
Implementación del equipo de conversión de gas licuado de petróleo para reducir emisiones de gases contaminantes. Motor 1ZR, Toyota Corolla. IMASA MOTORS SAC. Chimbote 2015.

Implementing conversion equipment liquid petroleum gas to reduce greenhouse gas emissions. 1ZR Motor, Toyota Corolla. IMASA MOTORS SAC. Chimbote 2015.

Implementando conversão equipamento de gás liquefeito de petróleo para reduzir as emissões de gases de efeito estufa. 1ZR Motor, Toyota Corolla. IMASA MOTORS SAC. Chimbote 2015.

David Mauricio Vargas¹, Jaime Gutiérrez Ascón¹, Robert Guevara Chinchayán², Roberto Chucuya Hualpachoque²

Resumen

El objetivo principal del presente trabajo de investigación consistió en determinar los puntos críticos de funcionamiento del motor, para comparar las emisiones de gasolina con respecto a las de gas licuado de petróleo (GLP) y realizar una adecuada programación de ingreso de combustible, para reducir los niveles de gases contaminantes. El estudio de la investigación consiste en la instalación de un kit de conversión de GLP en un motor de combustión interna, aprovechando la inyección electrónica de combustible original del vehículo. Los datos fueron registrados y tabulados en una hoja de cálculo, determinando los datos estadísticos descriptivos que permitieron el análisis e interpretación de los puntos críticos de funcionamiento. Los resultados obtenidos en esta investigación fueron satisfactorios, puesto que se obtuvo una reducción del 50 % en lo que se refiere a hidrocarburos, un 7 % en lo que se refiere a monóxido de carbono y un 9 % de disminución en lo que se refiere a dióxido de carbono. Los resultados obtenidos se ubican muy por debajo de los límites máximos permisibles, logrando alargar la vida útil del motor, y los periodos de mantenimiento por funcionar con un combustible más limpio.

Palabras clave: *Inyección electrónica, kit de conversión, gases contaminantes, límites máximos permisibles.*

Abstract

The main objective of this research is to determine the critical points of engine operation to compare the emissions of gasoline with respect to liquefied petroleum gas (LPG) and make appropriate programming entry fuel to reduce levels gas emissions. The research study involves the installation of a conversion kit for LPG in the internal combustion engine, using the electronic injection original vehicle fuel, the data were recorded and tabulated in a spreadsheet determining the descriptive statistical data allowed the analysis and interpretation of the critical points of operation. The results obtained in this study were satisfactory, since a 50% reduction as regards hydrocarbons, 7% in respect to carbon monoxide and 9% decrease in regard was obtained carbon dioxide. The results obtained are located well below the maximum permissible limits, achieving prolong engine life and maintenance periods by working with a cleaner fuel.

Keywords: *Electronic injection, conversion kit, polluting gases, the maximum permissible limits.*

Resumo

O principal objetivo desta pesquisa é determinar os pontos críticos de operação do motor para comparar as emissões de gasolina no que diz respeito ao gás de petróleo liquefeito (GPL) e fazer combustível entrada de programação apropriada para reduzir os níveis as emissões de gases. A pesquisa envolve a instalação de um kit de conversão para o GPL no motor de combustão interna, usando a injeção eletrônica de combustível do veículo original, os dados foram registrados e tabulados em uma planilha que determina os dados estatística descritiva permitiu a análise e interpretação dos pontos críticos de operação. Os resultados obtidos neste

¹Escuela de Ingeniería Mecánica. Universidad César Vallejo, Chimbote-Perú, imasamotors@hotmail.com

²Escuela de Ingeniería en Energía. Universidad Nacional del Santa. Chimbote, Perú.

Recibido: 14 de diciembre del 2015
Aceptado: 18 de diciembre del 2015

estudo foram satisfatórios, desde uma redução de 50% no que diz respeito hidrocarbonetos, 7% em relação ao monóxido de carbono e 9% de diminuição em relação foi obtido dióxido de carbono. Os resultados obtidos estão localizados bem abaixo dos limites máximos admissíveis, alcançando os períodos de vida e manutenção do motor prolongamento por trabalhar com um combustível mais limpo.

Palavras-chave: Injeção eletrônica, kit de conversão, gases poluentes, os limites máximos admissíveis

Introducción

Perú posee un gran parque automotor, y no es precisamente que lo fabrique y comercialice en el exterior, es más bien un gran usuario de vehículos, para el particular autos y motos, con especial énfasis en los automóviles. A veces se escucha decir que el automóvil es sinónimo de progreso, pero es una afirmación equivocada, pues el incremento de vehículos en las principales ciudades de nuestro país es bastante elevada por no decir exagerada, hay ciudades en el mundo que con menos vehículos son más desarrolladas. Los ciudadanos del Perú, sufrimos una contaminación ambiental crónica y sumamente peligrosa especialmente en las ciudades con una alta actividad minera, pesquera y en las ciudades con gran congestión vehicular debido al alto índice de emisiones de gases contaminantes. La Ley N° 29380, Ley de creación de la Superintendencia de Transporte Terrestre de Personas, Carga y Mercancías (SUTRAN), señala dentro de sus objetivos el de proteger la vida y defender el derecho de los usuarios en el ejercicio de la prestación de servicio de transporte terrestre sujeto a supervisión, fiscalización y control. Esta entidad es la encargada de supervisar el buen funcionamiento de las plantas de revisiones técnicas vehiculares en el país, las cuales permiten la circulación de vehículos que emiten emisiones de gases contaminantes por encima de los límites permisibles, debido a la falta de fiscalización por parte de las entidades fiscalizadoras. Los ciudadanos esperamos que los gobiernos hagan cumplir las normas de protección ambiental y las empresas actúen con responsabilidad social, aplicando tecnología moderna para controlar las emisiones contaminantes vehiculares evitando el impacto negativo a la salud y a la ecología. Es importante recordar que estos metales pesados (plomo, mercurio, hidrocarburos, arsénico, etc.) en altos niveles en la sangre de nuestros niños, provocan daños neurológicos irreversibles, que impedirán el desarrollo adecuado de sus habilidades intelectuales, psico-afectivas y un pleno desarrollo en su adultez. ¿Quién se responsabilizará de estos daños? ¿Las empresas irresponsables por provocarlos y/o el Estado por no cumplir con su misión?

En los últimos años el parque automotor en el Perú ha crecido considerablemente; los vehículos del transporte público tienen en promedio 16 años de antigüedad, lo cual explica en parte los aspectos negativos como el alto nivel de contaminación. Con las revisiones técnicas vehiculares, se busca prevenir accidentes de tránsito causadas por fallas técnicas y contribuir a reducir las emisiones de gases contaminantes, como así también de contribuir con el cuidado de su vehículo. En algunas ciudades de nuestro país las plantas de revisiones técnicas vehiculares debido a la falta de una adecuada gestión administrativa permite la circulación de vehículos que no cumplen con las normas de emisiones de contaminantes.

Podemos separar el problema vial en dos grandes categorías: La excesiva cantidad de automóviles y la falta de una adecuada distribución e infraestructura vial en el país. Ambos radican en un desorden descomunal y en el excesivo tiempo que toma llegar de un destino al otro. Al hacer un sondeo rápido, nos topamos con la sorpresa que los ciudadanos afirman que el exceso de vehículos en el parque automotor, y por consiguiente el gran tránsito vehicular, es uno de los problemas más urgente de nuestra ciudad aún por solucionar. La ciudad no está preparada para el exceso de vehículos en el parque automotor.

La falta de capacitación y cultura del conductor al manejar en la ciudad, trae como consecuencia que los conductores antiguos y nuevos manejen utilizando la ley de la jungla en donde gana el más vivo y el más fuerte. En la realidad se puede observar el momento que los autos se quedan obstruyendo las transversales y ocasionando así un atoramiento del tráfico; cosa que trae consigo pérdida de tiempo, que podría ser utilizado en horas de trabajo o de estudio; al mismo tiempo que se pierde dinero en combustible, etc.

Los fabricantes de los vehículos utilizan el término control de emisiones contaminantes en automóviles a las tecnologías que se utilizan para reducir las causas de contaminación del aire producida por los automóviles. Los sistemas de control de emisiones fueron requeridos en todos los modelos de los vehículos producidos para la venta aproximadamente a partir de 1966. En la actualidad a nivel mundial los fabricantes de los vehículos cumplen rigurosas normas anticontaminantes, produciendo sus vehículos con modernas tecnologías que reducen considerablemente las emisiones de gases contaminantes. En nuestro país las plantas de revisiones técnicas son encargadas de verificar el buen funcionamiento de todos los sistemas en los vehículos, principalmente el control de emisiones de gases contaminantes. Los controles sobre las emisiones han reducido exitosamente las emisiones producidas por automóviles en términos de cantidad por distancia recorrida. Sin embargo, el aumento sustancial en las distancias recorridas por cada vehículo, así como el aumento del número de vehículos en circulación tiene como consecuencia que la disminución total de las emisiones sea cada vez menor, a esto agregamos que en nuestro país el control de emisiones contaminantes por parte de las plantas de revisiones técnicas vehiculares es demasiado flexible. Por estos motivos es importante sensibilizar al gobierno sobre la importancia del control de la contaminación ambiental de manera responsable, ya que evidentemente nos ocasiona daños como el cambio climático, que va a provocar fenómenos naturales más intensos y frecuentes con enormes pérdidas económicas y de vidas.

