escape, (Calza - Ángel, 2011), de allí la necesidad de encontrar un punto de funcionamiento especial diferente al determinado por el fabricante para mejorar el desempeño del motor en las condiciones antes señaladas.

En la figura 5, se observa la combustión del motor ciclo Otto.

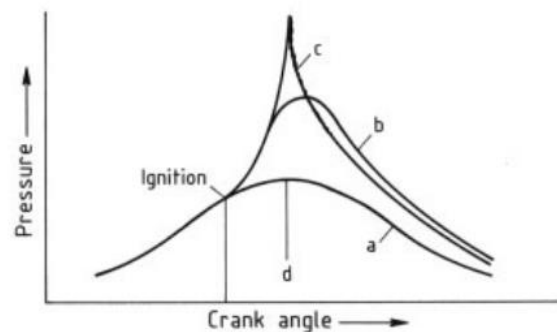


Figura 5. a) Sin encendido; b) combustión normal; c) Golpeteo por combustión; d) Punto muerto superior

La volatilidad de la gasolina también controla los gases de escape y emisiones evaporativas. Sin embargo, en un vehículo de diseño dado la volatilidad del combustible puede contribuir a garantizar bajas emisiones. Por ejemplo, una alta presión de vapor y alta volatilidad asegura bajas emisiones de gases de escape a baja temperatura ambiente.

“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE DOS MOTORES CICLO OTTO CON DOS TIPOS DE COMBUSTIBLE A 2800 MSNM”

Aditivos.

Según la definición generalmente aceptada, solo agentes que se añaden a los combustibles en una concentración de <1% debe describirse como "aditivos". Por sustancias presentes en mayor concentración, el término "componentes de combustible" es más apropiado.

Los combustibles se tratan con aditivos para diversas razones, en el pasado, la adición de potenciadores de octano a las gasolinas permitió la producción de grados de alto octanaje. Hoy en día el uso de mejoradores del octanaje, ofrece la posibilidad de actualizar un combustible base muy económico, en comparación con los combustibles ofrecidos en refinería. En muchos casos, este tipo de aditivos ofrecen la única posibilidad de garantizar un buen rendimiento del motor sin problemas durante más tiempo. Finalmente, el tratamiento de combustibles con aditivos es una ruta importante para lograr la diferenciación del producto y la calidad de marca registrada.

En 1918, el tratamiento con ciertos aditivos fue reconocido para permitir un aumento de la relación de compresión sin golpes peligrosos. Un aumento en el octanaje se convirtió en el principal objetivo de décadas en tecnología aditiva. Hoy en día, el desarrollo de aditivos está impulsado por especificaciones medioambientales y por nuevas tecnologías exigentes, como los coches de gasolina de inyección directa.

En motores Otto, de alta masa molecular, se pueden formar depósitos de carbón en varios sitios, en los sistemas de alimentación, en la entrada del motor y donde se produce la mezcla. Estos depósitos pueden provocar problemas considerables en el funcionamiento del motor. Depósitos en el carburador y los inyectores producen una no óptima mezcla de combustible y aire, provocando así un mayor consumo de combustible y emisiones de gases de escape, (Beson, 1986). En casos extremos, el motor puede incluso pararse. Severa formación de depósitos en los colectores de entrada y válvulas provoca, además de un aumento de consumo de combustible y deterioro de las emisiones de escape, disminución de la potencia, (Bitting, 1987). Algunas veces incluso pueden producirse daños mecánicos en el motor. La formación de depósitos es causada por varios factores, componentes del combustible con alto contenido de olefinas o heteroátomos (que también tienen una marcada tendencia a la formación de goma), son relativamente propensas a la formación de depósitos. Esto también es cierto

“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE DOS MOTORES CICLO OTTO CON DOS TIPOS DE COMBUSTIBLE A 2800 MSNM”

para combustibles con puntos de ebullición finales muy altos. Aceite de motor, que ingresa al sistema de admisión a través de las guías de vástago de válvula, también contribuye a depositar formación. Finalmente, los gases de combustión juegan un papel en acumulación de depósitos. Estos gases ingresan al sistema de entrada ya sea con el blowby recirculado gases del cárter o directamente de la cámara de combustión debido a la superposición de válvulas. La multiplicidad de factores que contribuyen a la acumulación de depósitos muestra que el problema no se puede resolver, para ello la solución es mediante mejoras en áreas individuales, pero solo mediante la adición de detergentes con amplia eficacia.

Factores de emisión.

Para el cálculo de factores de emisión hay que tener en cuenta las concentraciones de emisiones y el consumo de gasolina, realizados en los ensayos de la prueba IM 240. Además, es necesario conocer las características técnicas y la densidad del combustible utilizado.

Los factores de emisión, CO, HC y NO_x, son definidos por las ecuaciones de FCO (1), FHC (2) y FNO_x (3).

$$E_{FCO} = \frac{28 \frac{\%CO}{\%CO_2}}{\frac{\%CO}{\%CO_2} + \left(3 \frac{\%HC}{\%CO_2}\right) + 1} * \frac{\delta_{Fuel} * FC}{0,01425} \quad (1)$$

$$E_{FHC} = \frac{42 \frac{\%HC}{\%CO_2}}{\frac{\%CO}{\%CO_2} + \left(3 \frac{\%HC}{\%CO_2}\right) + 1} * \frac{\delta_{Fuel} * FC}{0,01425} \quad (2)$$

$$E_{FNOx} = \frac{30 \frac{\%NO}{\%CO_2}}{\frac{\%CO}{\%CO_2} + \left(3 \frac{\%HC}{\%CO_2}\right) + 1} * \frac{\delta_{Fuel} * FC}{0,01425} \quad (3)$$

Donde EF, (CO, HC, NO_x), respectivamente son los factores de emisión en (g/km), % (CO, CO₂, HC), que es concentración de volumen en (% Volumen), para la concentración del % HC hay que dividir ppm para 1000 y se obtiene el % Volumen. El mismo procedimiento para el NO_x. δ del combustible en (kg/m³) y FC, que es el

“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE DOS MOTORES CICLO OTTO CON DOS TIPOS DE COMBUSTIBLE A 2800 MSNM”

consumo de combustible en (km/l). Los factores de emisión se los obtendrá en las pruebas planificadas en este estudio con el ciclo de prueba IM 240.

Método.

Este proyecto tiene por objetivo, analizar y examinar los resultados de potencia, torque, consumo de combustible y pruebas de emisiones entre los dos combustibles seleccionados. Para una marca reconocida en el campo automotriz, tomando la segunda marca comercial más vendida en el año 2017-2018, siendo uno de los modelos un KIA picanto, y el otro un KIA sportage, que han alcanzado gran popularidad entre los consumidores por su versatilidad y economía (AEADE, 2018), como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2.

Vehículos más vendidos en el Ecuador 2018.

<i>Las marcas de autos más vendidas en Ecuador</i>			
Ranking	Marca	2017	2018
1	Chevrolet	41101	45605
2	Kia	18223	23141
3	Hyundai	9443	13141

Nota: Datos históricos de comercialización (AEADE, 2018).

Uno de los documentos de análisis que se utilizan son los data *sheet* de los vehículos en mención, dada por los fabricantes, donde se observa potencia máxima, torque máximo, datos del consumo de combustible, etc. Mediante un método de investigación cuantitativa se ha recopilado información para contrastar las diferencias que producen el uso de los combustibles súper y súper g-prix, tanto en rendimiento, consumo, emisiones de gases, que representan a corto plazo, para demostrar que tipo de combustible es el más adecuado a utilizar, para lo cual se realizan las pruebas correspondientes.

La medición de las emisiones de CO₂, O₂, CO, HC, NO_x y material particulado emitido en cada prueba se lo realizara por factores de emisión en Ciclo IM 240.

“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE DOS MOTORES CICLO OTTO CON DOS TIPOS DE COMBUSTIBLE A 2800 MSNM”

Características de los vehículos de prueba.

Tabla 3.

Especificaciones técnicas vehículo 1.

<i>Kia Sportage SUV (Todoterreno) 1.6 GDi 1</i>		
Rendimiento		
Aceleración de 0 a 100	10,7 seg	
Potencia del motor (Kw)		99
Par (lbs-ft)	122 lbs-ft	
Par (lbs-ft)	165 Nm	
Velocidad máxima	179 km/h	
Consumo de combustible		
Medio (l/100 km)	5,35 l/100 km	
Interurbano (l/100 km)	4,85 l/100 km	
Urbano (l/100 km)	6,26 l/100 km	
Emisiones		
Emisiones CO2	149 g/km	Euro 5
Motor		
Número de válvulas		16
Árbol de levas	DOHC	
Relación de compresión	11.0:1	
Número de cilindros		4
Carrera de cilindros (mm)	85.4 mm	
Alimentación de combustible	Inyección de combustible: Distribuidor	
Transmisión	Manual	
Cilindrada	1591 cm ³	
Disposición de cilindros	En línea	
Diámetro de cilindros (mm)	77 mm	
Disposición del motor	Transversal delantero kgm	
Número de velocidades	6 velocidades	

Nota: Manual técnico de vehículo (Kia, 2020).

