

REVISTA CIENTÍFICA  
**CONECTIVIDAD**

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

Passo Guamangate, Manuel Rodrigo; Egas García, Jeyson Patricio; Arguello Guerrero, Joffre Alexander; García Valencia, Jhon Gregorio; Lisintuña Toapanta, Edwuin Paúl  
Aplicación de un modelo matemático para el análisis del comportamiento del ciclo otto MCI bajo manipulación de parámetros ambientales  
Conectividad, vol. 5, núm. 1, 2024, Enero-Junio, pp. 1-19  
Tecnológico Superior Rumiñahui  
Sangolquí, Ecuador

DOI: <https://doi.org/10.37431/conectividad.v5i1.111>

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=777882583001>

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

[redalyc.org](https://www.redalyc.org)

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

## **Aplicación de un modelo matemático para el análisis del comportamiento del ciclo otto MCI bajo manipulación de parámetros ambientales**

*Application of a mathematical model for the analysis of the behavior of the otto MCI cycle under manipulation of environmental parameters*

Manuel Rodrigo Passo Guamangate<sup>1</sup>, Jeyson Patricio Egas García<sup>2</sup>, Joffre Alexander Arguello Guerrero<sup>3</sup>, Jhon Gregorio García Valencia<sup>4</sup>, Edwuin Paúl Lisintuña Toapanta<sup>5</sup>

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

<sup>2</sup>Universidad Técnica Estatal de Quevedo, jegasg@uteq.edu.ec, Quevedo, Ecuador

<sup>3</sup>Instituto Superior Tecnológico Ciudad de Valencia, joffrealexanderarguello@itscv.edu.ec, Quevedo, Ecuador

<sup>4</sup> Instituto Superior Tecnológico Ciudad de Valencia, jhongarciavalencia@itscv.edu.ec, Quevedo, Ecuador

<sup>5</sup> Instituto Superior Tecnológico Ciudad de Valencia, edwuinlisintuna@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**

El objetivo de la investigación bibliográfica y experimental sobre el comportamiento del ciclo termodinámico en motores de combustión interna es verificar cambios de comportamiento, utilizando soluciones matemáticas para analizar los cambios de valores en términos de presión, volumen y giro del cigüeñal. La potencia de salida de un motor de gasolina de cuatro tiempos con compresión en el motor es proporcional a un exponente de 1.34 del coeficiente politrópico y la relación de compresión. Los efectos de las variaciones de presión y temperatura sobre el rendimiento de motores de combustión interna que funcionan en diferentes alturas sobre el nivel del mar, por lo que se estudió aprovechando que nuestro país Ecuador tiene muchos cambios geográficos, ya que, cuantificar los efectos de la temperatura y la presión es vital para establecer la capacidad de operar motores de encendido por chispa a altitudes muy superiores a aquellas para las que fueron diseñados. Los efectos de las condiciones atmosféricas mostraron que la temperatura domina la presión y dieron como resultado una pérdida de potencia y caída de la compresión de alrededor del 1,5% por cada 100 m de aumento de altitud. La eficiencia del motor cayó aproximadamente 1,54 puntos porcentuales por cada 300 m de aumento de altitud. La investigación se plasmó en Excel para el desarrollo del modelo matemático, en el cual se obtuvo los gráficos de diagrama presión vs volumen, presión vs ángulo de giro del cigüeñal y la dispersión de fuerzas actuantes en el pistón, biela y cigüeñal.

**Palabras clave:** Artículos, Ciclos, Investigación, Motores, Temperatura, Presión

## **ABSTRACT**

The objective of bibliographic and experimental research on the behavior of the thermodynamic cycle in internal combustion engines is to verify changes in behavior, using mathematical solutions to analyze changes in values in terms of pressure, volume and rotation of the crankshaft. The power output of a four-stroke gasoline engine with compression in the engine is proportional to an exponent of 1.34 of the polytropic coefficient and the compression ratio. The effects of pressure and temperature variations on the performance of internal combustion engines that operate at different heights above sea level, which is why it was studied taking advantage of the fact that our country Ecuador has many geographical changes, since quantifying the effects of temperature and pressure is vital to establishing the ability to operate spark ignition engines at altitudes much higher than those for which they were designed. The effects of atmospheric conditions showed that temperature dominates pressure and resulted in a power loss and compression drop of around 1.5% for every 100 m increase in altitude. Engine efficiency dropped approximately 1.54 percentage points for every 300 m increase in altitude. The research was captured in Excel for the development of the mathematical model, in which the pressure vs volume diagram graphs, pressure vs angle of rotation of the crankshaft and the dispersion of forces acting on the piston, connecting rod and crankshaft were obtained.