Por otro lado, la falta de mantenimiento de los vehículos en nuestra ciudad acorta la vida del motor, eleva el consumo de combustible, eleva el grado de contaminación por emisiones de escape, y es un peligro para nuestra seguridad y la de los que nos acompañan. Sobre todo si tienes un coche con varios años de antigüedad. La falta de uso y cuidado del coche puede derivar en averías algunas con elevado presupuesto, que pueden comprometer nuestra seguridad y nuestro bolsillo. El mejor remedio es la prevención y el sentido común, por lo que se recomienda que se cumpla con los mantenimientos tradicionales del vehículo, para asegurar el buen funcionamiento del motor y el mínimo grado de contaminación por emisión de gases de escape.

En nuestra ciudad una de las principales problemáticas ambientales que enfrenta la provincia es la contaminación por partículas y gases (humos de la industria de harina, conserva de pescado, y parque automotor), sin embargo existen otros problemas de la misma índole que debemos enfrentar, como lo son la contaminación por residuos sólidos que representan un riesgo inminente para la población. Y así la contaminación en Chimbote va en alarmante crecimiento y expansión, primero porque las fábricas pesqueras producen harina y conserva con tubos de expulsión de gas contaminante en forma de vapor que son muy pequeños en altura y por ello se esparcen más rápido en la población y el ambiente de la ciudad. También podemos mencionar que debido al desproporcionado crecimiento de nuestro parque automotor, el inadecuado mantenimiento de los vehículos automotores por una falta de control de las entidades fiscalizadoras, a su vez por los flexibles controles de revisiones técnicas; en los últimos años, ha generado un incremento sustantivo en los niveles de contaminación ambiental producidos por el funcionamiento de los motores de dichos vehículos, en especial en las zonas urbanas, derivando de esta situación efectos nocivos para la salud de las personas. Se sabe que el adecuado control de emisiones contaminantes vehiculares, respetando los límites permisibles ya establecidos significaría una considerable reducción de contaminación vehicular. Sabemos también que los vehículos gasoleros convertidos para el uso de gas licuado de petróleo reducen considerablemente sus emisiones de gases contaminantes. Tal es el motivo por cual se estudiará la implementación del equipo de conversión de gas licuado de petróleo, que consta de un conjunto de componentes mecánicos y electrónicos, cuya unidad de mando controla la inyección electrónica de combustible en el vehículo proporcionando la correcta relación aire-combustible por intermedio de los inyectores de gas, y así logrando optimizar la reducción de emisiones de gases contaminantes, respetando los límites permisibles establecidos. Armonizar el progreso y los adelantos tecnológicos con el crecimiento de la población sin perjudicar al entorno, es tarea de todos.

Materiales y métodos

La presente investigación es correlacional, porque se buscó encontrar cómo reducir las emisiones contaminantes, se relacionó o fue influenciada por la variable de investigación equipos de conversión. Igualmente el diseño es pre experimental, porque se manipuló la variable independiente al describir el comportamiento, cuando se midieron los parámetros físicos-químicos para reducir emisiones contaminantes, donde la variable de observación e interés fue la implementación del equipo de conversión. La población en esta investigación considera a los sujetos como dueños del problema 12 personas, así mismo la muestra objeto de estudio fue conformada por 5 vehículos Toyota Corolla con motor de combustión interna 1ZR con encendido por explosión. Dado que es una población pequeña se tomó la muestra igual a 12 personas con selección no probabilística.

Se implementó el equipo de conversión de gas licuado de petróleo, también llamado equipo de presión positiva, en el motor Toyota 1ZR, IMASA MOTORS SAC – Chimbote 2015, el cual consta de uno o más cilindros de almacenamiento, válvulas, canalizaciones rígidas y flexibles, sensores de temperatura del refrigerante, sensor Lambda, filtro de gas, regulador de presión, inyectores de gas, central electrónica, toma de carga, conmutador y multiválvulas.

Cuadro 1: Especificaciones técnicas del tipo de vehículo de muestra.

Especificaciones técnicas	
Marca y modelo	Toyota Corolla.
Tipo de motor	Gasolinero – 1ZR
Número de cilindros	04 cilindros
Disposición de cilindros	En línea
Número de válvulas	16 válvulas (DOHC)
Tipo de refrigeración	Enfriado por agua
Diámetro x carrera (mm)	80.5 X 78.5
Cilindrada (cc)	1597 aprox. 1600
Potencia máx. (Cv/rpm)	124/6000
Par motor max. (Nm/rpm)	157/5200
Relación de compresión	10.2 : 1
Sistema de alimentación de combustible	Control electrónico de inyección, ECCS.
Volumen de sistema de enfriamiento (L)	4.5
Volumen del tanque de combustible (L)	50
Ralentí (rpm)	755 ± 50

Fuente: Elaboración propia.

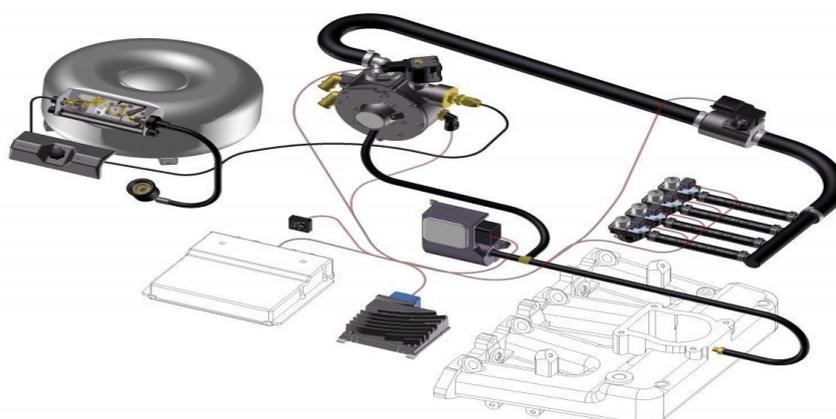


Figura 1: Distribución de componentes del equipo de conversión a GLP, en el motor de combustión.

Fuente: Lorenzetti.

Básicamente, el GLP contenido a presión en el tanque (20 bar) llega a un regulador de presión mediante canalizaciones rígidas de dos etapas con diafragmas. En el regulador la presión del tanque desciende hasta la presión de salida (1.2 bar). Posteriormente, el gas es inyectado a presión en el múltiple de admisión de manera secuencial, mediante inyectores independientes que son comandados por una central electrónica de GLP, así como se observa en la figura, el sistema de presión positiva mantiene el lazo cerrado modificando el caudal y el flujo para obtener una óptima mezcla aire – combustible, el cual es inyectado en forma independiente justo antes de las válvulas de admisión del motor.

El regulador de presión es el corazón del sistema. En él, el GLP que llega en estado líquido, se transforma al estado gaseoso y se regula presión en todo el riel de inyectores. El cambio de estado del GLP se logra por la transferencia de calor, que se extrae del circuito de refrigeración del motor (con doble beneficio, siendo el primero la gasificación del GLP y el segundo el retorno del refrigerante más frío al motor), por el cambio de presión en el circuito del gas licuado de petróleo. En el evaporador - regulador de presión se pueden ejecutar tres ajustes diferentes: el ajuste del funcionamiento del evaporador en función del tamaño del motor que se va a alimentar; en segundo lugar, la regulación de la alimentación en frío (ralentí); y en tercer lugar, la regulación del flujo del carburante en alta. Este componente requiere de un mantenimiento cada 60 000 Km de recorrido.



Figura 2: Regulador de presión - Reductor para GLP.
Fuente: Manual de instalación Landi Renzo.

En el reductor ingresa el GLP en estado líquido y una válvula accionada por un flotador cierra el paso cuando llega a un nivel máximo de combustible; este recipiente está rodeado por otro que contiene agua del motor, el GLP en estado líquido toma de aquí el calor de vaporización que es bastante considerable, a continuación el gas pasa al reductor de presión de gas, cuando el gasto hace bajar la presión y la cantidad, baja el flotador y pasa el GLP en estado líquido. Al alcanzar el gas una determinada presión en esta cámara, por no haber consumo de gas, cesa la vaporización del líquido coexistiendo las dos fases de líquido-gas.