“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE DOS MOTORES CICLO OTTO CON DOS TIPOS DE COMBUSTIBLE A 2800 MSNM”

Tabla 4.

Especificaciones técnicas vehículo 2.

<i>Kia Picanto 1.0</i>		
Rendimiento		
Aceleración de 0 a 100	13,9 seg	
Potencia del motor	68 CV	
Par (lbs-ft)	80 lbs-ft	
Par (lbs-ft)	95 Nm	
Velocidad máxima	153 km/h	
Consumo de combustible		
Medio (l/100 km)	4 l/100 km	
Emisiones		
Emisiones CO2	99 g/km	Euro 5
Motor		
Número de válvulas		8
Árbol de levas	DOHC	
Relación de compresión	11.0:1	
Número de cilindros		4
Carrera de cilindros (mm)	85.4 mm	
Alimentación de combustible	Inyección de combustible:	
	Multipunto	
Transmisión	Manual	
Cilindrada	998 cm ³	
Disposición de cilindros	En línea	
Diámetro de cilindros (mm)	77 mm	
Disposición del motor	Transversal delantero	kgm
Número de velocidades	5 velocidades	

Nota: Manual técnico de vehículo (Kia, 2020).

La experimentación fue realizada 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.

Los equipos utilizados para la evaluación fueron, un dinamómetro automotriz o banco de potencia MAHA modelo LPS 3000. E protocolo de pruebas es la siguiente:

1. El diámetro de los neumáticos => a rin 13.

“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE DOS MOTORES CICLO OTTO CON DOS TIPOS DE COMBUSTIBLE A 2800 MSNM”

2. Ubicar el automóvil en el banco.
3. Verificar que las ruedas estén libres de piedrillas.
4. Bajar el elevador y dejar los neumáticos sobre los rodillos.
5. Evaluar la alineación del tren en donde se encuentra la transmisión con respecto a los rodillos del dinamómetro.
6. Reforzar el automóvil con fajas.
7. Chequear la seguridad del lugar de ensayo.
8. En el banco se ingresarán los *data sheet* de los automóviles.
9. La relación de cambio y de transmisión de la unidad, es 1:1.
10. La temperatura del motor debe alcanzar 198 °F, temperatura normal de funcionamiento de motor, caso contrario, el motor pasa a una fase de calentamiento.
11. Encender la ventilación del banco.
12. Empezar con un ensayo de prueba.
13. El conductor acelera el vehículo con el pedal a fondo en la marcha de prueba para alcanzar la velocidad deseada, llamada “corte de rpm”, (4500-6000).
14. Cuando se ha llegado al corte de rpm, el conductor pisa el embrague, dejando la marcha puesta. El banco de potencia desacelera hasta detenerse. El resultado de la medición se presenta en la pantalla.

En la figura 6 se observa el banco de pruebas a utilizar.

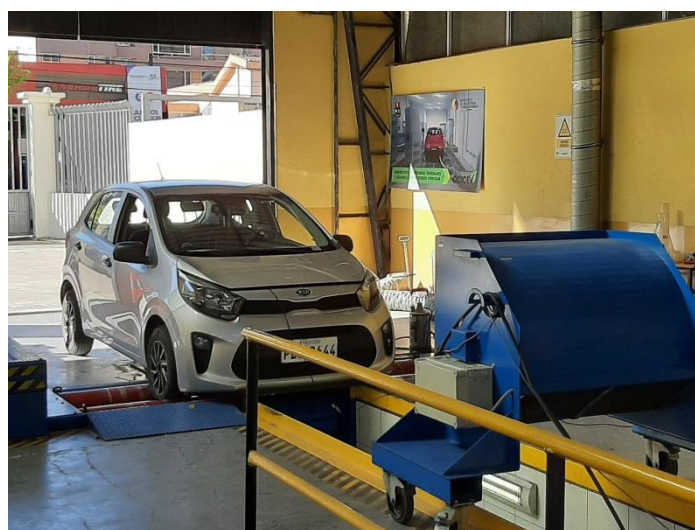


Figura 6. Banco de potencia MAHA modelo LPS 3000, (CCICEV Escuela Politécnica Nacional Quito-Ecuador).

“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE DOS MOTORES CICLO OTTO CON DOS TIPOS DE COMBUSTIBLE A 2800 MSNM”

Además, se utilizará un analizador de gases contaminantes de vehículos MAHA modelo MGT5, el consumo de combustible se lo hace con un ciclo de prueba estática IM 240 de 6,4 kilómetros. En la figura 7 se observa el ciclo de prueba para determinar el consumo de combustible por diferencia de niveles.

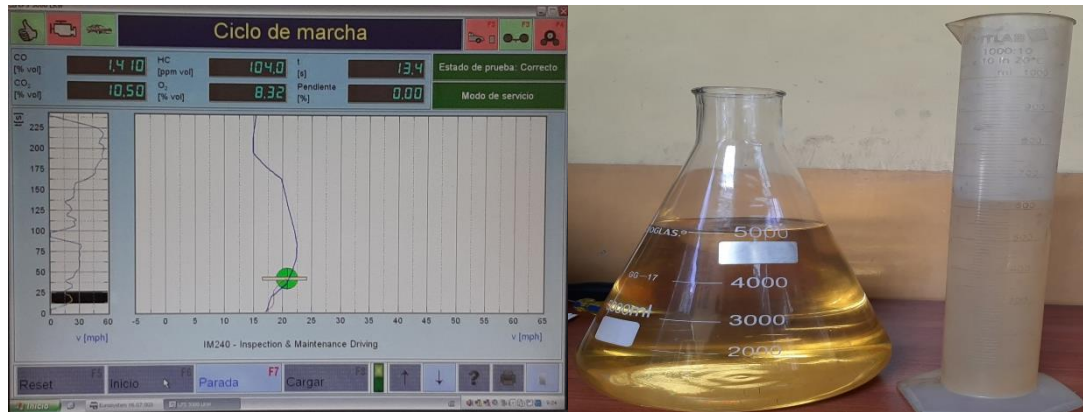


Figura 7. Determinación del consumo de combustible, (Ccicev).

El presente trabajo se basa en el desarrollo de tres etapas, por cada vehículo, la primera etapa es la medición de torque y potencia, la segunda etapa es determinar el consumo de combustible, la tercera etapa es la medición de factores de emisión. La evaluación de gases de escape se realizó para dióxido de carbono CO₂ (%), monóxido de carbono CO (%), hidrocarburos HC (ppm) y óxidos de nitrógeno NO_x (ppm). Cada etapa va a tener dos pruebas, la primera prueba con gasolina súper normal y la segunda prueba con gasolina súper g-prix. Las pruebas son realizadas a 2800 msnm, mediante el uso de equipos de diagnóstico actualizados y debidamente calibrados.

Al utilizar el combustible súper normal y súper g Prix, se anula la entrada del tanque de combustible, sacando el relé de protección, y colocando un tanque presurizador e inyectar el combustible requerido para las pruebas.

El protocolo de pruebas del CCICEV, se basa en ISO 1585: 1992, que es para vehículos de carretera, código de prueba del motor, potencia neta, cuyas normas han sido evaluadas en una nueva publicación en el 2020. Se aplica a motores de pistón rotativo y motores de combustión interna alternativos, excepto los motores de pistón libre para automóviles de pasajeros y otros vehículos de motor, excluyendo motocicletas, ciclomotores y tractores agrícolas, que normalmente viajan por carreteras. Es un método de prueba para evaluar su rendimiento, en particular, a

“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE DOS MOTORES CICLO OTTO CON DOS TIPOS DE COMBUSTIBLE A 2800 MSNM”

presentar curvas de potencia y consumo de combustible específico a plena carga en función de la velocidad del motor. Para escoger el número de lecturas nos basamos en la norma INEN 2205:2010, en el inciso 6, que es métodos de ensayo y luego el punto 6.1.5.4 que es registrar y promediar un mínimo de tres lecturas en cada prueba.

Para el análisis estadístico se establece la nomenclatura que se indica en la tabla 5, para las variables independientes y dependientes.

Tabla 5.

Nomenclatura para variables de evaluación.

