

REVISTA CIENTÍFICA
CONECTIVIDAD

Conectividad
ISSN: 2806-5875
ISSN-L: 2806-5875
revista@ister.edu.ec
Tecnológico Superior Rumiñahui
Ecuador

Passo Guamangate, Manuel Rodrigo; Camacho Játiva, Lorena Maribel; Arguello Tarira, Joan Alfredo; Villamar Rodríguez, María Belén; Herrera Contreras, Hernán Darío
Incidencia de los efectos ambientales en el comportamiento del motor de combustión interna en compresión y caudal de aire
Conectividad, vol. 5, núm. 1, 2024, Enero-Junio, pp. 36-48
Tecnológico Superior Rumiñahui
Sangolquí, Ecuador

DOI: <https://doi.org/10.37431/conectividad.v5i1.110>

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=777882583003>



- ▶ [Cómo citar el artículo](#)
- ▶ [Número completo](#)
- ▶ [Más información del artículo](#)
- ▶ [Página de la revista en redalyc.org](#)

redalyc.org

Sistema de Información Científica Redalyc
Red de revistas científicas de Acceso Abierto diamante
Infraestructura abierta no comercial propiedad de la academia

Incidencia de los efectos ambientales en el comportamiento del motor de combustión interna en compresión y caudal de aire

Incidence of environmental effects on the behavior of the internal combustion engine in compression and air flow

Manuel Rodrigo Passo Guamangate¹, Lorena Maribel Camacho Játiva², Joan Alfredo Arguello Tarira³, María Belén Villamar Rodríguez⁴, Hernán Darío Herrera Contreras⁵

¹ Instituto Superior Tecnológico Ciudad de Valencia, manuelpasso@itscv.edu.ec, Quevedo, Ecuador

² Instituto Superior Tecnológico Ciudad de Valencia, lorenacamacho@itscv.edu.ec, Quevedo, Ecuador

³ Instituto Superior Tecnológico Ciudad de Valencia, joanarguellotarira@itscv.edu.ec, Quevedo, Ecuador

⁴ Instituto Superior Tecnológico Ciudad de Valencia, mariavillamarrodriguez@itscv.edu.ec, Quevedo, Ecuador

⁵ Instituto Superior Tecnológico Ciudad de Valencia, hernanherrera@itscv.edu.ec, Quevedo, Ecuador

Autor para correspondencia: manuelpasso@itscv.edu.ec

Fecha de recepción: 2023.09.28

Fecha de aceptación: 2023.11.24

Fecha de publicación: 2024.01.15

RESUMEN

A medida que la gente utiliza cada vez más vehículos de motor en diferentes condiciones ambientales, es necesario estudiar el rendimiento del motor en estas condiciones, lo que se realiza utilizando un osciloscopio para determinar el comportamiento de cada punto en el diagrama de forma de onda para pruebas reales. en el exterior a menos de 2500 metros sobre el nivel del mar. El vehículo fue probado en condiciones ambientales estándar, desde el nivel del mar hasta 300 m hasta 2500 m sobre el nivel del mar. Con base en estas pruebas se determinó que la altitud tiene un efecto directo en su desempeño, ya que el valor de compresión disminuye gradualmente a medida que aumenta la altitud, concluyendo que la presión del cilindro cae un 5%. La temperatura también juega un papel importante en sus efectos. en la entrada de agua. La correlación porcentual entre caudal y caudal es de 1°C por cada 154 metros de elevación. De manera similar, se midió el flujo de aire en cada punto de prueba utilizando un escáner incorporado en el automóvil para determinar el efecto de los cambios combinados de presión y temperatura en el rendimiento del motor. Se encontró que la presión de admisión tuvo un efecto significativo y el rendimiento del motor se vio afectado. No funcionar correctamente en condiciones saturadas o pobres debido a fluctuaciones de presión en el colector de admisión.

Palabras clave: Diagnóstico, Investigación, Motores, Presión, Temperatura.