Los inyectores de GLP son muy similares a los de inyección de gasolina; su principal función es distribuir el gas a los diferentes pistones o cilindros del motor, se instala dicho componente en el múltiple de admisión tan cerca como sea posible de los inyectores de gasolina, uno por cada cilindro del motor. Estos dispositivos trabajan en función de las señales emitidas por la unidad de control electrónica de GLP; es importante destacar que una vez que el inyector de GLP empieza a trabajar, la señal del inyector de gasolina es interrumpida por la Unidad de Control Electrónica - ECU de GLP y su señal es emulada y enviada a la ECU de gasolina.

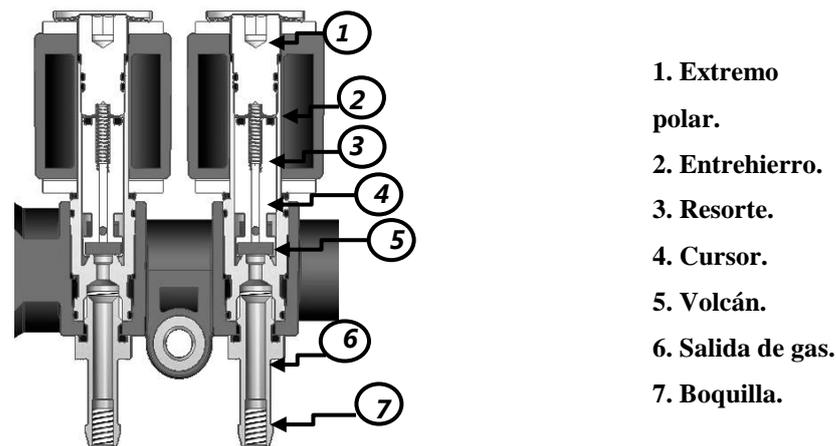


Figura 3: Inyectores de GLP
Fuente: Manual de instalación BRC

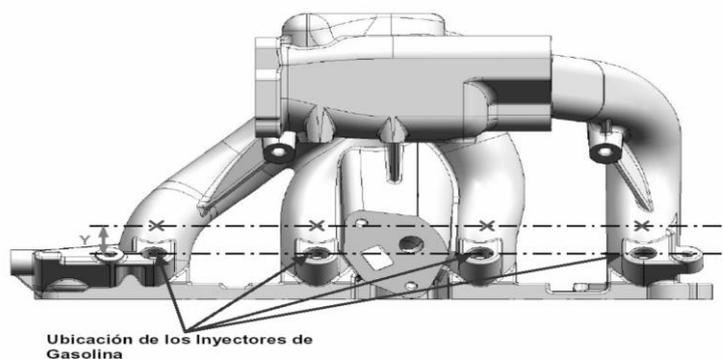
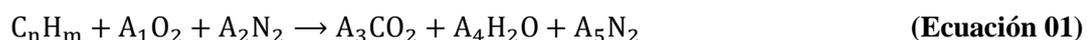


Figura 4: Ubicación de inyectores de gas y gasolina.
Fuente: Lorenzetti.

La ECU de GLP o módulo electrónico muy similar a la computadora de gasolina, trabaja en función del tiempo de inyección de gasolina, tiene implícitas todas las señales de los sensores del vehículo y tres parámetros más (temperatura del refrigerante del motor, temperatura del gas en la admisión y presión del gas en la admisión). Otra función importante de este módulo es la interrupción del tiempo de inyección de gasolina y la posterior emulación de la señal en la ECU de gasolina.

Durante el desarrollo de la presente investigación se demostró el proceso de la combustión que se realiza en los motores de combustión interna, en la cual es un proceso físico químico completo la combustión de un hidrocarburo general C, H, en aire. Si se acepta que existe exactamente la cantidad de oxígeno suficiente para reaccionar químicamente con el combustible presente, es decir, que se tienen presentes cantidades estequiométricas de combustible y de oxidante, la reacción de combustión se escribe:



Dónde:

A_1 = Es el número de moles de Oxígeno.

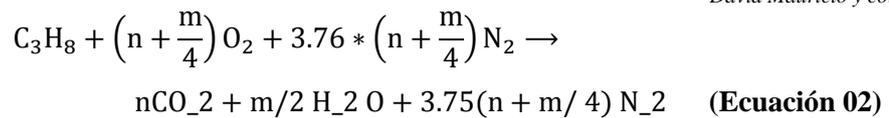
A_2 = Es el número de moles de Nitrógeno reactante.

A_3 = Es el número de moles del CO_2 .

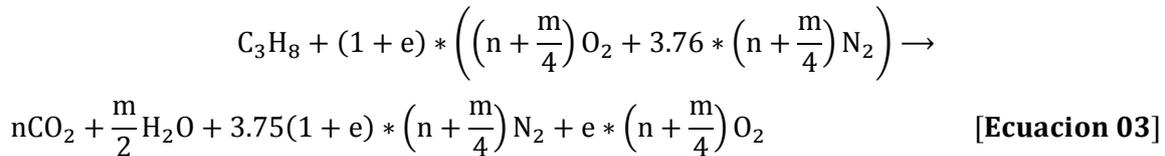
A_4 = Es el número de moles de vapor de agua H_2O .

A_5 = Es el número de moles del Nitrógeno producto.

Considerando $n=3$, $m=8$ para el gas licuado de petróleo considerado 100 % propano:



Luego considerando el exceso de aire (e) para una buena combustión, la ecuación estequiométrica real a utilizar es:



Para que el sistema funcione adecuadamente fue necesario utilizar un software de programación de la marca del equipo, en este caso Zavoli, este proceso consistió en conectarnos con la ECU del sistema GLP para ingresar los datos del vehículo, como el número de cilindros, tipo de inyector GLP, tipo de sensores de nivel, tipo de sensor de presión absoluta, temperatura de cambio a GLP, tiempo de arranque a gasolina, etc. Luego de llegar a una temperatura del agua óptima de funcionamiento (85°C) se tomó registro de lecturas del tiempo de inyección de gasohol en distintas condiciones de funcionamiento del motor. Estas lecturas fueron necesarias para programar el tiempo de inyección del inyector de GLP, y lograr una relación Aire – GLP o una mezcla lo más parecida a la del gasohol.

Las lecturas de tiempo de inyección del inyector de gasohol no deben cambiar cuando el vehículo se encuentra en modo GLP. Si el tiempo se incrementa la mezcla aire – GLP es pobre, y si el tiempo disminuye significa que la mezcla es rica, esto se debe a que el vehículo posee dos sensores de oxígeno en el múltiple de escape que le informan a la ECU de gasohol la cantidad de oxígeno en las emisiones, de esta manera la ECU gasohol se informa de las condiciones de la mezcla y toma decisiones de acuerdo a su programación original de fábrica.

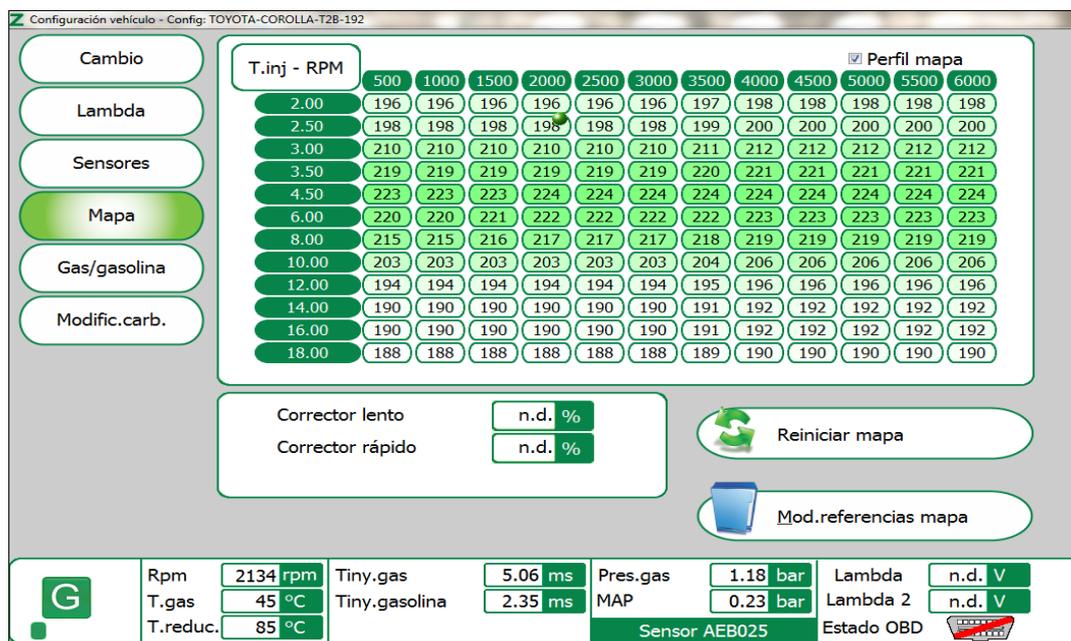


Figura 5: Lecturas de indicadores en funcionamiento a GLP.

Fuente: Software de programación GLP marca Zavoli.