<i>Nomenclatura para variables de estudio</i>			
Factores	Niveles	Nomenclatura	Designación
Vehículos	KIA PICANTO	A1	1000
	KIA SPORTAGE	A2	2000
Combustible	SUPER	S	1
	SUPER G-PRIX	G	2

El análisis y comparación de resultados se realizará mediante la aplicación del *software Statgraphics*, a través del método de superficie de respuesta con la formación de combinaciones como se muestra en la tabla 6, que permitirán una mejor comprensión de los resultados obtenidos en las diferentes pruebas realizadas.

Tabla 6.

Nomenclatura de tratamientos.

<i>Tratamientos para el análisis de resultados</i>		
Combinaciones		
Nº Combinación	Vehículos	Combustibles
T1	A1000	S
T2	A1000	G
T3	A2000	S
T4	A2000	G

“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE DOS MOTORES CICLO OTTO CON DOS TIPOS DE COMBUSTIBLE A 2800 MSNM”

Resultados y Discusión.

Luego de realizadas las pruebas hay que efectuar el análisis de las cifras obtenidas y estas permitirán evaluar el comportamiento de los motores con los combustibles ya expuestos. En la tabla 7, están los datos obtenidos de las pruebas en el banco y caracterización de prueba de ruta para los dos motores con los dos combustibles utilizados.

Tabla 7.

Resultado de pruebas

		Potencia (Hp)	Torque(Nm)	Consumo(l)	Factores de emisión (g/km), FCO	Factores de emisión (g/km) FHC	Factores de emisión (g/km) FNOx
1000							
cc	A1000S	70,9	86,23	0,31	1,424	0,016	0,022
		71,6	89,89	0,34	1,499	0,014	0,032
		72,3	95,99	0,36	1,544	0,014	0,042
	A1000G	70,2	93,41	0,34	1,750	0,016	0,024
		74	92,47	0,37	2,256	0,013	0,033
		71,8	94,36	0,37	2,766	0,015	0,037
2000							
cc	A2000S	154,1	234,96	0,44	0,225	0,007	0,278
		154,5	189,95	0,43	0,365	0,007	0,228
		156,6	193,88	0,42	0,359	0,005	0,248
	A2000G	162,5	203,64	0,39	0,265	0,008	0,190
		160,6	202,01	0,42	0,285	0,009	0,262
		165,7	206,76	0,41	0,212	0,008	0,272

Modelación en Statgraphics.

Potencia.

En la figura 8, se muestra el diagrama de Pareto, que es el comportamiento de uno de los factores que incide más, que es el motor. Independientemente de la clase de combustible que se utilice.

“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE DOS MOTORES CICLO OTTO CON DOS TIPOS DE COMBUSTIBLE A 2800 MSNM”

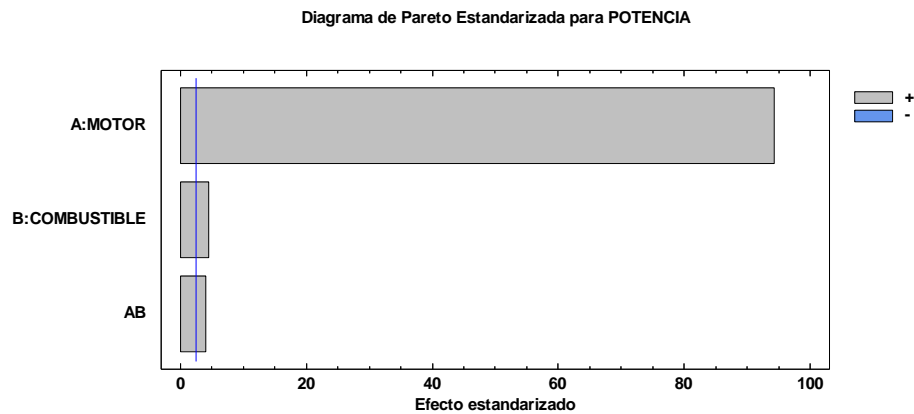


Figura 8. Diagrama de Pareto.

En la figura 9, se observa el comportamiento de cada motor vs el combustible utilizado, el combustible súper g prix mejora levemente su potencia, pero no es un valor significativo para dar una respuesta de mejora en la potencia de cada uno de los motores.

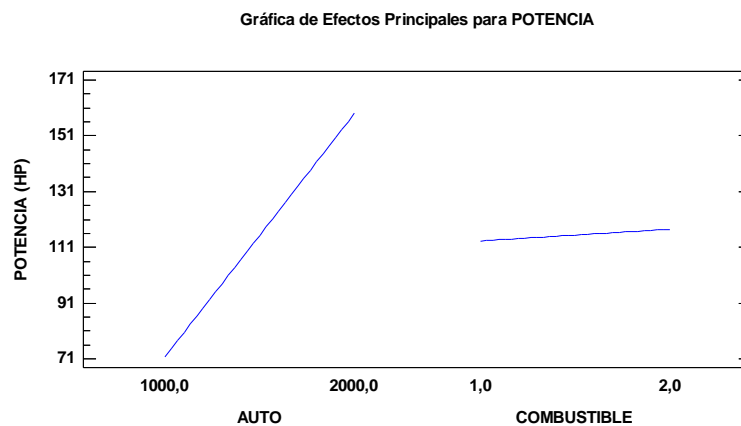


Figura 9. Efectos principales de Potencia.

En la figura 10, se observa que la potencia del motor de 1000 cc, se comporta igual con los dos combustibles, no hay una variación significativa, mientras que el auto de 2000 cc, alcanza una potencia destacada (pero no predominante) con la gasolina súper g-prix.

“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE DOS MOTORES CICLO OTTO CON DOS TIPOS DE COMBUSTIBLE A 2800 MSNM”

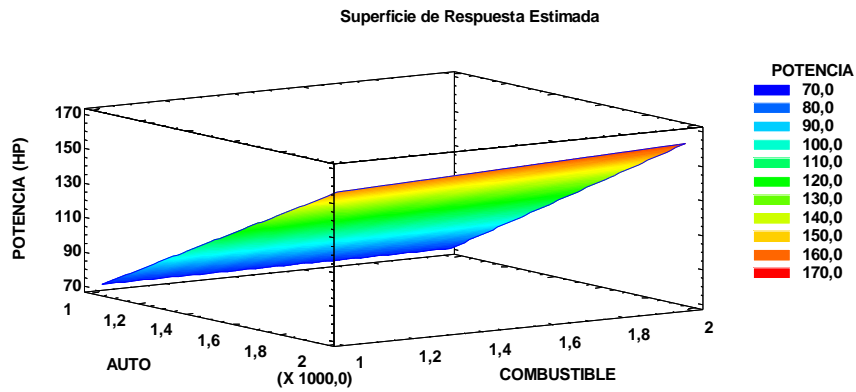


Figura 10. Superficie de respuesta.

Tratamiento para la potencia.

En la figura 11, se analiza que vehículo es más eficiente con uno de los combustibles utilizados, se observa que se obtiene una mejor potencia con el tratamiento T4, que es el vehículo de 2000 cc con súper g-prix, seguido del tratamiento T3, que es el vehículo de 2000 cc con súper normal, el vehículo de 1000 cc, la potencia se comporta igual, independientemente de utilizar súper normal o súper g-prix.

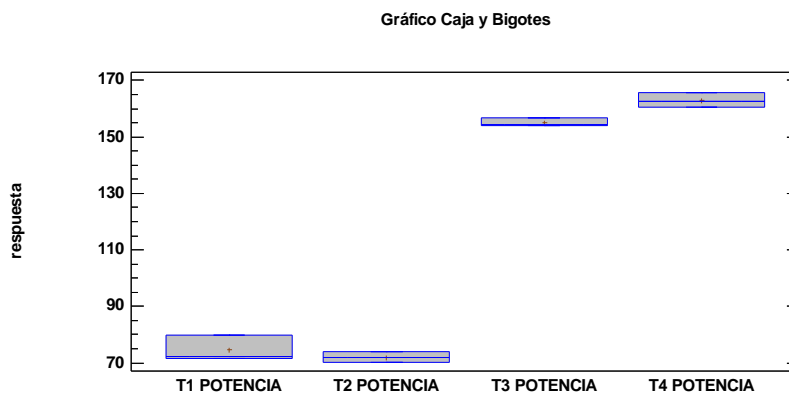


Figura 11. Gráfico de cajas y bigotes para tratamiento Potencia.

“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE DOS MOTORES CICLO OTTO CON DOS TIPOS DE COMBUSTIBLE A 2800 MSNM”

Torque.

En la figura 12, se muestra el comportamiento de uno de los factores que incide más, que es el motor, pero la combinación de ambos es independiente.