**Key words:** Articles, Cycles, Research, Engines, Temperature, Pressure

## **INTRODUCCIÓN**

El presente trabajo de investigación busca mostrar los estudios del efecto de la altitud en el desempeño de motores de combustión interna de manera teórica, en función de la presión, la atura y temperatura en el ambiente. La altitud sobre el nivel del mar tiene un efecto notable sobre la densidad del aire y su composición (Lapuerta, 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 plantea y presenta una expresión matemática que permitirá calcular el incremento de los parámetros necesario para observar cambios del ciclo termodinámico P-V con el aumento de altitud (Lapuerta et al., 2006; Leach, Kalghatgi, Stone, & Miles, 2020).

El estudio de la admisión, compresión y trabajo es importante debido al requerimiento de producir emisiones mucho más bajas manteniendo una alta eficiencia térmica. Entre los sistemas de combustión existentes, los motores a combustión interna encendidos por chispa representan una

gran proporción y ligeras mejoras en su eficiencia dan a lugar a grandes impactos en términos ambientales y económicos (Ağbulut & Bakir, 2019; Andara, 2019). Con el fin de lograr esto, se ha buscado entender los fenómenos físicos ambientales involucrados en la combustión a través de cálculos matemáticos corroborando fórmulas de aplicación mecánica y matemática. Siendo esta última la herramienta dominante para el presente trabajo de investigación. No obstante, el acople de las ecuaciones para la modelación estadístico que son requeridos para realizar las simulaciones numéricas.

Indagar los efectos de la presión atmosférica y las variaciones de temperatura en el rendimiento de los motores de combustión interna que funcionan a altitudes significativamente superiores al nivel del mar no están ampliamente estudiados y es la razón de estudio aprovechando las condiciones geográficas de nuestro país Ecuador. Durante las investigaciones que se realizó, se encontró datos para identificar el impacto de la variación de la presión de admisión, compresión y trabajo en el rendimiento del motor tanto con un carburador como con un sistema de inyección de combustible del cuerpo del acelerador que suministra una mezcla de gasolina. Utilizando equipos de diagnóstico automotriz como scanner, osciloscopio y emuladores para el monitoreo de datos en vivo para el análisis del comportamiento del diagrama P-V, se encontró datos que mientras se varía la temperatura del aire junto con la presión a diferentes alturas del seteo matemático hay variaciones muy significativas en los diagramas termodinámicos hallados. Los resultados mostrados en base al modelado matemático es la disminución en el rendimiento (admisión, compresión y trabajo) ya que el tiempo de escape no se ve afectado por estos comportamientos (Reitz et al., 2019; Stone, 1999).

Aún queda mucho por aprender sobre el efecto de las presiones y temperaturas atmosféricas en los motores de combustión interna para aplicaciones automotrices, ya que en los motores sean del tipo alternativo, de encendido por chispa o por compresión, los cambios en el medio ambiente pueden afectar el proceso de combustión, el rendimiento; las características requeridas del combustible y la economía de combustible (Guzzella & Onder, 2009). Las pruebas de campo de los motores actuales de encendido por chispa presentan perdidas de compresión a diferentes alturas ya que es uno de los parámetros más importantes para desarrollo mecánico (Heywood, 2018).