Después de este proceso el rendimiento del motor en funcionamiento a GLP no varía en comparación con el funcionamiento a gasohol. Luego, se realizó una prueba comparativa de emisiones de gases contaminantes y una inspección general de la instalación. Una vez concluida la instalación y programación se realizó el registro de datos técnicos con la finalidad de que todos los vehículos que correspondan al modelo evaluado sean convertidos bajo la norma con altos niveles de estandarización.

Resultados

En base a los datos recopilados y análisis de gases se da solución al primer objetivo “Analizar como el trabajo del equipo de conversión de gas licuado de petróleo; contribuye con la reducción de emisiones de gases contaminantes en un motor 1ZR, vehículo Toyota Corolla, en la empresa IMASA MOTORS SAC. Chimbote 2015”, para lo cual presentamos los resultados de los valores de emisiones contaminantes de las unidades de la muestra de estudio, realizando comparaciones de lecturas en las emisiones de gases en las mismas condiciones de funcionamiento en ambos combustibles.

El equipo analizador de gases reporta los porcentajes de gases emitidos durante el funcionamiento del motor; de igual manera indica la cantidad de partículas por millón (ppm) de hidrocarburos (HC) lo que se traduce como combustible crudo expulsado, el porcentaje de monóxido de carbono (CO) y el porcentaje de dióxido de carbono (CO₂). Luego de la lectura y comparación de las emisiones entre ambos combustibles podemos determinar la reducción de emisiones contaminantes.

Los resultados de los cinco vehículos de muestra detallados a continuación se realizaron con el vehículo sin carga, en condiciones normales de funcionamiento, temperatura de motor entre 80°C y 90 °C, presión constante de combustible GLP en el riel de inyectores de 1,1 bar, a una temperatura de GLP entre 70°C y 75 °C, con boquillas del inyector de GLP con un diámetro de 1,8 milímetros (mm), durante un tiempo de cinco minutos en cada número de revoluciones.

Cuadro 2: Análisis de resultados de emisiones de gases de la unidad 1.

RPM	Gasohol 90 octanos						Gas licuado de petróleo					
	T.Iny (ms)	Componentes de los gases					T.Iny (ms)	Componentes de los gases				
		CO (%)	CO ₂ (%)	HC (ppm)	O ₂ (%)	Factor Lamb.		CO (%)	CO ₂ (%)	HC(p pm)	O ₂ (%)	Factor Lamb.
700	2,74	0,03	15,2	16	0,04	1,001	6,17	0,05	14,3	13	0,05	1,001
1400	4,22	0,06	15,2	12	0,01	0,998	9,23	0,02	13,7	1	0,01	1,000
2100	5,16	0,04	15,2	8	0,01	0,999	11,08	0,06	15,2	7	0,01	0,998
2800	4,87	0,09	15,2	7	0,01	0,997	10,45	0,11	15,2	5	0,01	0,997

Fuente: Elaboración propia.

Luego de las pruebas realizadas en la unidad 1 se determina que en el funcionamiento a GLP, el contenido de monóxido de carbono (CO) se eleva en un 9%, mientras que las concentraciones de emisiones de dióxido de carbono (CO₂) presentan una reducción de 3.9%, y las emisiones de hidrocarburos se reducen en un 39.5%.

Del mismo modo, los resultados detallados a continuación se efectuaron en condiciones normales de funcionamiento, temperatura de motor entre 80°C y 90 °C, presión constante de combustible GLP en el riel de inyectores de 1,1 bar, a una temperatura de GLP entre 70°C y 75 °C, con boquillas de inyector de 1,8 milímetros (mm), durante un tiempo de cinco minutos en cada número de revoluciones.

Cuadro 3: Análisis de resultados de emisiones de gases de la unidad 2.

RPM	Gasohol 90 octanos						Gas licuado de petróleo					
	T.Iny (ms)	Componentes de los gases					T.Iny (ms)	Componentes de los gases				
		CO (%)	CO ₂ (%)	HC(pp m)	O ₂ (%)	Factor Lamb.		CO (%)	CO ₂ (%)	HC(pp m)	O ₂ (%)	Factor Lamb.
700	3,05	0,03	14,5	22	0,05	0,991	6,08	0,04	10,0	11	0,02	0,998
1400	5,32	0,07	14,3	20	1,02	1,210	9,84	0,07	10,1	10	0,06	1,072
2100	5,33	0,07	14,3	18	1,98	1,131	10,02	0,07	10,3	9	0,06	1,161
2800	6,07	0,1	14,1	10	1,75	1,132	11,05	0,08	12,9	2	0,02	1,125

Fuente: Elaboración propia.

Luego de las pruebas realizadas en la unidad 2 se determina que en el vehículo en funcionamiento a GLP, el contenido de monóxido de carbono (CO) presenta una reducción de 3.7%. De la misma manera, las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) presentan una considerable reducción de 39.7%, mientras que las concentraciones de hidrocarburos (HC) también presentan una reducción del 54.28%.

También para la unidad 3, los resultados detallados a continuación se efectuaron en condiciones normales de funcionamiento, temperatura de motor entre 80°C y 90 °C, presión constante de combustible GLP en el riel de inyectores de 1,1 bar, a una temperatura de GLP entre 70°C y 75 °C, con boquillas de inyector de 1,8 milímetros (mm), durante un tiempo de cinco minutos en cada número de revoluciones.

Cuadro 4: Análisis de resultados de emisiones de gases de la unidad 3.

RPM	T.Iny (ms)	Gasohol 90 octanos					Gas licuado de petróleo					
		Componentes de los gases					Componentes de los gases					
		CO (%)	CO ₂ (%)	HC(ppm)	O ₂ (%)	Factor Lamb.	T.Iny (ms)	CO (%)	CO ₂ (%)	HC (ppm)	O ₂ (%)	Factor Lamb.
700	2,64	0,09	15,2	13	0,01	0,997	5,79	0,05	13,9	11	0	0,998
1400	4,43	0,09	10,2	6	1,12	1,187	9,27	0,09	10,2	5	1	1,176
2100	4,93	0,09	10,3	4	1,11	1,167	10,35	0,08	10,2	3	1,67	1,17
2800	7,52	0,09	10,4	10	1,12	1,136	14,72	0,11	10,2	3	0	0,996

Fuente: Elaboración propia.

Realizadas las pruebas en la unidad 3 se determina que en el vehículo en funcionamiento a GLP, el contenido de monóxido de carbono (CO) disminuye en un 8.33%. De la misma manera, las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) disminuyen en un 3.47%, y las emisiones de hidrocarburos presentan una reducción del 33.33%.

Por consiguiente, las pruebas descritas en el siguiente cuadro se realizaron en condiciones normales de funcionamiento, temperatura de motor entre 80°C y 90°C, presión constante de combustible GLP en el riel de inyectores de 1,1 bar, a una temperatura de GLP entre 70°C y 75 °C, con boquillas de inyector de 1,8 milímetros (mm), durante un tiempo de cinco minutos en cada número de revoluciones.

Cuadro 5: Análisis de resultados de emisiones de gases de la unidad 4.

RPM	T.Iny (ms)	Gasohol 90 octanos					Gas licuado de petróleo					
		Componentes de los gases					Componentes de los gases					
		CO (%)	CO ₂ (%)	HC (ppm)	O ₂ (%)	Factor Lamb.	T.Iny (ms)	CO (%)	CO ₂ (%)	HC (ppm)	O ₂ (%)	Factor Lamb.
700	2,75	0,10	11,7	14	3,54	1,295	5,3	0,09	10,2	7	3,42	1,274
1400	4,58	0,09	10,2	6	2,12	1,187	8,2	0,1	10,2	5	7,12	1,686
2100	5,39	0,09	10,3	5	3,96	1,165	9,35	0,07	10,1	2	0	0,998
2800	10,44	0,09	10,5	9	3,72	1,130	15,66	0,08	10,1	1	1,59	1,119

Fuente: Elaboración propia.

A continuación luego de realizadas las pruebas en la unidad 4 se determina que en el vehículo en funcionamiento a GLP, el contenido de monóxido de carbono (CO) se reduce en un 8.11%, de la misma manera que las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) disminuyen en un 4.92%, y las emisiones de hidrocarburos también presentan reducciones del 55.88%.

Para finalizar, los resultados descritos en el Cuadro 10 también se realizaron en condiciones normales de funcionamiento, temperatura de motor entre 80°C y 90°C, presión constante de combustible GLP en el riel de inyectores de 1,1 bar, a una temperatura de GLP entre 70°C y 75 °C, con boquillas de inyector de 1,8 milímetros (mm), durante un tiempo de cinco minutos en cada número de revoluciones.

Cuadro 6: Análisis de resultados de emisiones de gases de la unidad 5.