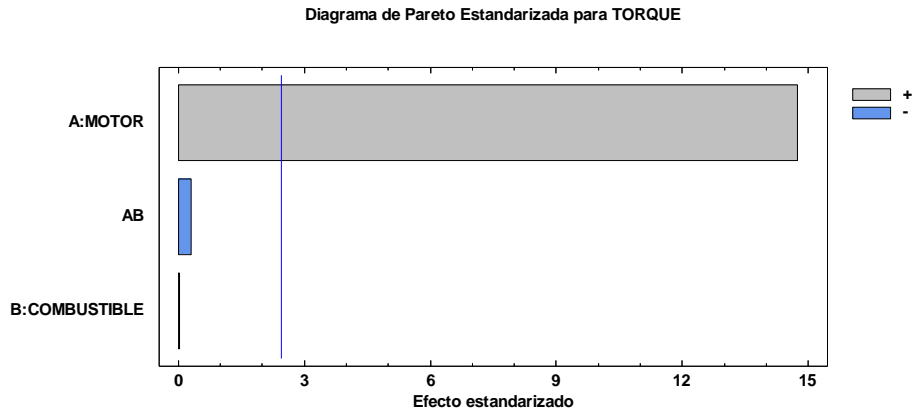


Figura 12. Diagrama de Pareto.

En la figura 13, se observa el comportamiento de cada motor, el de 2000 cc mejora su torque, además el comportamiento del combustible vs el torque, no hay una diferencia representativa entre los dos combustibles para mejorar o disminuir el torque.

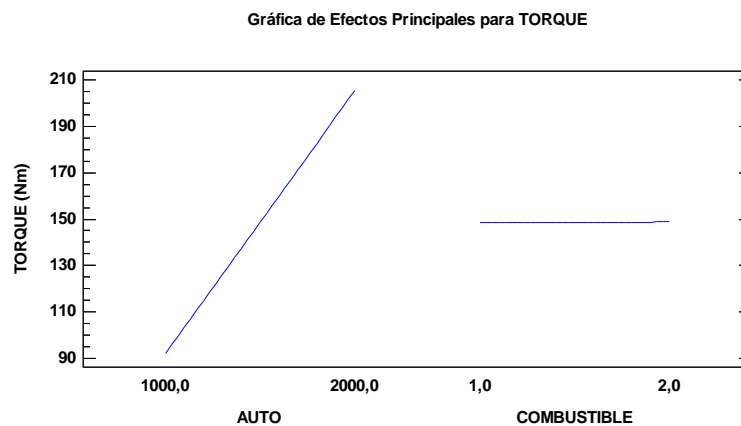


Figura 13. Efectos principales de Torque.

En la figura 14, se observa que el proceder de los motores es igual e independiente del combustible, dan igual torque.

“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE DOS MOTORES CICLO OTTO CON DOS TIPOS DE COMBUSTIBLE A 2800 MSNM”

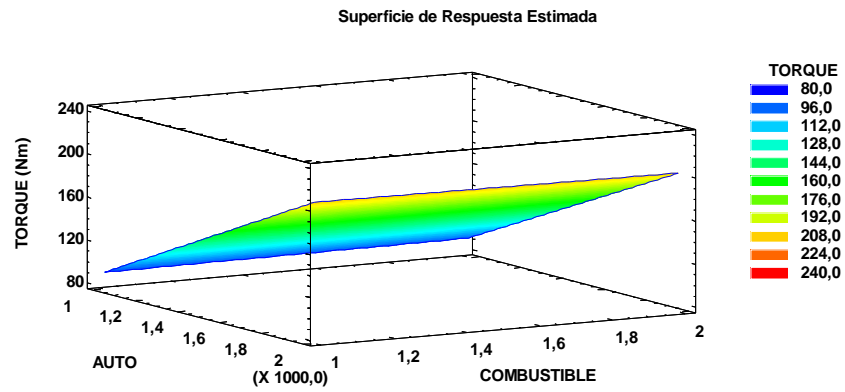


Figura 14. Superficie de respuesta.

Tratamiento para el Torque.

Para observar la incidencia del combustible en los dos motores, se analiza la figura 15, los dos combustibles no son significativos en los dos motores, tanto en el de 1000 cc y 2000 cc, el valor agregado al torque es el mismo.

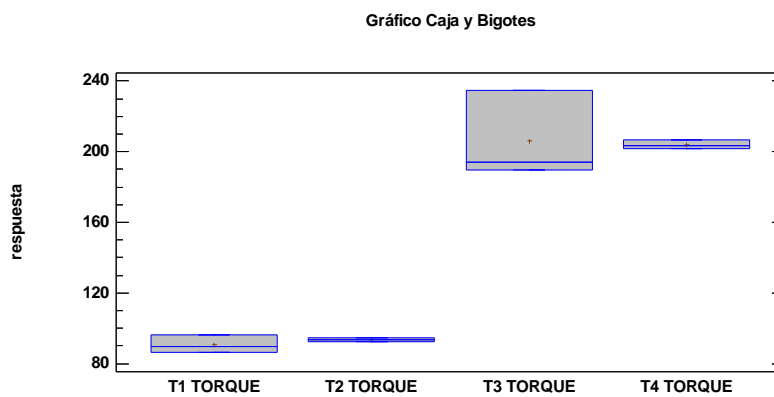


Figura 15. Gráfico de cajas y bigotes para Torque.

Consumo.

En la figura 16, se observa que la variable motor incide más en el consumo de combustible.

“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE DOS MOTORES CICLO OTTO CON DOS TIPOS DE COMBUSTIBLE A 2800 MSNM”

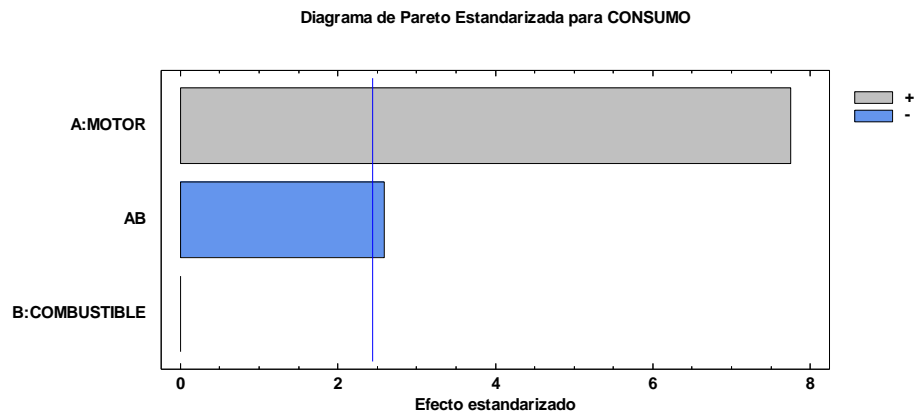


Figura 16. Diagrama de Pareto.

En la figura 17, se observa que el consumo es el mismo, independientemente del combustible que se utilice, lógicamente si varía sus cc, aumentará o disminuirá su consumo.

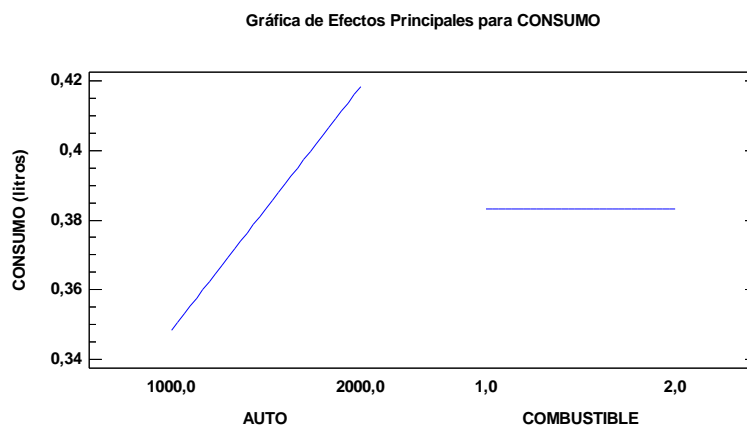


Figura 17. Efectos principales de Consumo.

En la figura 18, se observa que el motor de 2000 cc, consume más gasolina súper normal que gasolina súper g-prix. El auto de 1000 cc, consume más súper g-prix que la súper normal. Pero los valores de consumo no son muy significativos.