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

El primer paso para completar los objetivos de la investigación fue diseñar un modelo matemático capaz de generar resultados en condiciones de altitud simuladas. Una vez que se completó la fase de diseño matemático, se ordenaron las ideas con resultados y se completó la construcción del modelo para el inicio de las simulaciones matemáticas. El siguiente paso del proceso fue completar una serie de comprobaciones de funcionalidad del modelo. Estas comprobaciones verificaron que el modelo propuesto pudiera funcionar de forma segura, que fuera capaz de generar las condiciones requeridas, y que fuera capaz de registrar las medidas necesarias para completar el análisis de desempeño en el cuadro de resultados.

No sin antes usar el siguiente formulario para poder setear resultados enfocados a la parte teórica y acoplar de manera clara a la realidad manejando datos como las constantes empleadas a la realidad dentro de un motor de combustión interna.

Para el cual usaremos la matemática en motores de combustión interna del siguiente autor (Mena, 2011):

#### **Presión de admisión:**

$$P_a = P_o - \frac{(\beta^2 + \varepsilon)(0.5 * \omega_{ad}^2)}{1000000} \quad \text{ó} \quad P_a = (0.8 - 0.9)P_o$$

- $P_a$  = Presión de admisión “kPa”
- $P_o$  = Presión inicial o atmosférica “kPa”
- $\beta^2 + \varepsilon$  = Variación molecular del aire
- $\omega_{ad}^2$  = Velocidad promedio del aire

#### **Temperatura de admisión**

$$T_a = \frac{T_o + \Delta T + \gamma_{res} * T_r}{1 + \gamma_{res}}$$

- $T_a$  = Temperatura de admisión “°K”
- $T_o$  = Temperatura inicial o ambiental “°K”
- $\Delta T$  = Diferencia de la temperatura de carga “°K”

- $\gamma_{res}$  = Coeficiente de los gases residuales de 0,006 a 0.01
- $Tr$  = Temperatura de gases quemados de 900 °K a 1000 °K

### **Presión de compresión**

$$P_c = P_a * \varepsilon^{n_1}$$

- $P_c$  = Presión de compresión “kPa”
- $\varepsilon$  = Relación de compresión
- $n_1$  = Constante politrópica 1.34

### **Temperatura de compresión**

$$T_c = T_a * \varepsilon^{n_1-1}$$

- $T_c$  = Temperatura de compresión “°K”

### **Presión de trabajo**

$$P_z = \frac{P_c * T_z * m_r}{T_c}$$

- $P_z$  = Presión de explosión o trabajo real “kPa”
- $T_z$  = Temperatura de trabajo 2500 °K a 2700 °K
- $m_r$  = Coeficiente molecular de los gases de 0.9

### **Presión de escape**

$$P_b = \frac{P_z}{\varepsilon^{n_2}}$$

- $P_b$  = Presión de escape “kPa”
- $n_2$  = constante politrópica de gases al final del ciclo 1,23 a 1,3

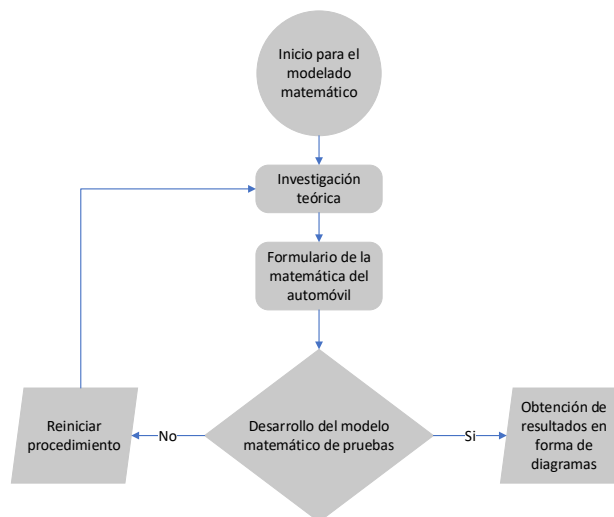
### **Temperatura de escape**

$$T_b = \frac{T_z}{\varepsilon^{n_2-1}}$$

- $T_b$  = Temperatura de escape de los gases al final del ciclo “°K”

El diseño experimental será aplicado en esta investigación el cual permitirá realizar una acción y después observar las consecuencias. Así, hablamos de "experimentar" cuando mezclamos pruebas mecánicas de eficiencias a diferentes alturas y presiones barométricas y veremos la reacción provocada, o cuando nos cambiamos la apariencia y observamos el efecto que causa en nuestras amistades. La esencia de esta concepción de experimento es la manipulación intencional de una acción para analizar sus posibles resultados (Doorman, 1991; M. T. Fernández & García, 2017; Hernández-Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2018).