ABSTRACT

As more and more people use motor vehicles in different environmental conditions, it is necessary to study the performance of the engine under these conditions, which is done by using an oscilloscope to determine the behavior of each point on the waveform diagram to real tests. outdoors at less than 2500 meters above sea level. The vehicle was tested under standard environmental conditions, from sea level up to 300 m to 2500 m above sea level. Based on these tests, it was determined that altitude has a direct effect on its performance, since the compression value gradually decreases as the altitude increases, concluding that the cylinder pressure drops by 5%. Temperature also plays an important role in its effects. at the water inlet. The percentage correlation between flow and flow is 1°C for every 154 meters of elevation. Similarly, airflow at each test point was measured using a scanner built into the car to determine the effect of combined pressure and temperature changes on engine performance. It was found that intake pressure had a significant effect and engine performance was affected. Not operating properly in saturated or lean conditions due to pressure fluctuations in the intake manifold.

Key words: Diagnosis, Research, Engines, Pressure, Temperature.

INTRODUCCIÓN

El trabajo de investigación mostrará el efecto de la altitud en el desempeño de motores de combustión interna sin sistemas correctivos, en función de la presión en el ambiente. Ya que de acuerdo a las pruebas realizadas se determinó que a medida que la altura aumenta la presión, temperatura e ingreso del caudal de aire disminuye por ende afectando la eficiencia mecánica del motor de combustión interna. La altitud sobre el nivel del mar tiene un efecto notable sobre la densidad del aire y su composición (Lapueta, Armas, Agudelo, & Sánchez, 2006). Dado que los motores de combustión interna tienen sistemas de combustible de base volumétrica, la altitud puede modificar su ciclo termodinámico de operación y, en consecuencia, su rendimiento, las condiciones locales de combustión y la formación de contaminantes. Se planteó y presentó una expresión matemática que permite calcular el incremento o decremento de la presión, temperatura y caudal de aire necesario para evitar pérdidas de potencia con el aumento de altitud (Lapueta et al., 2006; Leach, Kalghatgi, Stone, & Miles, 2020).

El comportamiento de la compresión es necesario estudiar para el control de producir emisiones más bajas conservando una eficiencia térmica alta en los motores. Por esta razón se realizó estudios sobre estos parámetro mencionados para los motores de combustión interna encendidos por chispa

que representan una gran proporción y ligeras mejoras en su eficiencia que dan a lugar a grandes impactos en términos ambientales y económicos (Ağbulut & Bakir, 2019; Andara, 2019). Para lograr este objetivo, buscamos comprender la física ambiental involucrada en la combustión a través de diversos experimentos y seteos numéricos. Siendo esta herramienta la que nos llevará a la investigación de datos en actual momento aprovechando la ventaja de softwares para el análisis de datos. No obstante, el acople de las ecuaciones para la modelación estadístico que son requeridos para realizar las simulaciones numéricas correspondientes a los parámetros de presión, temperatura, caudal de aire y altura (Erazo Félix, 2021).

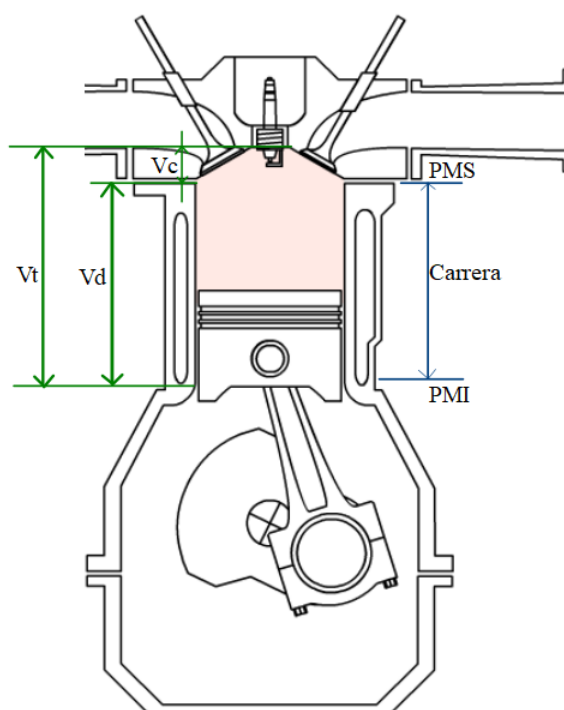
Es incuestionablemente cierto que, al igual que todos los demás tipos de MCI, el MCI se ve afectado hasta cierto punto por los cambios en las condiciones atmosféricas. En el caso del motor de gasolina, donde el suministro de combustible está gobernado por el flujo másico de aire, cualquier cambio en el flujo de aire, sin importar cómo se produzca, resultará automáticamente en un cambio en el flujo de combustible y, en estas condiciones, en un cambio en la densidad atmosférica. tendrá una influencia más o menos directa sobre la fuerza desarrollado (Boloy, Silveira, Tuna, Coronado, & Antunes, 2011).