“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE DOS MOTORES CICLO OTTO CON DOS TIPOS DE COMBUSTIBLE A 2800 MSNM”

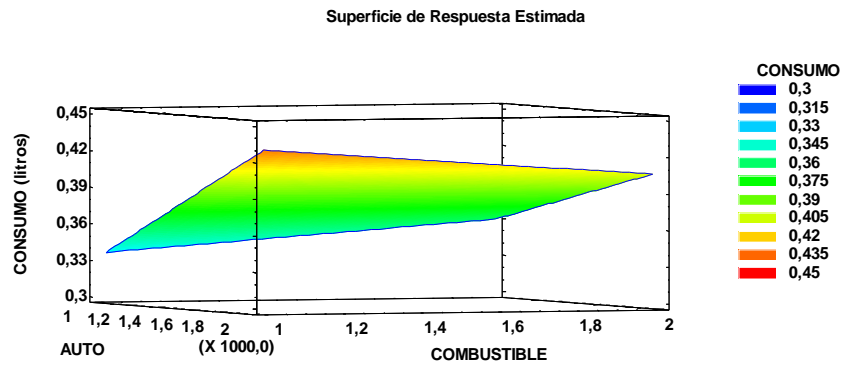


Figura 18. Superficie de respuesta.

Tratamiento para el Consumo de combustible.

En la figura 19, se observa que el motor de 1000 cc, tiene un mayor consumo con la gasolina súper g-prix. El motor de 2000 cc, tiene un mayor consumo con la gasolina súper normal.

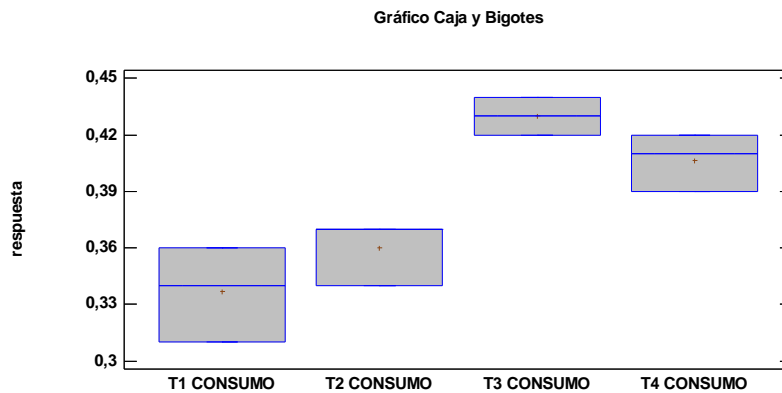


Figura 19. Gráfico de cajas y bigotes para Consumo.

Factores de emisión.

Los factores de emisión son herramientas que permiten estimar la cantidad de emisiones de un determinado contaminante, generada por la fuente en estudio.

“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE DOS MOTORES CICLO OTTO CON DOS TIPOS DE COMBUSTIBLE A 2800 MSNM”

Factores de emisión CO.

En la figura 20, analizando el diagrama de Pareto, se tiene que las emisiones de CO, dependen del tipo de motor y el combustible utilizado.

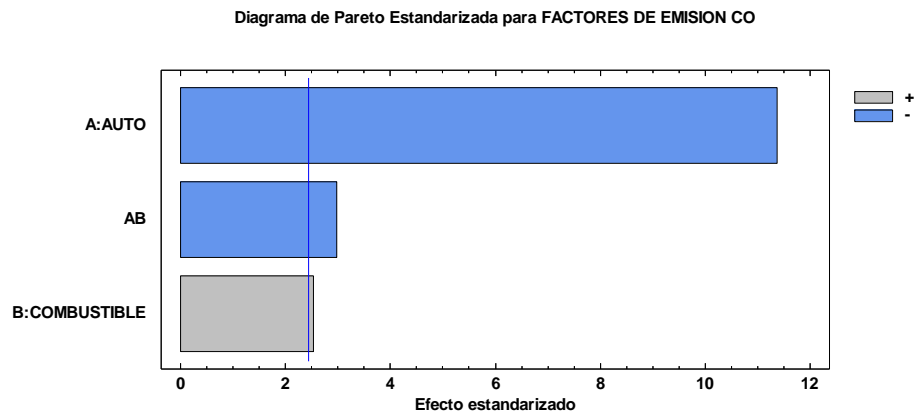


Figura 20. Diagrama de Pareto para factores de emisión CO.

En la figura 21, se observa que las emisiones de CO en el vehículo de 2000 cc son bajas, utilizando combustible súper normal.

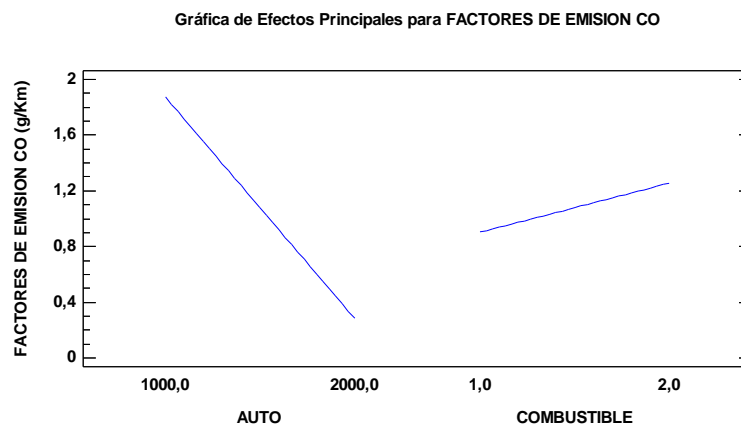


Figura 21. Efectos principales para factores de emisión CO.

En la figura 22, se evidencia las emisiones bajas de CO con el vehículo de 2000 cc.

“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE DOS MOTORES CICLO OTTO CON DOS TIPOS DE COMBUSTIBLE A 2800 MSNM”

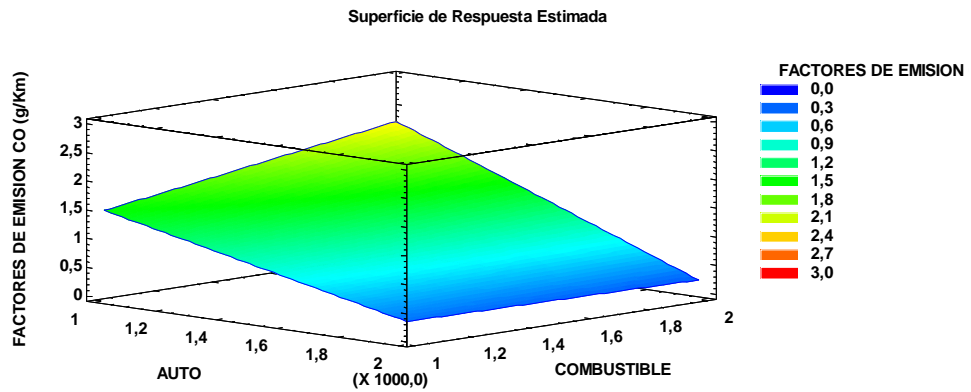


Figura 22. Superficie de respuesta para factores de emisión CO.

Tratamiento para factores de emisión de CO.

En la figura 23, se observa cual es mejor combustible a utilizar para minimizar las emisiones de CO, que es el T1, que corresponde al vehículo de 1000 cc, con gasolina súper normal. Para el vehículo de 2000 cc, es independiente utilizar cualquiera de los dos combustibles.

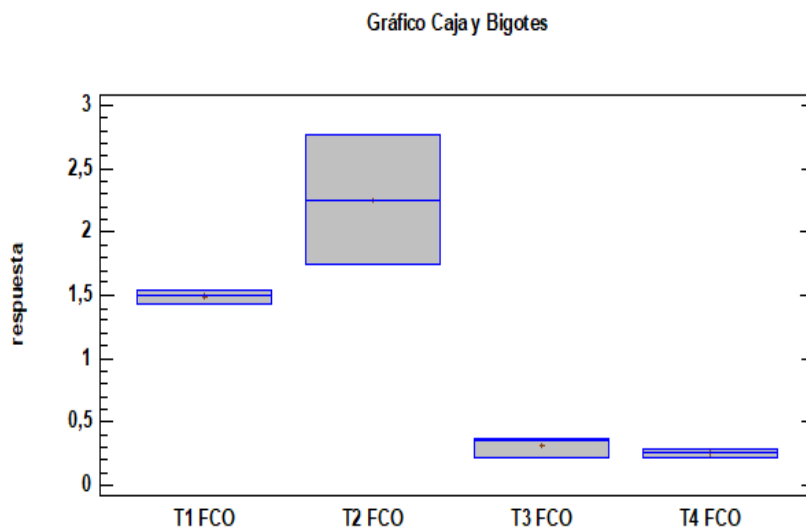


Figura 23. El mejor tratamiento para factores de emisión CO.