**Figura 1:** Diagrama de procedimiento desarrollado para la ejecución del proyecto



**Fuente:** (Jhon, 2023)

La capacidad de respuestas del modelo matemático se determinó mediante una serie de pruebas. La primera prueba se completó en función de variables manipuladas como la temperatura del aire, la presión atmosférica y las condiciones propias que rigen los MCI, la segunda y última prueba fue que una vez obtenida los resultados estos se vean reflejadas por medio de gráficos en la tabla de Excel y de esta manera interpretar los resultados.

A continuación, la interfaz de entrada de datos como parte del modelo matemático en el cual se ingresa los parámetros de control para la obtención de resultados según las variables requeridas del ciclo OTTO. En la tabla 1 mostrada se puede dar los parámetros de cambio como es la altura para la obtención del valor de temperatura y presión iniciales, con esto considerando que el resto de

datos y/o variables son los datos de los vehículos a setear en el presente modelo, ya que se puede aplicar a diferentes modelos de motores y de esta manera hallar datos significativos para esta investigación.

**Tabla 1:** Parámetros iniciales de variables automotrices del vehículo.

<b>VARIABLES DE CONTROL</b>		
		<b>UNIDADES</b>
<b>Diámetro pistón</b>	8,5	cm
<b>Carrera</b>	8,8	cm
<b>Relación de compresión</b>	10	:1
<b>Longitud de biela</b>	15	cm
<b>Número de cilindros</b>	4	---
<b>Avance al encendido</b>	10	°
<b>RPM a ralentí</b>	800	rpm
<b>Temperatura inicial (To)</b>	27,61	°C
<b>Altura sobre el nivel del mar</b>	60	m
<b>Presión inicial (Po)</b>	100,12	kPa
<b>Radio del cigüeñal (R)</b>	4,4	cm
<b>Cilindrada Total (VH)</b>	1997,42	cm <sup>3</sup>
<b>Cilindrada Unitaria (Vh)</b>	499,36	cm <sup>3</sup>
<b>Volumen de cámara (Vc)</b>	55,48	cm <sup>3</sup>
<b>Volumen total del cilindro (Va)</b>	554,84	cm <sup>3</sup>
<b>Área del pistón (A)</b>	56,75	cm <sup>2</sup>
<b>Relación (<math>\lambda</math>)</b>	0,293	---

Cabe recalcar que en a la tabla 1 el parámetro que sufre cambios es la altura sobre el nivel del mar ya que esta variable influye directamente en los datos iniciales de la presión y temperatura, dos datos importantes para el inicio del seteo del comportamiento de la admisión, compresión, trabajo y escape. Los cambios generados en los valores de la altura dan por consecuencia cambios instantáneos en los parámetros de temperatura y presión inicial para la entrada en el colector de admisión.

En la siguiente interfaz se muestra el modelo formado en plantilla Excel para el análisis y obtención de datos y de esta manera dar un diagnóstico del estado del comportamiento de los ciclos termodinámicos en el motor de combustión interna.

**Figura 2:** Interfaz de resultados para los tiempos del ciclo termodinámico, variables y constantes de la mecánica del automóvil

**ADMISIÓN**  
 Pa = 79,71 KPa  
 Ta = 609,80 °K

**COMPRESIÓN**  
 Pc = 1743,20 KPa  
 Tc = 1334,11 °K

**EXPLOSIÓN - TRABAJO**  
 Pz = 3175,14 KPa  
 Tz = 2700 °K

**ESCAPE**  
 Pb = 178,55 KPa  
 Tb = 1518,32 °K

$B^2 + \epsilon$	2,5			
$\omega_{ad}^2/2$	1250			
Densidad del aire ( $\rho_o$ )	0,010	g/l	0,010	Kg/m <sup>3</sup>
$\Delta T$	15	°C	288	K
Tr	900	°C	1173	K
Pr	1,2	bar	120	Kpa
gr	0,060			