La presente investigación está alineada al estudio parcial del motor en sistemas de inyección y carburación para la observancia del comportamiento del motor en sus partes mecánicas, donde el pistón recorre hacia el PMS y PMI en un cilindro y transmite potencia a través de una biela y un mecanismo de manivela al eje impulsor, como se muestra en la figura 1. El giro constante de la manivela produce un movimiento de pistón cíclico. El pistón se detiene en la posición del cigüeñal al PMS y posición del cigüeñal al PMI cuando el volumen del cilindro es mínimo o máximo, respectivamente. El volumen mínimo del cilindro se denomina volumen de cámara “ V_c ”. El volumen barrido por el pistón, la diferencia entre el volumen máximo o total “ V_t ”, y el volumen libre, se denomina volumen desplazado “ V_d ”. La relación entre el volumen del cilindro y el volumen de la cámara de combustión es la relación de compresión “ ϵ ”. Los valores típicos de “ ϵ ” es de 10:1 para este motore de encendido por chispa del presente vehículo (Pulkrabek, 2004; Stone, 1999).

La mezcla de aire y combustible antes de la combustión y los productos de combustión después de la combustión son los caudales operativos reales. La transferencia de trabajo para proporcionar la

potencia requerida se produce directamente entre estos flujos de trabajo y los componentes mecánicos del motor. El funcionamiento u operación de los motores de combustión interna es objeto de investigación sobre motores de encendido por chispa y altas relaciones potencia-peso, dos tipos de motores que encuentran un uso generalizado en el transporte y la generación de energía. De hecho, la combustión se produce dentro del grupo 3/4, centrándose en el efecto de los cambios de altitud en la presión del aire sobre su comportamiento. (Elgamel, 1999).

Figura 1: Geometría básica del motor de combustión interna alternativo. V_c , V_d y V_t , indican los volúmenes de cámara de combustión, desplazados y totales de los cilindros.



Nomenclaturas:

- PMS: Punto muerto superior
- PMI: Punto muerto inferior
- V_c : Volumen de la cámara
- V_d : Volumen desplazado
- V_t : Volumen total del cilindro
- MCI: Motor de combustión interna

La caída de la presión y la temperatura atmosférica tiene un efecto directo a la densidad del aire y su composición química, y, en efecto, al comportamiento de toda máquina de combustión. Este problema es más acentuado en máquinas térmicas de desplazamiento volumétrico como los

motores de combustión interna, y dentro de ellos, aún más en los de aspiración natural (Lapuerta et al., 2006).

La investigación de los efectos ambientales como la presión y temperatura, que complementa los esfuerzos anteriores en inyección de combustible y presión reducida en la cámara, producirá resultados más consistentes con operaciones en altitud que los que puede proporcionar el control de presión por sí solo. Además, una capacidad de control de temperatura permitiría estudiar los efectos del enfriamiento y el arranque de motores en altitud, que son problemas particularmente relevantes para los motores de combustible pesado.

MATERIALES Y MÉTODOS

Método experimental

Las pruebas se realizaron con el vehículo a 60 m hasta los 2500 m sobre el nivel del mar con intervalos de pruebas cada 300 msnm. En la ciudad de Quevedo “60 msnm” se realizará tres pruebas, las pruebas se realizaron a temperatura normal de funcionamiento. A lo largo de la ruta programada, se realizó varias pruebas, todas estas pruebas están predeterminadas realizar en temperatura normal de funcionamiento, todas a lo largo de un mismo día. En cada prueba los parámetros medidos comenzaron a ser registrados cuando el vehículo alcance una escala de 300 msnm hasta los 2500 msnm hasta la parroquia de Apagua, para disminuir la influencia de la acción del viento. Cada serie de diez pruebas tardará unas tres horas en concluirse (Biernat, Samson-Bręk, Chłopek, Owczuk, & Matuszewska, 2021).