Factores de emisión HC.

En la figura 24, se observa que para minimizar los hidrocarburos no combustionados solo depende del tipo de motor.

“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE DOS MOTORES CICLO OTTO CON DOS TIPOS DE COMBUSTIBLE A 2800 MSNM”

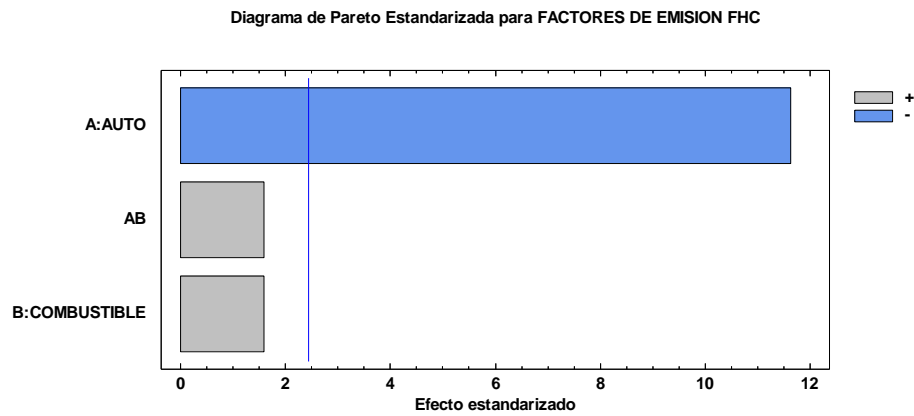


Figura 24. Diagrama de Pareto para factores de emisión HC.

En la figura 25, se observa que se minimiza más las emisiones con el vehículo de 2000 cc con gasolina súper normal.

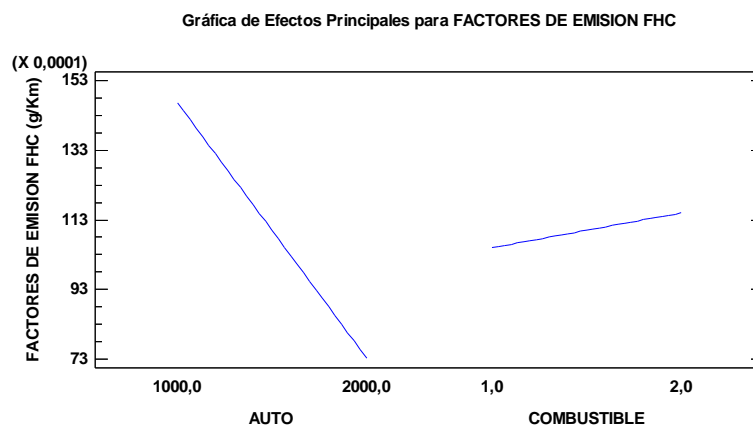


Figura 25. Efectos principales para factores de emisión HC.

En la figura 26, se observa que las emisiones de hidrocarburos no combustionados, la genera más el vehículo de 1000 cc, independiente del tipo de combustible que se utilice.

“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE DOS MOTORES CICLO OTTO CON DOS TIPOS DE COMBUSTIBLE A 2800 MSNM”

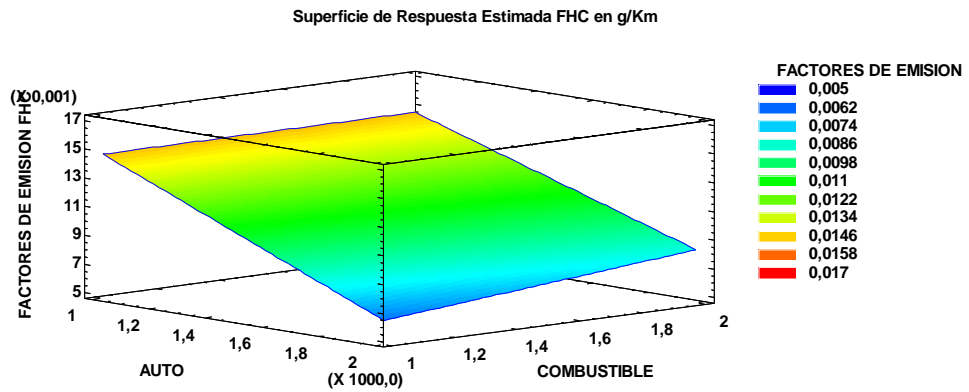


Figura 26. Superficie de respuesta para factores de emisión HC.

Tratamiento para factores de emisión de HC.

En la figura 27, se observa que el mejor tratamiento para reducir los hidrocarburos no combustionados es el T3, que corresponde al motor de 2000 cc, con gasolina súper normal, seguida del T4 que es el motor de 2000 cc, con súper g-prix. Para el motor de 1000 cc, es independiente, tienen valores iguales con los dos combustibles.

Gráfico Caja y Bigotes

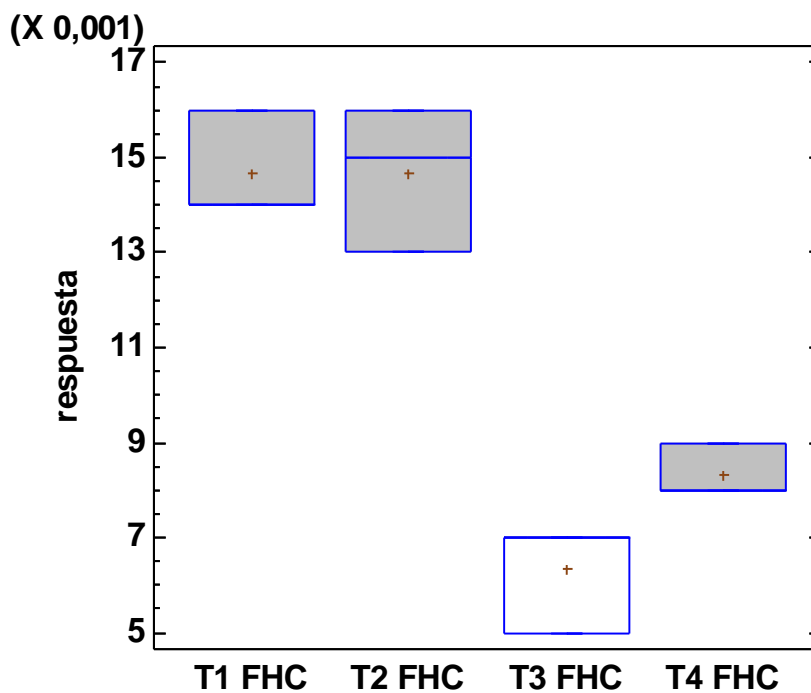


Figura 27. El mejor tratamiento para factores de emisión HC.

“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE DOS MOTORES CICLO OTTO CON DOS TIPOS DE COMBUSTIBLE A 2800 MSNM”

Factores de emisión NOx

En la figura 28, nos indica que para reducir los factores de emisiones NOx depende específicamente del tipo de motor.

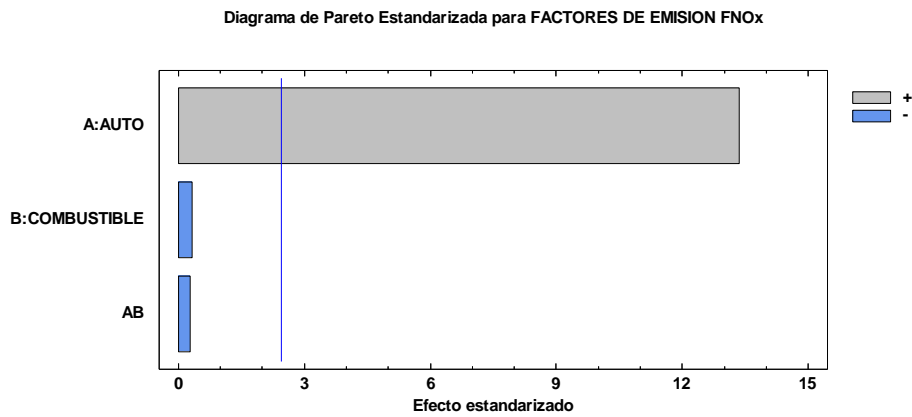


Figura 28. Diagrama de Pareto para factores de emisión NOx.

En la figura 29, se observa que el vehículo con menor cantidad de emisiones NOx, es el vehículo de 1000 cc, con combustible súper g-prix.