RPM	Gasohol 90 octanos						Gas licuado de petróleo					
	T.Iny (ms)	Componentes de los gases				Factor Lamb.	T.Iny (ms)	Componentes de los gases				Factor Lamb.
		CO (%)	CO ₂ (%)	HC(ppm)	O ₂ (%)			CO (%)	CO ₂ (%)	HC (ppm)	O ₂ (%)	
700	2,61	0,09	14,2	16	0,04	1,001	6,17	0,08	14,3	13	0,9	1,001
1400	5,32	0,06	14,2	12	0,06	0,998	9,23	0,04	10,7	8	0,01	1,000
2100	8,89	0,06	14,2	8	0,01	0,999	11,08	0,05	13,2	7	0,01	0,998
2800	11,63	0,1	14,9	7	0,01	0,997	10,45	0,11	13,9	5	0,01	0,997

Fuente: Elaboración propia.

Para finalizar luego de realizadas las pruebas en la unidad de estudio número 5, se determina que en el vehículo en funcionamiento a GLP, las concentraciones de monóxido de carbono (CO) disminuyen en un 9.68%, las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) también presentan una ligera reducción del 9.39% y la concentración de emisiones de hidrocarburos se reducen en un 23.25%.

Resultado promedio de emisiones por vehículo.

A continuación, aplicando la media geométrica a las lecturas de emisiones por cada vehículo a distintos regímenes de funcionamiento del motor, se resume la cantidad de emisiones por vehículo en el siguiente cuadro.

Cuadro 7: Resumen de resultados de emisiones por cada vehículo.

Emisiones Contaminantes Entre Gasohol Y GLP

Prueba	Vehículo	CO (%)	CO ₂ (%)	HC(ppm)	CO (%)	CO ₂ (%)	HC(ppm)
1	Unidad 1	0,0505	15,2000	10,1829	0,0507	14,5860	4,6185
2	Unidad 2	0,0619	14,2993	16,7757	0,0629	11,0302	6,6706
3	Unidad 3	0,0900	11,3522	7,4738	0,0793	11,0206	4,7168
4	Unidad 4	0,0924	10,6587	7,8410	0,0843	10,1499	2,8925
5	Unidad 5	0,0754	14,3719	10,1829	0,0648	12,9443	7,7674

Fuente: Resultado de lectura de emisiones. Elaboración propia

Resultado promedio de emisiones de la muestra.

De la misma manera aplicando la media geométrica a las lecturas de emisiones de cada vehículo se resume la concentración de emisiones total de los cinco vehículos en estudio, en donde observamos la disminución de concentración de gases contaminantes en comparación con el gasohol.

Cuadro 8: Emisiones contaminantes gasohol Vs GLP.

Prueba	Gases Contaminantes	Gasohol 90 octanos	GLP
1	CO (%)	0,0722	0,0673
2	CO ₂ (%)	13,0464	11,8427
3	HC (ppm)	10,0385	5,0440

Fuente: Resumen total de valores de emisiones en porcentaje de las cinco unidades. Elaboración propia.

La tabla presentada a continuación muestra de manera porcentual la concentración de gases contaminantes emitidos por los vehículos en estudio, representando valores de 100% a las lecturas de emisiones de gasohol para relacionar el incremento o reducción de concentración de gases contaminantes en funcionamiento a gas licuado de petróleo.

Cuadro 9: Emisiones relativas de contaminantes

Prueba	Gases	Gasohol	GLP
1	CO	100%	93%
2	CO ₂	100%	91%
3	HC	100%	50%

Fuente: Resumen total de emisiones en porcentaje
Elaboración propia

Representación gráfica de emisiones contaminantes.

En grafico mostrado de muestra claramente el porcentaje de reducción de emisiones contaminantes.

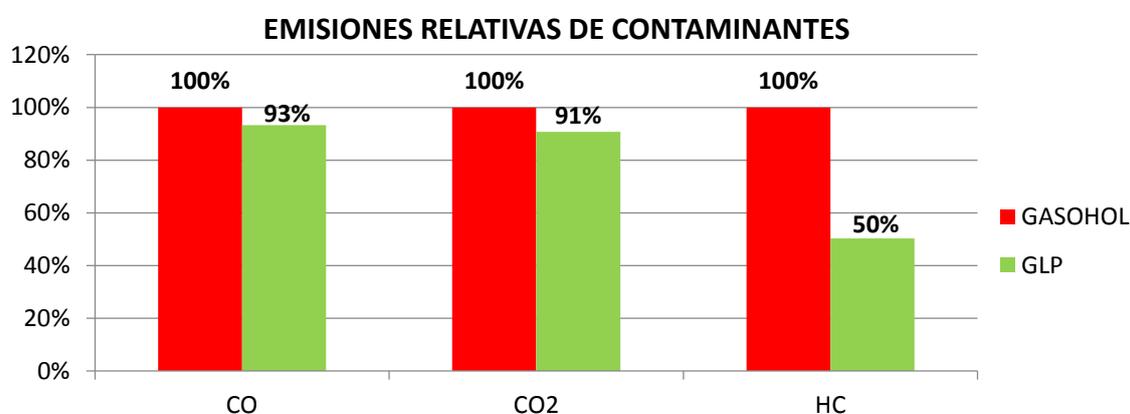


Figura 6: Gráfica resumen de gases emitidos.
Fuente: Elaboración propia.

El funcionamiento del equipo de conversión de gas licuado de petróleo se basa en toda una gestión electrónica original del vehículo convertido. El vehículo posee una centralita electrónica (ECU), el cual es un dispositivo electrónico normalmente conectado a una serie de sensores que le proporcionan la información, y actuadores como los inyectores que ejecutan los comandos. Una centralita electrónica cuenta con un software cuya lógica le permite tomar decisiones según la información del entorno proporcionada por los sensores. El equipo de conversión de GLP también posee una centralita, esta interrumpe la señal negativa del inyector de gasohol, procesa la información y activa los inyectores de GLP, por las propiedades del GLP, y la gestión electrónica de la ECU GLP se logra reducir las emisiones contaminantes de los vehículos.

Solución al primer objetivo

La inyección electrónica de combustible, la razón fundamental de la gestión electrónica en el sistema de inyección de combustible, está basada en el mejor control de las emisiones del vehículo; esto quiere decir, que disminuye al mínimo los gases contaminantes emanados por el vehículo (escape, carter y tanque de combustible), cumpliendo con las normativas de "AIRE LIMPIO", emanadas por organismos Internacionales.

Los sistemas de conversión GLP con inyección electrónica de combustible pretenden conseguir una dosificación de combustible lo más ajustada posible a las condiciones de marcha y estado del motor, consiguiéndolo a cambio de una mayor complejidad de componentes del equipo. Estos sistemas efectúan la inyección de GLP en el colector de admisión, delante de la válvula de admisión mediante

unos inyectores electromecánicos que en su apertura presentan siempre la misma sección de paso y descargan el combustible creando una buena emulsión con el aire.

Un microprocesador (ECU GLP) controla el tiempo de apertura de los inyectores GLP en función de los datos que recibe del pulso negativo de los inyectores de gasohol del vehículo comandados por la ECU original del vehículo en función de los diferentes sensores que le informan las condiciones del vehículo.

Es de gran importancia que la presión de GLP, dentro del riel de los inyectores, oscile entre 1.1 bar y 1.3 bar, pues la cantidad de combustible inyectado solo debe depender del tiempo de inyección o tiempo de apertura del inyector, parámetro controlado fácilmente por la ECU GLP.

En conclusión, la gestión electrónica aplicada al sistema de inyección de combustible es un sofisticado Sistema de Control de Emisiones. De esta manera se consideró la recopilación de los datos basados en el manual del fabricante y que nos servirá para tener en cuenta los valores óptimos de funcionamiento que el fabricante establece en condiciones ideales de funcionamiento.

Recopilación de lecturas para el primer objetivo.

A continuación detallamos la tabla de valores con los resultados obtenidos luego de efectuar las pruebas de laboratorio realizadas a distintas revoluciones del motor, mostrando el tiempo de inyección de cada uno de los cilindros. En esta tabla observaremos la variación del tiempo de inyección de los inyectores de GLP a distintos regímenes del motor en función de la cantidad de emisiones contaminantes expulsadas por el motor, proceso realizado por la ECU GLP, tomando como principio de funcionamiento la inyección electrónica de combustible realizada por el sistema electrónico original del vehículo. Para efectuar esta prueba se utilizó un tacómetro en la escala de milisegundos (ms) y un analizador de gases.