En la investigación se utilizará un diseño experimental para enfocar el comportamiento del motor de combustión y ejecutar una orden para luego connotar los resultados. También se menciona que se realizarán pruebas mecánicas de eficiencia a diferentes alturas y presiones barométricas para ver la reacción resultante en los vehículos. La esencia de esta concepción de experimento es la manipulación intencional de una acción para analizar sus posibles resultados (Doorman, 1991; Fernández & García, 2017; Hernández-Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2018).

Para esta investigación se usó herramientas de diagnóstico electrónico, mecánicas y vehículos como:

- Vehículo a carburador

- Vehículo a inyección electrónica
- Compresómetros
- Transductor de presión
- Acoples
- Scanner
- Osciloscopio

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta sección se aprecia los resultados obtenidos en la cual se observará el detalle de cambios en los valores de compresión.

Para dar continuación al criterio de incidencia de alturas y temperaturas se arma el siguiente cuadro de comparación entre lo mencionado:

Tabla 1: Datos comparativos relacionados a la presión barométrica vs la temperatura ambiente

Altitud snm m	Presión PSI	Temperatura °C
0	14,69	30,00
300	13,84	28,05
600	13,02	26,10
900	12,26	24,16
1200	11,53	22,21
1500	10,82	20,26
1800	10,17	18,31
2100	9,53	16,36
2400	8,93	14,42
2700	8,37	12,47
3000	7,83	10,52

De acuerdo con la investigación la condición climática, se ha determinado usar la temperatura ambiental inicial de 30°C, el cual irá disminuyendo un valor de 1°C por cada 154 m de altura, por lo que para el inicio de pruebas seteadas para la ciudad de Quevedo que se encuentra a 60 msnm es de 29,61 °C mostrada en la tabla 1, mostrando la temperatura a 0 msnm con el valor de 30 °C, ya que este valor será determinante para verificar el proceso de cambio de presiones en el cilindro del vehículo.

Una vez comentado los valores iniciales investigados se da paso al siguiente proceso de medición de pulsos de compresión y lecturas por manómetros.

En la siguiente gráfica se observa el valor medido por medio de un compresómetro:

Figura 2: Lectura en el compresómetro de 132 psi a 300 msnm



La lectura dada por el compresómetro es de 132 psi aproximadamente a una altura de 300 msnm y que de igual manera se corrobora por medio del uso del transductor con un valor de 140 psi promedio mostrado en la figura 3.

Figura 3: Lectura de una presión en función de la conversión voltaica promedio en 140 psi a 300 msnm



Análisis estadístico de compresión en el motor según variación de altura y temperatura

Tabla 2: Datos experimentales obtenidos para el análisis estadístico

Altura msnm m	Compresión PSI
300	132
820	120
1040	115
1275	110

1516	115
1756	85

Modelo de regresión simple - Compresión vs. Altura

Selección de variable dependiente: Compresión

Selección de variable independiente: Altura

Ecuación propuesta: $Y = \exp(a + b*\sqrt{X})$

Tabla 3: Cuadro de coeficientes de variables experimentales

	<i>Mínimos Cuadrados</i>	<i>Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error</i>	<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
Intercepto	5,15916	0,166147	31,0518	0,0000
Pendiente	-0,0136154	0,0049694	-2,73986	0,0519

NOTA: intercepto = $\ln(a)$

Tabla 4: Análisis de varianza

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	0,0714745	1	0,0714745	7,51	0,0519
Residuo	0,0380851	4	0,00952127		
Total (Corr.)	0,10956	5			

- Coeficiente de correlación = -0,807701
- R estadístico cuadrado = 65,238%
- R estadístico cuadrado (ajustado para grados de libertad) = 56,5475%
- Error estándar del análisis de datos = 0,097577
- Estadístico del error absoluto medio = 0,0621606
- Estadístico Durbin-Watson = 2,09766 (P=0,3143)