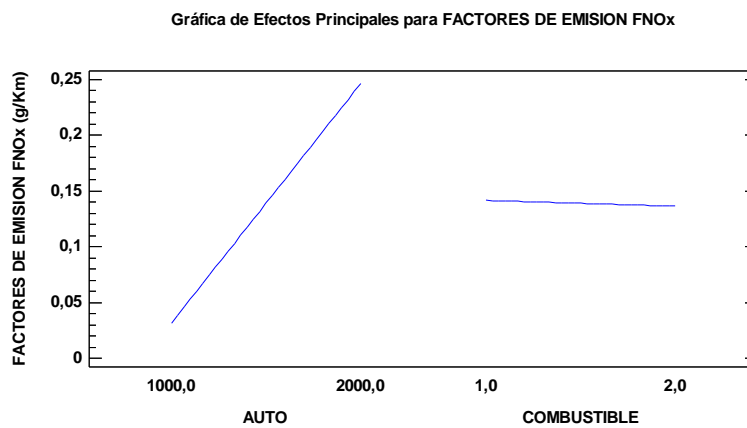


Figura 29. Efectos principales para factores de emisión NOx.

En la figura 30, se observa que las emisiones de óxidos de nitrógeno no varían independientemente del combustible que se utilice.

“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE DOS MOTORES CICLO OTTO CON DOS TIPOS DE COMBUSTIBLE A 2800 MSNM”

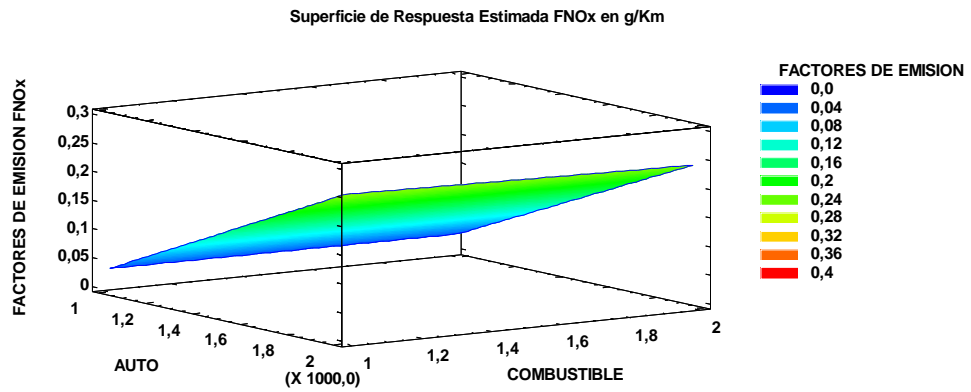


Figura 30. Superficie de respuesta para factores de emisión HC.

Tratamiento para factores de emisión de NOx

En la figura 31, se observa cual es el mejor tratamiento para disminuir los óxidos de nitrógeno y es el T1 y T2, que corresponde al motor de 1000 cc, independiente del combustible que se utilice. El motor de 2000 cc, tiene valores altos, independientemente del tipo de combustible que se utilice.

Gráfico Caja y Bigotes

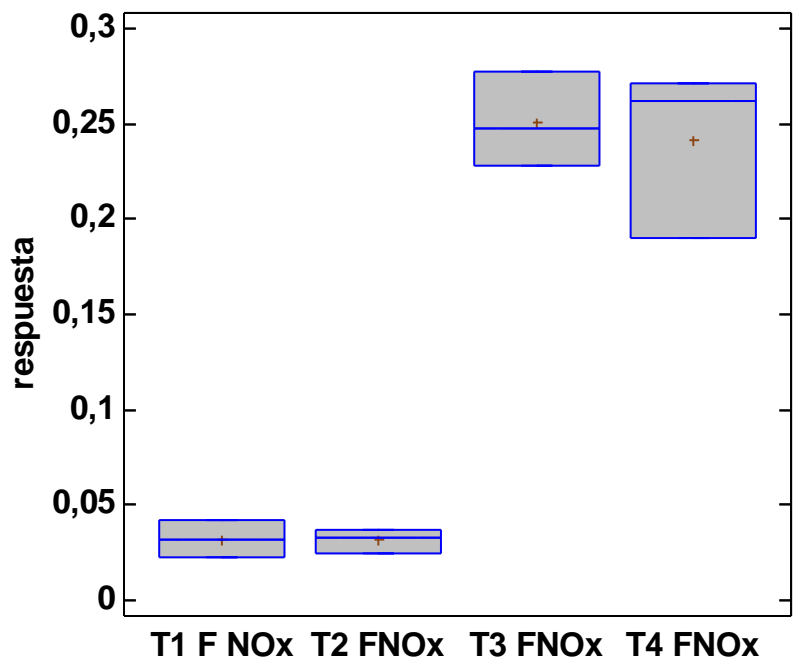


Figura 31. El mejor tratamiento para factores de emisión NOx.

“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE DOS MOTORES CICLO OTTO CON DOS TIPOS DE COMBUSTIBLE A 2800 MSNM”

Discusión.

El consumo de combustible dada por el fabricante para el Kia Picanto es de 5 litros por cada 100 kilómetros, para el Kia Sportage es de 6,6 litros por cada 100 kilómetros, comparando con los resultados de la prueba de laboratorio en el CCICEV, para el Kia Picanto nos da un valor de consumo de 0,32 litros para los 6,4 kilómetros de recorrido utilizados en las pruebas, que está dentro del rango de mediciones de laboratorio. Para el Kia Sportage nos da un valor de consumo de 0,42 litros, que de igual forma es igual a los valores obtenidos en el laboratorio.

La adición de los aditivos en la gasolina súper g-prix, aumentó la potencia y según Hernandez et al, 2014, al adicionar aditivos va a subir el octanaje de un combustible, es lo que se esperaba en la gasolina súper g-prix. El aumento en la potencia es relativo en cuanto a la gasolina súper normal, como lo ha indicado (Frey y Eichenberger, 1997), con este criterio Prakash et al., (2016), dice, con un combustible de octanaje más alto, es posible avanzar la sincronización de la chispa aún más, para conseguir un torque más alto para el mismo valor de combustible inyectado. El par de torsión aumentado podría utilizarse ya sea hacia una aceleración más rápida o una economía de combustible mejorada en un punto de funcionamiento de motor dado.

Según Morquecho (2018), el rendimiento del combustible súper es superior al rendimiento por galón que el combustible ecopaís. Entonces realizando una trazabilidad en cuanto a nuestros resultados se observa un mejor desempeño con la gasolina super g-prix, pero los costos son mayores, ya que el galón tiene una significativa diferencia en valor respecto a la súper normal.

Además, en estudios por Morquecho (2018), los vehículos de alta gama necesitan un combustible de mejor calidad y al momento de cambiar por un combustible de un octanaje menor, el vehículo tendrá problemas y empezará a cascabelear, lo que no sucede con los vehículos de gama media que pueden cambiar sin problema, aunque la potencia se verá afectada, como la vida útil de ciertos componentes del motor. En nuestra investigación se observa el mejor rendimiento con la gasolina súper g-prix, lo cual con los aditivos mejora su eficiencia, que no se refleja en el motor de 1000 cc, pero es básicamente lo primordial para poder elegir un buen combustible.

“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE DOS MOTORES CICLO OTTO CON DOS TIPOS DE COMBUSTIBLE A 2800 MSNM”

En la investigación de motores ciclo Otto con variación de octanos por Ávila (2013), llego a la conclusión de que tiene mayor significancia monetaria en el consumo de combustible aquellos automóviles de mayor cilindraje, por lo que es conveniente utilizar combustible de menor precio, pero para motores de bajo cilindraje, como su consumo es mínimo, se puede utilizar un buen combustible que mejore su rendimiento y se equilibran los gastos de mantenimiento. Que es viable de acuerdo al cliente final. Además, se ha encontrado que el octanaje no mejora la calidad del combustible, más bien es la oportunidad de mejora para la chispa, en función de que altura estemos operando. Con el vehículo Sportage, cuya relación de compresión es de 10.5:1, en la ciudad de Quito, necesita 95 octanos, para no incurrir en cascabeleo. Para ello es importante una gasolina mejorada como la súper g-prix.

Cuanto más alto sea la relación de compresión de un motor, mayor será el rendimiento efectivo, ya que aumenta el rendimiento termodinámico y mayor la potencia desarrollada (Ávila, 2013), para las pruebas ambos vehículos tienen una relación de compresión de 10,5:1, al utilizar gasolina súper y súper g-prix, su rendimiento aumento por encima de los *data sheet* de los vehículos, es importante el tipo de gasolina suministrado para un buen rendimiento óptimo de los vehículos.