Coefficiente poli trópico (nl)	1,34
--------------------------------	------

$m_t$	0,9
-------	-----

Coefficiente poli trópico (n2)	1,25
--------------------------------	------

**Fuente:** (Jhon, 2023)

Los resultados de la figura 2 mostradas tienen relación directa con el método biográfico mostrada en el apartado mencionado del autor (Mena, 2011), de la igual forma se relaciona con la tabla 1 ya que toma estos valores para ser tomados en cada ciclo y de esta manera ser mostrados en la tabla 4 el cual tiene un compendio de todos los resultados generados para estos cuatro tiempos del ciclo termodinámico en función de los giros del cigüeñal, con esto obteniendo un compilado de gráficas de presión-volumen, presión-ángulo de giro del cigüeñal, fuerzas- ángulo de giro del cigüeñal.

En conclusión la metodología es muy importante ya que se debe seguir un proceso ya que el trabajo de investigación es netamente teórico, haciendo relación a la figura 1, es necesario realizar una revisión bibliográfica para establecer una base matemática respecto a las fórmulas que se usará en el modelado matemático de (Mena, 2011).

## RESULTADOS

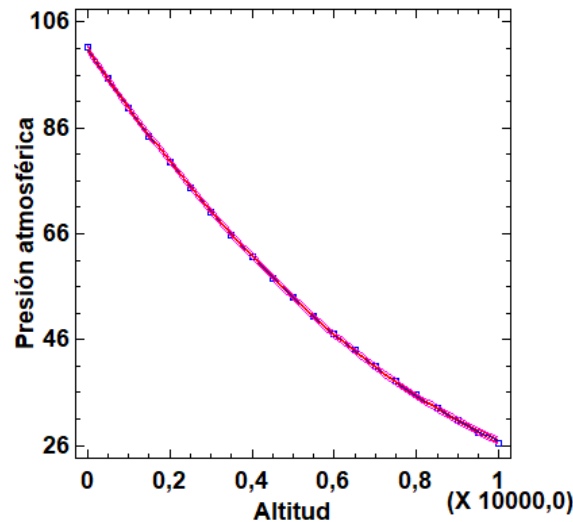
Para iniciar con esta investigación es necesario desarrollar un análisis de regresión para la presión atmosférica y la altura sobre el nivel del mar. Son datos muy relevantes que se debe tener en cuenta para identificar el comportamiento de estos parámetros de acuerdo al cambio de altura y de esta manera presentar una ecuación que controle esta variable independiente “altura” y con esto tener una variación de presión.

**Tabla 2:** Datos de presión atmosférica según la altura ambiental

Altitud snm (m)	Presión (kPa)
0	101,3
500	95,4
1000	89,8

1500	84,5
2000	79,5
2500	74,6
3000	70,1

Figura 3: Gráfico de presión atmosférica vs altitud



Fuente: (Jhon, 2023)

### Gráfico X-Y - Presión atmosférica vs. Altitud

- Variable X: Altitud (m)
- Variable Y: Presión atmosférica (kPa)

A continuación, se presenta la ecuación de regresión para obtener la presión atmosférica en función de la altura.

$$\text{Presión atmosférica} = 100.798 - 0.0113323 * \text{Altitud} + 3.94086E - 7 * \text{Altitud}^2$$

De acuerdo a la tabla se setea a una altura de 60 msnm para obtener una temperatura inicial de pruebas de 27,61°C y una presión inicial de 100,12 kPa.