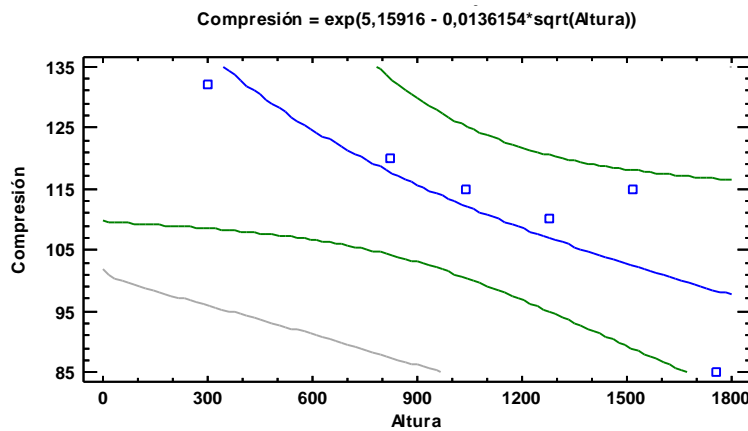
A continuación, presenta los resultados de un modelo logarítmico-Y de raíz cuadrada-X que se utilizó para analizar la relación entre la compresión y la altura. Se propuso una ecuación para ajustar el modelo que se muestra:

$$\text{Compresión} = e^{5,15916 - 0,0136154*\sqrt{\text{Altura}}}$$

El análisis estadístico indica que no hay una relación significativa entre la compresión y la altura en las pruebas de ingreso de aire en un vehículo de inyección, ya que el valor de P en la tabla

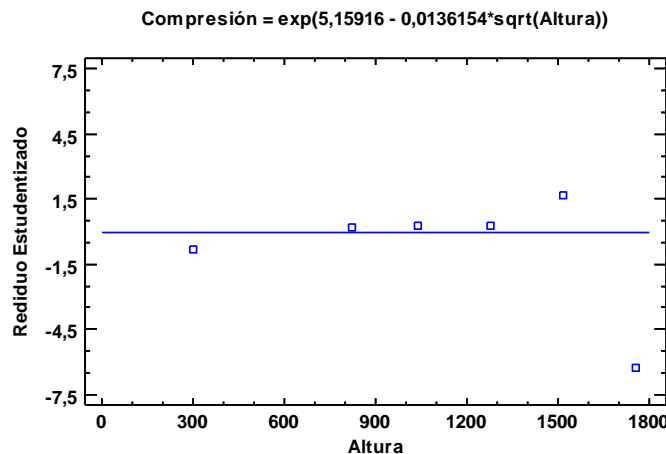
ANOVA es mayor o igual a 0,05. Además, el modelo ajustado explica el 65,238% de la variabilidad del tiempo de compresión y hay un grado moderado de correlación entre las variables, como se indica por el coeficiente de correlación de -0,807701. El error estándar de la estimación muestra que la desviación estándar de los residuos es 0,097577.

Figura 4: Gráfica del modelo ajustado



El estadístico del error absoluto medio (MAE) de 0,0621606 es la media de los residuos de los análisis de datos. La estadística de Durbin-Watson (DW) se utiliza para examinar los residuos y determinar si existe una correlación significativa según el orden en que aparecen en el archivo de datos del análisis de datos.

Figura 5: Gráfica de residuos de los datos experimentales



Pruebas de ingreso de aire en un vehículo de inyección electrónica con el uso de scanner automotriz

El objetivo de esta prueba es demostrar la variación de ingreso de aire por el múltiple de admisión a la garganta del cuerpo de aceleración, el cual se realizó haciendo uso de un scanner automotriz

thinkdiag, las pruebas de igual forma se hicieron en una escala de alturas de 200 metros por lo que se muestran los siguientes resultados.

Pruebas de ingreso de aire a diferentes alturas contrastadas según variación de presiones atmosféricas en el vehículo Chevrolet Suzuki Gran Vitara 5P.

Tabla 5: Resumen de parámetros encontrados según datos arrojados por el scanner automotriz thinkdiag

Altura snm m	RPM	Caudal de aire g/s	Temperatura del aire °C
60	894,75	3,13	39
200	842,79	3,13	33
400	858,35	4,3	29
600	770,51	2,71	33
800	790,09	2,74	27
1000	750,18	2,57	32
1500	760,72	2,53	34
1700	734,37	2,32	31
1900	760,72	2,38	39
2100	776,28	2,43	38
2300	736,38	2,35	37
2500	745,36	2,28	35

De acuerdo a resultados encontrados se aprecia como el ingreso de aire a la garganta del cuerpo de aceleración se ve disminuida pronunciadamente razón la cual analizaremos por medio del uso del software statgraphics la varianza estadística y a la vez proponer una función de regresión al que se haga el uso de todas estas variables para hallar el caudal de aire.