Según Cedeño (2018), se analizan las diferencias en las emisiones de HC y NOx, evidenciándose que no existe una diferencia significativa, mientras que en el CO fueron más evidentes las desviaciones entre los combustibles experimentados. Las emisiones de CO se redujeron cuando se usaron los combustibles tradicionales como Extra y Súper; contrario a lo referido por Hernández et al. (2014) y Schifter, Díaz, Rodríguez, y Salazar (2011), los cuales obtuvieron reducciones con las mezclas de etanol, causa fundamental de las diferencias se sustentan en que la actual investigación se desarrolla a 2600 msnm. En nuestros estudios se obtuvo que los valores de CO son mayores utilizando gasolina super normal y con motor de 1000 cc. Para el motor de 2000 cc, los valores de CO son iguales independientemente del combustible que se utilice. Los valores de HC para el vehiculo de 2000 cc, con gasolina super g-prix son altos, pero no significativos, y para el motor de 1000 cc, los valores de HC son iguales independientemente del tipo de combustible. Los valores NOx, tanto para el motor de 1000 cc, como para el motor de 2000 cc, son iguales.

“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE DOS MOTORES CICLO OTTO CON DOS TIPOS DE COMBUSTIBLE A 2800 MSNM”

En la tabla 8, según la norma NTE INEN 2204, los límites máximos de factores de emisión son:

Tabla 8.

Parámetros según norma NTE INEN 2204.

FCO (g/km)	FHC (g/km)	FNOx (g/km)
2,2	0,25	0,62

En la tabla 9 se observan los resultados de las tres pruebas promediadas para los factores de emisión.

Tabla 9.

Promedios de las tres pruebas de factores de emisión.

	Combustible Súper Normal			Combustible Súper G-Prix		
	FCO (g/km)	FHC (g/km)	FNOx (g/km)	FCO (g/km)	FHC (g/km)	FNOx (g/km)
Motor Otto 1000 cc	1,489	0,015	0,032	2,257	0,015	0,031
Motor Otto 2000 cc	0,317	0,006	0,251	0,254	0,008	0,241

Como se puede apreciar en las pruebas con los dos tipos de combustible, el motor Otto de 1000 cc, los valores de monóxido de carbono con la gasolina súper g-prix están arriba de lo exige la norma. El motor de 2000 cc, para las pruebas con los dos combustibles nos da valores muy significativos por debajo de lo que norma exige.

“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE DOS MOTORES CICLO OTTO CON DOS TIPOS DE COMBUSTIBLE A 2800 MSNM”

Conclusiones

El rendimiento de los motores con dos tipos de combustible, mediante la prueba dinámica, en ciclo de conducción dinamométrico, revelan que el motor de 1000 cc, al observar los datos de potencia y torque no hay variación significativa con ninguno de los dos combustibles y el consumo de combustible es menor cuando se inyecta gasolina súper normal. El motor de 2000 cc, en cuanto a potencia y torque, si existe un comportamiento diferente, hay una mejor eficiencia con el combustible súper g-prix, y el consumo de combustible es menor cuando se inyecta súper g-prix.

Los factores de emisión, como el CO, en el motor de 2000 cc, son bajos independientemente del tipo de combustible inyectado, el HC tiene un mejor comportamiento en el motor de 2000 cc, cuando se inyecta gasolina súper normal, además, tiene un valor significativo, también cuando se utiliza gasolina súper g-prix. Para los factores de emisión NOx, los valores más bajos son para el motor de 1000 cc, independientemente del combustible utilizado. Para el motor de 2000 cc, los valores son altos para cualquiera de los dos combustibles inyectados.

La implementación del análisis por medio del *software statgraphics* para la modelación de las variables en motores de combustión interna, en un trayecto previamente seleccionado y caracterizado, resulta ser el método más apropiado para los estudios de combustibles utilizados por el transporte, donde se puede obtener una optimización de los recursos, obtener los mejores tratamientos y aportar eficientemente a un sector estratégico vulnerable y altamente contaminante.

El efecto de una gasolina con aditivo si da mayores prestaciones en cuanto a rendimiento y a emisiones ambientales, pero solo para el motor de 2000 cc, además, no hay que desmerecer los resultados de factores de emisión NOx, por lo tanto, es una solución a largo plazo el de invertir para no tener un correctivo mayor en un motor de alta cilindrada.

“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE DOS MOTORES CICLO OTTO CON DOS TIPOS DE COMBUSTIBLE A 2800 MSNM”

Bibliografía.

- Alvarado, J. G., Delgado Linares, J. G., & Medina, H. R. (2015). Rol de la Química Orgánica en los procesos de conversión de hidrocarburos. *Educación química*, 26(4), 288-298.
- Andrade, F. L. M. (2018). Análisis de rendimiento y costo de los combustibles ecopaís y super. *INNOVA Research Journal*, 3(10.1), 135-149.
- Angulo-Brown, F., Rocha-Martinez, J. A., & Navarrete-Gonzalez, T. D. (1996). A non-endoreversible Otto cycle model: improving power output and efficiency. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 29(1), 80.
- Castillo, J., Rojas, V., & Martínez, J. (2017). 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. *Revista Politécnica*, 39(1), 49-57.
- Cedeño, E. A. L., Rocha-Hoyos, J. C., Zurita, D. B. P., & Milla, J. C. L. (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.
- Celi-Ortega, S., Llanes-Cedeño, E., Rocha-Hoyos, J., Leguísamo-Milla, J., Peralta-Zurita, D., & Salazar, P. (2018). Comportamiento de las emisiones en motor de encendido provocado a base de etanol a 2850 msnm. *UTCiencia" Ciencia y Tecnología al servicio del pueblo"*, 5(1), 1-10.
- Dimaratos, A., Toumasatos, Z., Doulgeris, S., Triantafyllopoulos, G., Kontses, A., & Samaras, Z. (2019). Assessment of CO₂ and NO_x Emissions of a Diesel and a Bi-Fuel Gasoline/CNG Euro 6 Vehicles during Real-World Driving and Laboratory Testing. *Frontiers in Mechanical Engineering*, 5, 62.
- Ge, Y., Chen, L., Sun, F., & Wu, C. (2005). Thermodynamic simulation of performance of an Otto cycle with heat transfer and variable specific heats of working fluid. *International Journal of Thermal Sciences*, 44(5), 506-511.
- Guzmán, A., Cueva, E., Peralvo, A., Revelo, M., & Armas, A. (2018). Estudio del rendimiento dinámico de un motor Otto utilizando mezclas de dos tipos de gasolinas “Extra y Súper”. *Enfoque UTE*, 9(4), 208-220.

“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE DOS MOTORES CICLO OTTO CON DOS TIPOS DE COMBUSTIBLE A 2800 MSNM”

- Granger, P. y Parvulescu, VI (2011). Sistemas catalíticos de reducción de NO_x para fuentes móviles: desde tecnologías de postratamiento de tres vías hasta de combustión pobre. *Revisiónes químicas*, 111 (5), 3155-3207.
- Miralles, J., Giménez, A., Domenech, L., & García, V. (2015). Efecto de la Relación de Compresión en el Rendimiento de Motores de Combustión Interna a diferentes Altitudes. *Información tecnológica*, 26(4), 63-74.
- Navarrete, C. V. A., Narváez, R. P., Villacrés, D. C., & Falcón, J. L. C. *Determinación y análisis de las emisiones de contaminantes primarios y rendimiento vehicular mediante la variación del octanaje y contenido de azufre en la gasolina y diésel.*
- Normalización, I. E. (2002). Límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres diésel.
- Rivera, N., Chica, J., Zambrano, I., & García, C. (2017). Estudio del comportamiento de un motor ciclo otto de inyección electrónica respecto de la estequiometría de la mezcla y del adelanto al encendido para la ciudad de Cuenca. *Revista Politécnica*, 40(1), 59-67.
- Rocha-Hoyos, J. C., Tipanluisa, L. E., Zambrano, V. D., & Portilla, Á. A. (2018). Estudio de un Motor a Gasolina en Condiciones de Altura con Mezclas de Aditivo Orgánico en el Combustible. *Información tecnológica*, 29(5), 325-334.
- Stanton, DW (2013). Desarrollo sistemático de motores limpios y altamente eficientes para cumplir con las futuras regulaciones de gases de efecto invernadero de vehículos comerciales. *Revista internacional de motores de SAE*, 6(2013-01-2421), 1395-1480.
- Varela, R. A., Duarte, G., Baptista, P., Sousa, L., & Villafuerte, P. M. (2017). Comparison of data analysis methods for european real driving emissions regulation (No. 2017-01-0997). *SAE Technical Paper*.
- Weller, K., Lipp, S., Röck, M., Matzer, C., Bittermann, A., & Hausberger, S. (2019). Real world fuel consumption and emissions from LDVs and HDVs. *Frontiers in Mechanical Engineering*, 5(45).