Cuadro 10: Inyección electrónica y gases contaminantes.

rpm	Cil. 1(ms)	Cil. 2(ms)	Cil. 3(ms)	Cil. 4(ms)	Prom. (ms)	CO (%)	CO ₂ (%)	HC (pp m)	O ₂ (%)	Lambda
700	4,97	4,98	4,98	4,97	4,97	0,05	14,3	13	0,05	1,001
1400	5,12	5,12	5,13	5,11	5,12	0,02	13,7	1	0,01	1,000
2100	5,06	5,05	5,07	5,08	5,06	0,06	15,2	7	0,01	0,998
2800	5,44	5,43	5,45	5,44	5,44	0,11	15,2	5	0,01	0,997

**Fuente: Análisis de resultados de valores de emisiones de gases en función del tiempo de inyección
Elaboración propia.**

Una vez montados los equipos de lectura y mediciones de gases, se procedió a observar y capturar las lecturas en cada revolución del motor; las mediciones realizadas corresponde a ensayos realizados con el vehículo completamente sin marcha y sin carga alguna durante un tiempo aproximado de dos horas; en ella se puede ver la concentración de emisiones de escape y el comportamiento del tiempo de inyección a distintos regímenes del motor.

Cálculos de referencia. El tiempo de inyección depende de las revoluciones y de la carga del motor. Para el cálculo del tiempo de inyección se ha de tener en cuenta las características del inyector seleccionado y sus valores de funcionamiento. Para este proceso es necesario conocer el caudal máxico del inyector para una presión dada en condición de normalmente abierto. En el funcionamiento a gasohol el caudal máxico es 261,5 gr/min para una presión de inyección de 3 bar. Con este valor se puede expresar la relación característica del inyector. Estos inyectores presentan una relación lineal entre el rpm y el pulso de inyección. Para comparar estos valores empíricos con unos valores teóricos, se utilizará la siguiente ecuación para calcular el tiempo promedio de inyección.

$$m_f = \int_{t_1}^{t_2} C_{D1} \cdot A_1 \cdot \rho_g \cdot C_1 dt$$

$$C_1 = \sqrt{\frac{2 \cdot Pi}{\rho g}}$$

m_f : Masa de gasolina inyectada.
 CDI : Coeficiente de descarga.
 $A1$: Área de los orificios del inyector
 ρ_g : Densidad del combustible.
 $C1$: Velocidad de descarga.
 P_i : Presión de inyección.

De los datos anteriores el área de los orificios se calcula de forma directa mediante un juego de calibradores, sin embargo este valor puede tener un cierto grado de error. El coeficiente de descarga es un valor empírico y se ha de buscar para cada inyector, pero para simplificar el método se tomará el valor medio (0.6). Considerando:

$CDI = 0,6$.
 $A1 = 2,83 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2$
 $\rho_g = 761,1 \text{ Kg / m}^3$.
 $P_i = 3 \cdot 10^5 \text{ Pa}$.

De las ecuaciones anteriormente descritas se obtiene el tiempo de inyección con la siguiente fórmula:

$$t_i = \frac{m_f \cdot \frac{1000}{f} + 3,628 \cdot 10^{-3}}{3,628 \cdot 10^{-3}} [ms]$$

Análisis de resultados de monóxido de carbono respecto a la inyección electrónica.

La inyección electrónica de combustible se traduce en tiempo de inyección, ya que las concentraciones de emisiones contaminantes son resultado únicamente del tiempo de apertura del inyector para descargar el combustible dentro del múltiple de admisión. En la tabla de inyección electrónica y gases contaminantes podemos visualizar que se realiza un promedio de los tiempos de inyección de cada uno de los cilindros a distintas revoluciones por minuto del motor, sin carga; es decir vehículo estacionado manteniendo a aceleración constante. Teniendo esta lectura promedio podemos ilustrar la relación que existe entre el tiempo de inyección de combustible a distintos regímenes del motor y la cantidad de monóxido de carbono emitida en ese instante.

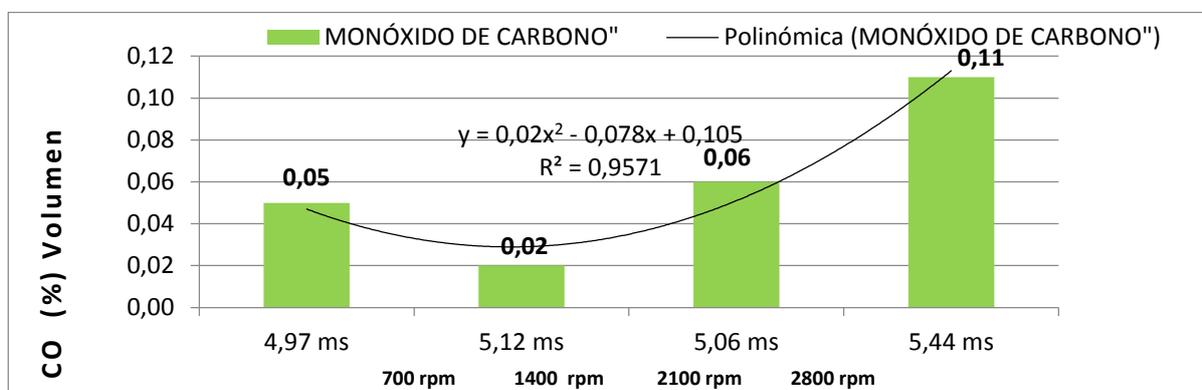


Figura 7: Grafica de resultados de monóxido de carbono en función del tiempo de inyección.

Fuente: Elaboración propia.

Se tienen los resultados de las emisiones en lo referente al % de monóxido de carbono (CO) emitido por la unidad uno de muestra, prueba realizada sin carga. Obtenemos la lectura más alta de 0.11 % a 2800 rpm con un tiempo de inyección de 5.44 ms, y la lectura más baja de 0.02 % a 700 rpm con un tiempo de inyección de 5.12 ms.

La emisión de monóxido de carbono (CO) aumenta con las mezclas ricas, es decir mezclas con un factor Lambda menor a uno. El oxígeno existente no es suficiente para completar la combustión, por lo cual el contenido de CO en los gases de escape es elevado. Por el contrario el monóxido de carbono

(CO) disminuye con las mezclas pobres, es decir para mezclas con un factor Lambda mayor a uno. El oxígeno presente es abundante y la combustión tiende a completarse, por lo cual el contenido de CO en los gases de escape alcanza valores mínimos.

Análisis de resultados del dióxido de carbono respecto a la inyección electrónica.

A continuación se presenta un gráfico donde se ilustra el comportamiento de las concentraciones en % de dióxido de carbono con respecto al tiempo de inyección de combustible calculado por la ECU.

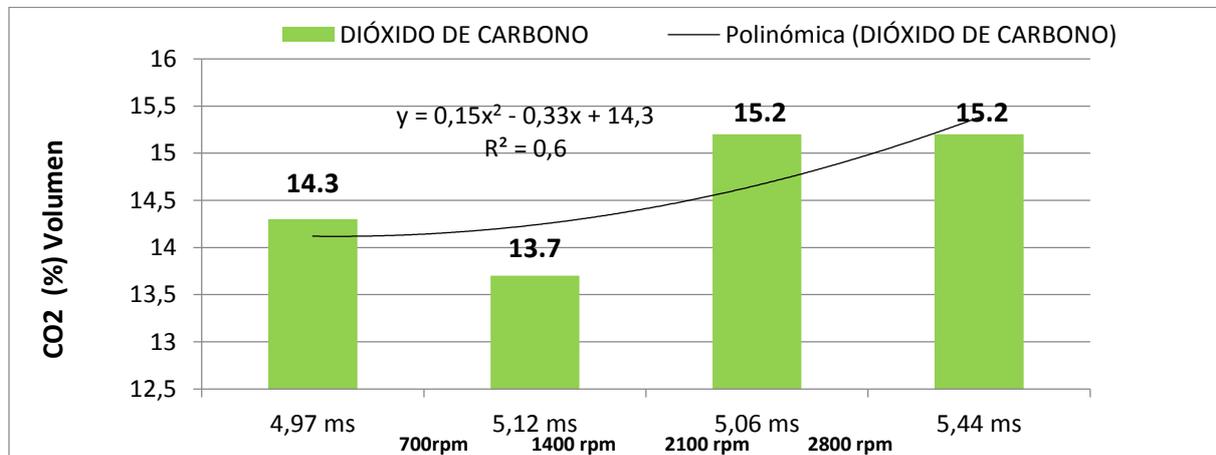


Figura 8: Gráfica del comportamiento del dióxido de carbono en función del tiempo de inyección.

Fuente: Elaboración propia.

Se tienen los resultados de las emisiones en lo referente al % de dióxido de carbono (CO₂) emitido por la unidad 1 de la muestra, prueba realizada sin carga. Obtenemos las lecturas más altas de 15.2 % a 2100 rpm con un tiempo de inyección de 5.06 ms, y 2800 rpm con un tiempo de inyección de 5.44 ms, y la lectura más baja de 13.7 % a 700 rpm con un tiempo de inyección de 5.12 ms.

La concentración de CO₂ alcanza el valor máximo para coeficientes lambda cercana a 1. El valor de CO₂ puede dar una idea de la calidad de la combustión. El pico de valor máximo corresponde prácticamente con una mezcla con un factor lambda ligeramente superior a 1,00.