Regresión Múltiple - Caudal de aire

Variable dependiente: Caudal de aire (g/s)

Variables independientes:

- Altura (msnm)
- Revoluciones (RPM)
- Temperatura del aire (°C)

Tabla 6: Constantes de varianzas para los parámetros de control seleccionadas

		Error	Estadístico	
Parámetro	Estimación	Estándar	T	Valor-P
CONSTANTE	-3,45358	2,55159	-1,3535	0,2129

Altura	0,000143482	0,000225069	0,637502	0,5416
Revoluciones	0,010545	0,00342072	3,08269	0,0151
Temperatura del aire	-0,0667993	0,0299292	-2,23191	0,0561

Tabla 7: Análisis de Varianza para ingreso de caudal de aire

Datos	Suma de Cuadrados	G.l.	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	2,81953	3	0,939842	9,92	0,0045
Residuo	0,757965	8	0,0947456		
Total (Corr.)	3,57749	11			

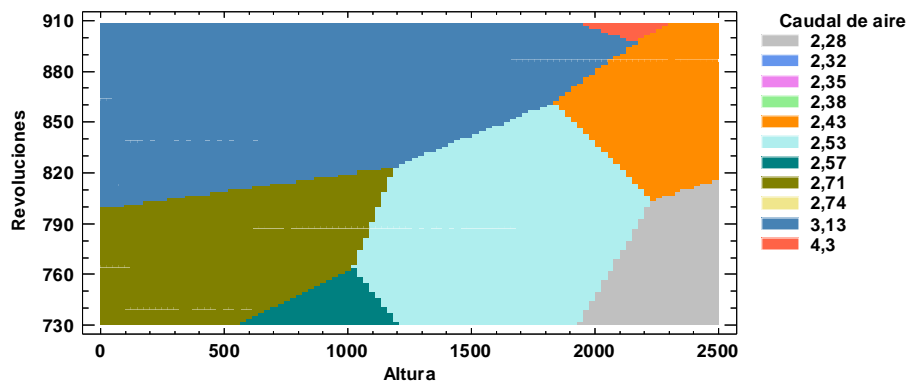
- R-cuadrada = 78,8129 por ciento
- R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 70,8678%
- Error estándar del est. = 0,307808
- Error absoluto medio = 0,197984
- Estadístico Durbin-Watson = 2,24997 (P=0,5022)
- Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0,182138

La salida de resultados del análisis estadístico presenta los resultados de un modelo de regresión lineal múltiple que se utilizó para describir la relación entre el caudal de aire y tres variables independientes. Se propuso una ecuación para ajustar el modelo que se muestra a continuación.

$$\text{Caudal de aire} = -3,45358 + 0,000143482 * \text{Altura} + 0,010545 * \text{Revoluciones} - 0,0667993 * \text{Temperatura del aire}$$

El valor-P de uno de los parámetros estadísticos más notables en la tabla ANOVA es menor que 0,05, lo que indica que hay una relación estadísticamente muy significativa entre las variables independientes y dependientes con un nivel de confianza del 95,0% de los análisis de datos. El estadístico R cuadrado muestra que el modelo ajustado explica el 78,8129% de la variación del flujo de aire. El estadístico R cuadrado ajustado es 70,8678%, que es mejor para comparar modelos con diferentes números de variables independientes. El error estándar de la estimación muestra que la desviación estándar de los residuos es 0,307808, lo que se puede utilizar para construir límites para nuevas observaciones.

Figura 6: Correlación de concentración de aire según revolución del motor y altura de la zona encontrada en el cual la temperatura por el análisis del modelo estadístico se ajustó en 33.91 °C



CONCLUSIONES

En el funcionamiento normal de los motores de combustión interna se generan ondas de pulso de presión en varios sistemas. Todos los motores producen tales ondas y su forma es predecible. Todos los motores producen un patrón predecible de estos pulsos, por lo que cualquier cambio en la forma o apariencia de asimetría de estos pulsos indica un problema con el motor.