Como se observa en la figura la cantidad de concentración CO₂ varía entre aproximadamente 15% debido a que los sistemas de inyección electrónicos de combustible modifican el tiempo de inyección o apertura de los inyectores de combustible, de acuerdo a las condiciones del motor para lograr la reducción de gases contaminantes. El CO₂ es considerado técnicamente como un índice del rendimiento del motor, es decir es combustible totalmente quemado.

Conviene recordar que hasta no hace mucho tiempo, los fabricantes de automóviles, hacían trabajar los motores con mezclas ricas, necesarias entre otras cosas para poder obtener potencias específicas elevadas. En la actualidad, para conseguir una reducción de los consumos, la tendencia es a trabajar en el campo de las mezclas pobres.

Análisis de resultados de los hidrocarburos respecto a la inyección electrónica. La presencia de contaminantes en los gases de combustión puede detectarse a partir de la concentración de los componentes del gas (hidrocarburos, monóxido de carbono, dióxido de carbono, etc.), para los hidrocarburos se utiliza la unidad de ppm (partícula por millón), como el tanto por ciento (%) ppm también describe una proporción. Por ciento significa un número X de partes por cada cien, mientras que ppm significa un número X de partes por cada millón.

Analizando el cuadro de inyección electrónica y gases contaminantes, a continuación se presenta un gráfico que nos muestra la concentración de hidrocarburos sin quemar a distintos regímenes de funcionamiento del motor sin carga.

Al representar estos resultados mediante una curva de tendencia se puede ver que el comportamiento de las concentraciones de hidrocarburos presenta un comportamiento polinómico, lo cual muestra una tendencia que permite proyectar un dato muy aproximado de las emisiones a distintos regímenes del motor y a diferentes cargas.

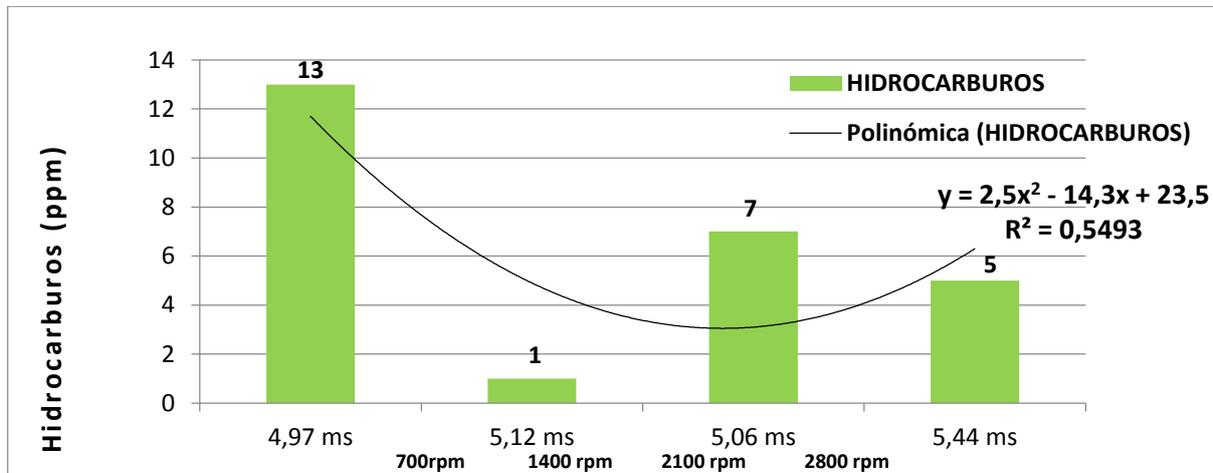


Figura 9: Gráfica del comportamiento de los hidrocarburos en función del tiempo de inyección.
Fuente: Elaboración propia.

Se tienen los resultados de emisiones en lo referente a las partes por millón (ppm) de hidrocarburos (HC) emitido por la unidad 1 de nuestra muestra, de igual manera que las anteriores prueba realizada sin carga. Obtenemos la lectura más alta de 13 ppm a 700 rpm con un tiempo de inyección de 4.97 ms, y 700 rpm, mientras que la lectura más baja de 1 ppm se obtiene con un tiempo de inyección de 5.12 ms a 1400 rpm, mientras que a 5.6 ms, a 2100 rpm el contenido de emisiones es 7 ppm y a 5.44 ms a 2800 rpm el contenido de hidrocarburos es de 5 ppm.

Con mezclas ricas es imposible quemar por completo los hidrocarburos por falta de oxígeno. Por el contrario, con mezclas muy pobres ($\Lambda > 1,2$) se pueden tener retrasos en la combustión, dificultad de propagación de la llama o fallos de encendido al haberse superado los límites de inflamabilidad. En este caso, la combustión resulta incompleta y se comprueba un aumento significativo de los HC emitidos en el escape.

Análisis de cantidad de oxígeno respecto a la inyección electrónica.

Analizando el cuadro de inyección electrónica y gases contaminantes se presenta un gráfico que nos ilustra la variación de la cantidad de oxígeno en las emisiones expulsadas por el motor de combustión interna.

Se tienen los resultados de las concentraciones de oxígeno en los gases de combustión la cual nos permite reconocer la composición de la mezcla, un valor demasiado alto es señal de una mezcla demasiado pobre, es decir contiene menos combustible que la estequiométrica.

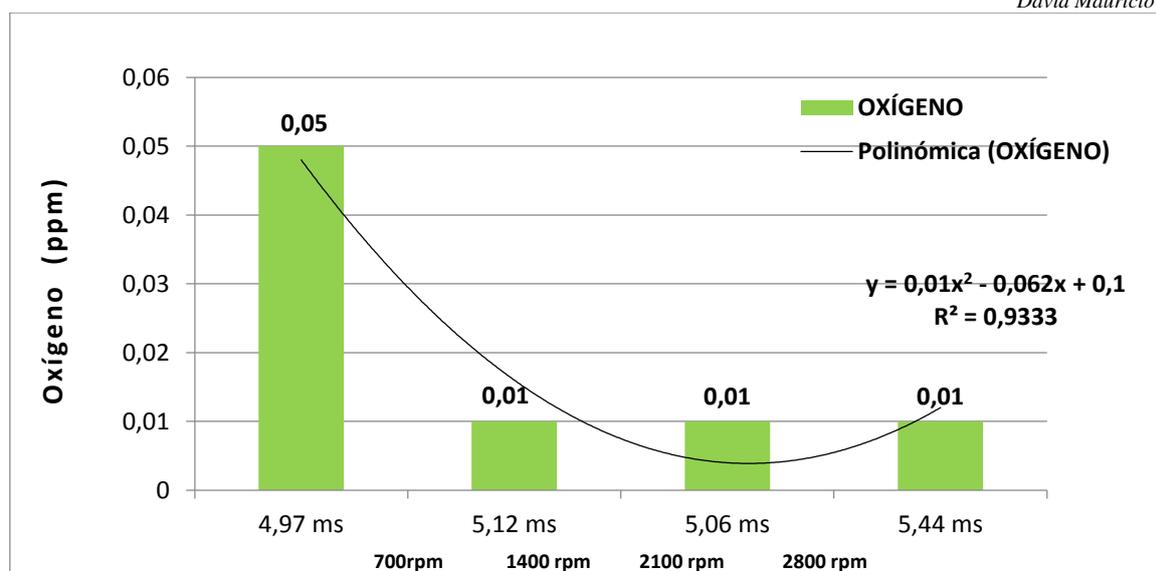


Figura 10: Gráfica de la cantidad de oxígeno en la emisiones en función del tiempo de inyección
Fuente: Elaboración propia.

Discusión

En principio tenemos que señalar un logro importante en el desarrollo de la presente investigación debido al uso de los instrumentos estadísticos para procesar los resultados y llegar a una correcta conclusión que responde a las exigencias técnicas que la investigación requiere. Esto se refleja en los resultados de los análisis estadísticos los mismos que señalan que dichos instrumentos presentan la respectiva validez y confiabilidad que hace posible su utilización.

Tomando en cuenta los resultados obtenidos de las concentraciones de emisiones de gases contaminantes se destaca la alta reducción de los hidrocarburos (HC), reconocido como altamente tóxico para la salud, así como también la reducción del monóxido de carbono (CO) y el dióxido de carbono (CO₂). Esto es resultado de toda una gestión electrónica que utiliza diversos sensores colocados en el motor que informan a la ECU las distintas condiciones del motor, para que esta calcule el tiempo de inyección ideal para cada inyector de combustible GLP que oscila desde 4.5 ms en ralentí hasta 6.0 ms a 2800 rpm aproximadamente con el vehículo sin carga a rpm constante, y con el vehículo en marcha (con carga) los rangos de funcionamiento del inyector GLP oscilan desde 4.5 ms hasta 20 ms aproximadamente. Este control electrónico de combustible permite manejar en las distintas fases de funcionamiento obedeciendo las solicitudes del conductor y las normas anticontaminación. Coincidentemente así lo manifiesta la investigación de tesis “Diseño e implementación de un sistema alternativo de inyección electrónica de gas natural comprimido (GNC) para un motor de combustión interna a gasolina de ocho cilindros en V, cuyos autores son Paredes Urquiza Álvaro Renán y Condo Velastegui Paulo César, en el año 2009, quienes manifiestan que el sistema de inyección permite la exacta dosificación de combustible por medio de la comunicación de sensores con el módulo de control.

Al realizar lecturas de la concentración de emisiones de gases contaminantes del motor en su funcionamiento a gasohol y al compararlas con las emisiones de gases en funcionamiento a GLP verificamos una reducción del 50% en lo que se refiere a los hidrocarburos, un 7% en lo que se refiere al monóxido de carbono, y un 9 % en las concentraciones de dióxido de carbono, por lo que se concluye que el trabajo del motor en su funcionamiento a GLP ayuda a preservar el ambiente y reducir considerablemente el llamado smog de las ciudades (hidrocarburos). Coincidentemente así lo manifiesta la investigación de tesis “Evaluación de la factibilidad del uso del gas natural vehicular como una alternativa energética para disminuir la contaminación ambiental por emisiones peligrosas”, cuya autora es Rilimar Cáceres Isabella Mariana, en el año 2011, quien manifiesta que el gas constituye un recurso energético que posee ventajas ambientales, técnicas y económicas con respecto a

los combustibles líquidos. El programa de sustitución de gasolina por gas en vehículos contribuirá a mejorar la calidad del aire en las ciudades con alta densidad vehicular, pues el gas por ser un combustible limpio no produce hollín ni mugre. Por lo tanto los equipos en que se usa como combustible no requieren mantenimiento especial. El GNV por tener una combustión más completa que la gasolina produce una reducción de emisiones de gases contaminantes a la atmosfera. La autora concluye que a través de su estudio se determinó que el GNV es factible desde el punto de vista de eficiencia, seguridad y protección al ambiente.

Los vehículos con motores de inyección electrónica, adaptados con el equipo de conversión a GLP, permiten el control electrónico de combustible (GLP) permitiendo calcular la relación adecuada entre aire y combustible (mezcla estequiométrica), para una combustión ideal, comprobando mediante las lecturas del factor Lambda con valores cercanos al uno, lo que demuestra una combustión completa, para que el catalizador pueda convertir prácticamente la totalidad de los gases de escape nocivos en gases inocuos para el medio ambiente, mejorando la reducción de gases contaminantes con respecto al uso de gasolina. Coincidentemente, así lo manifiesta la investigación de tesis “Construcción de un banco didáctico para el funcionamiento y reconocimiento de partes de un sistema de alimentación por (GLP) en un motor de explosión interna”. El autor Carranza Zúñiga Edison Hernán en el año 2012, manifiesta que en el transcurso del tiempo los vehículos con carburador han sufrido una evolución importante, basada en la incorporación de nuevos dispositivos correctores, para adaptarse a todas las condiciones de funcionamiento del motor, reducir el consumo de combustible, y limitar la emisión de sustancias contaminantes en los gases de escape, aspecto decisivo para la norma anticontaminación, que ha reduciendo los valores de sustancias contaminantes en los gases de escape, hasta el punto de que solo era posible cumplirlas incorporando al motor un sistema de inyección a gasolina.

Las concentraciones de emisiones de gases contaminantes de los motores en estudio en su funcionamiento a GLP con lecturas de 0.07 % de CO, 11.84 % de CO₂, y 5 ppm de HC, se ubican muy debajo de los **límites máximos permisibles establecidos por el DS N° 047-2001-MTC, modificado por el DS N° 009-2012.MINAN**, donde establece un máximo de emisiones de 100 ppm de HC, 0.5 % de CO, y un límite mínimo de 8 % en lo que se refiere a CO +CO₂ para vehículos gasolineros en su funcionamiento a GLP o GNV.

Conclusiones.

Se concluyó que el sistema de inyección electrónica del equipo de conversión a GLP, adecuadamente enlazado con la electrónica del vehículo, permite una correcta dosificación de GLP dentro del colector de admisión del motor, permitiendo el control electrónico de combustible.

Realizado las tomas de lecturas del factor Lambda, y las concentraciones de oxígeno en las emisiones de gases de los motores en su funcionamiento a GLP se concluye que se obtiene valores Lambda cercanos al uno, y lecturas de dióxido de carbono (CO₂) de 11.84% que equivale a una reducción del 9 % con respecto al funcionamiento a gasohol.

Realizadas las lecturas de las concentraciones de emisiones, analizando la presión de GLP de 1.15 bar – 1.18 bar dentro del riel de inyectores y lecturas de tiempo de inyección en distintos regímenes de funcionamiento del motor, se concluye que los inyectores GLP modelo riel apache, con boquillas de 1.8 mm de diámetro aseguran la apertura y cierre del mismo en forma rápida manteniendo estable la alta presión de GLP, por lo tanto son los más adecuados para el motor, ya que según las especificaciones del fabricante la presión de funcionamiento del inyector se encuentra entre 0.5 bar a 3 bar y soporta temperaturas de funcionamiento desde -40 °C hasta 120 °C.

Analizando los resultados de la investigación se concluye que el equipo de conversión a GLP de quinta generación acoplado a un vehículo con inyección electrónica, posee gran ventaja en lo que se refiere reducción de emisiones contaminantes frente a los equipos de tercera generación instalados en vehículos carburados o inyectados puesto que son equipos aspirados es decir no tienen control electrónico de combustible.

Referencias bibliográficas

- Arias, M. (2010). Manual del Automóvil. Editorial Dossat. 56° Edición. España. 879 p. ISBN 84-89656-09-06.
- Cáceres, C., García, M. (2012). Implementación de un banco de pruebas de inyección electrónica de un motor CORSA 1.4LT OBD II para el taller de la Escuela de Ingeniería Automotriz de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Tesis para optar el título de Ingeniero Automotriz. Escuela Politécnica del Ejército en Latacunga .Ecuador. 225 p.
- Carrera, J., Miranda, A., Vera, J. (2014). Control de emisiones jeep tajonee 1979. Tesis para optar el título de Tecnólogo Automotriz. Escuela Superior Tecnológica del Litoral. Guayaquil. Ecuador. 74 p.
- Diego, F. (2007). Adaptación de un sistema de inyección electrónica de combustible multipunto MPFI en un vehículo LADA Modelo 2104 fabricado el año 1994. Tesis para optar el título de Ingeniero Automotriz. Escuela Politécnica del Ejército. Ecuador. 140 p.
- Duque, E., Masquiza, J. (2013). Implementación de un generador e inyector de hidrogeno en un motor de vehículo Mazda bt-50 2.2 l, para reducir emisiones de gases contaminantes. Tesis para optar el título de Ingeniero Automotriz. Escuela Politécnica de Chimborazo. Riobamba, Ecuador. 137 p.
- Garcia, T. (2003) El cuestionario como instrumento de investigación/evaluación”. [Consulta: 18 de abril del 2015]. Disponible en: http://www.univsantana.com/sociologia/El_Cuestionario.pdf
- Giacosa, D. (2004). Motores Endotérmicos”. Editorial Hoepli. 2° Edición. España. 930 p. ISBN 978-842820-84-82
- Gobierno del Perú. (2001). Límites máximos permisibles de emisiones contaminantes para vehículos automotores que circulen por la vía pública”. Decreto Supremo N° 047-2001-MTC. 60 p. Perú.
- Gonzales, D. (2012). Motores térmicos y sus servicios auxiliares. 1° Edición. Editorial Paraninfo. España. 682 p. ISBN 8497328477
- Hernandez, R. (2006). Metodología de la Investigación. Editorial Interamericana. 4° Edición. España 850 p. ISBN 9701057538
- Ministerio de educación de España. (2004). Los Sistemas terrestres y sus implicancias ambientales. 1° Edición. Gobierno de España. 313 p. ISBN 8436939247
- MTC (s.f.). Ministerio de Transporte y Comunicaciones del Perú. Decreto Supremo N° 047-2001-MTC. Gobierno del Perú. 1° Edición. [Consulta: 4 de abril del 2015]. Disponible en: <http://sinia.minam.gob.pe/index.php?accion=verElemento&idElementoInformacion=1114&verPor=tema&idTipoElemento=3&idTipoFuente=>
- Shapiro, M. (2005). Termodinámica Técnica. Editorial Reverte. 2° Edición. España. 897 p. ISBN 84-291-4313-0.
- SUTRAN. (2014). Talleres de conversión de GLP. Gobierno del Perú. Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Perú. 2014. [Consulta: 20 de abril del 2015]. Disponible en: <http://www.sutran.gob.pe/portal/index.php/servicios-complementarios/main-talleres-de-conversion-gnv-glp>