Para visualizar la forma de la señal de salida del sensor de pulso de presión, su parte eléctrica está conectada a un osciloscopio en la cual la pantalla mostrará en tiempo real el trabajo de válvulas, cilindros e inyectores, y mediante la sincronización con el primer cilindro se puede determinar qué cilindros tienen un problema por su rendimiento. Por lo que el técnico de automóviles puede hacer un diagnóstico rápido y preciso del estado real del motor.

El sensor de pulso de presión no necesita fuente de alimentación externa adicional y se puede utilizar con la mayoría de los osciloscopios de almacenamiento digital modernos ya que ayudará a detectar fallas como válvulas quemadas, inyectores defectuosos y otros problemas de rendimiento sin un desmontaje importante del motor.

Los cambios de parámetros ambientales provocaron cambios tales como el ingreso del caudal de aire y la compresión en el cilindro del vehículo mostrando de esta manera la efectividad de la investigación al relacionar tanto teórico como práctico.

TRABAJOS FUTUROS

Esta investigación se recomienda para futuros trabajos de investigación y para que la comunidad educativa y/o profesional establezca nuevos recursos, tanto teóricos como prácticos.

REFERENCIAS

- Ağbulut, Ü., & Bakir, H. (2019). The investigation on economic and ecological impacts of tendency to electric vehicles instead of internal combustion engines. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7(1), 25-36. doi:<https://doi.org/10.29130/dubitado.457914>
- Andara, R. (2019). Usabilidad, impactos ambientales y costos de los vehículos de combustión interna y eléctricos. doi:<https://doi.org/10.24197/trim.17.2019.111-125>
- Biernat, K., Samson-Bręk, I., Chłopek, Z., Owczuk, M., & Matuszewska, A. (2021). Assessment of the environmental impact of using methane fuels to supply internal combustion engines. *Energies*, 14(11), 3356. doi:<https://doi.org/10.3390/es14113356>
- Boloy, R. A. M., Silveira, J. L., Tuna, C. E., Coronado, C. R., & Antunes, J. S. (2011). Ecological impacts from syngas burning in internal combustion engine: Technical and economic aspects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(9), 5194-5201. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.04.009>
- Doorman, F. J. (1991). *La metodología del diagnóstico en el enfoque " Investigación Adaptativa "*: IICA Biblioteca Venezuela.
- Elgamel, H. E. A. (1999). A simple and efficient technique for the simulation of capacitive pressure transducers. *Sensors and Actuators A: Physical*, 77(3), 183-186. doi:[https://doi.org/10.1016/S0924-4247\(98\)00355-0](https://doi.org/10.1016/S0924-4247(98)00355-0)
- Erazo Félix, J. S. (2021). Análisis de la presión interna del cilindro de un MCI utilizado en un vehículo híbrido, mediante un transductor de presión y un osciloscopio automotriz.
- Fernández, M. T., & García, B. M. (2017). La Educación inclusiva intercultural en Latinoamérica. Análisis legislativo. *Revista de Educación Inclusiva*, 9(2-bis).
- Hernández-Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2018). *Metodología de la investigación* (Vol. 4): McGraw-Hill Interamericana México.
- Lapuerta, M., Armas, O., Agudelo, J. R., & Sánchez, C. A. (2006). Estudio del efecto de la altitud sobre el comportamiento de motores de combustión interna. Parte 1: Funcionamiento. *Información tecnológica*, 17(5), 21-30. doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642006000500005>
- Lattanzio, R. K., & Clark, C. E. (2020). *Environmental effects of battery electric and internal combustion engine vehicles*. Retrieved from
- Leach, F., Kalghatgi, G., Stone, R., & Miles, P. (2020). The scope for improving the efficiency and environmental impact of internal combustion engines. *Transportation Engineering*, 1, 100005. doi:<https://doi.org/10.1016/j.treng.2020.100005>
- Pulkrabek, W. W. (2004). Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine, 2nd Ed. *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*, 126(1), 198-198. doi:<https://doi.org/10.1115/1.1669459>
- Stone, R. (1999). *Introduction to internal combustion engines* (Vol. 3): Springer.