A continuación, presenta la tabla de cálculos de la plantilla para 60 msnm:

Tabla 3: Resultados obtenidos por medio del modelo matemático para 60 y 1200 msnm

Valores para 60 msnm			Valores para 1200 msnm	
Pa =	100,12	kPa	87,77	kPa
Ta =	348,69	°C	341,71	°C
Pc =	2189,58	kPa	1919,41	kPa

<b>Tc =</b>	1087,11	°C	1071,83	°C
<b>Pz =</b>	3911,96	kPa	3468,23	kPa
<b>Tz =</b>	2427	°C	2427	°C
<b>Pb =</b>	219,99	kPa	195,03	kPa
<b>Tb =</b>	2427	°C	1245,32	°C

Los resultados muestran cambios significativos en los 3 parámetros del ciclo Otto como son admisión, compresión y trabajo dando variaciones muy diferenciables en sus valores. Todos estos cambios se ven en la influencia de los parámetros ambientales el cual cumple un papel fundamental en el comportamiento del motor de combustión interna en sus diferentes aspectos.

**Tabla 4:** Cuadro comparativo de datos para 60 msnm

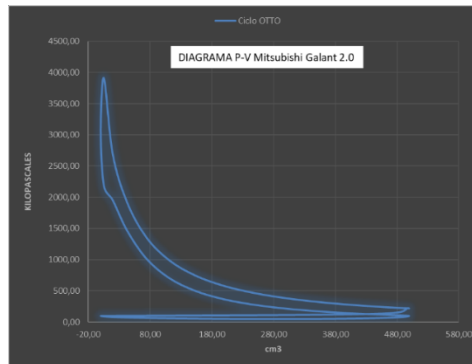
Alfa	Beta	x	Volumen	Relación V1/V2	Presión	F	NE	KE	TE	ZE	Se	Ve	We
Grados de giro del cigüeñal	Grados	cm	cm <sup>3</sup>		Kpa	N	N	N	N	N	N	mm	cm/s
0	0	0	0,00	1,0000	100,12	5681,28	0,00	5681,28	0,00	5681,28	0,00	0,00	399,39
60	14,716	2,7	152,76	3,7533	56,77	3221,21	846,05	3330,47	3212,68	877,90	26,92	340,00	109,11
100	16,791	5,8	329,32	6,9355	50,82	2883,80	870,16	3012,22	2688,88	-1357,71	58,04	365,77	-138,75
180	0,000	8,8	499,36	10,0000	100,08	5679,22	0,00	5679,22	0,00	-5679,22	88,00	0,00	-218,22
200	-5,758	8,6	488,59	9,8060	106,26	6029,65	-608,00	6060,23	-1490,93	-5873,96	86,10	-158,12	-220,79
240	-14,716	7,1	402,44	8,2533	143,72	8155,43	-2142,03	8432,04	-5991,80	-5932,77	70,92	-340,00	-199,70
320	-10,868	1,3	73,68	2,3280	1019,71	57863,56	-11109,50	58920,39	-45704,35	37185,01	12,98	-275,12	252,29
350	-2,920	0,1	4,90	1,0883	2189,58	124247,86	-6337,01	124409,36	-27816,16	121259,85	0,86	-82,13	389,24
360	0,000	0	0,00	1,0000	3050,77	173116,01	0,00	173116,01	0,00	173116,01	0,00	0,00	399,39
400	10,868	1,3	73,68	2,3280	1360,42	77197,23	14821,46	78607,17	60975,32	49609,45	12,98	275,12	252,29
440	16,791	4,3	242,61	5,3726	478,26	27138,69	8188,86	28347,24	28148,38	-3351,87	42,75	365,77	-31,50
480	14,716	7,1	402,44	8,2533	279,65	15868,67	4167,91	16406,89	11658,71	-11543,85	70,92	340,00	-199,70
520	5,758	8,6	488,59	9,8060	225,44	12792,52	1289,93	12857,39	3163,16	-12462,22	86,10	158,12	-220,79
560	-5,758	8,6	488,59	9,8060	170,12	9653,20	-973,38	9702,15	-2386,91	-9403,96	86,10	-158,12	-220,79
600	-14,716	7,1	402,44	8,2533	124,47	7063,01	-1855,10	7302,57	-5189,20	-5138,07	70,92	-340,00	-199,70
640	-16,791	4,3	242,61	5,3726	110,66	6279,55	-1894,80	6559,19	-6513,18	-775,58	42,75	-365,77	-31,50
680	-10,868	1,3	73,68	2,3280	103,13	5851,98	-1123,55	5958,86	-4622,27	3760,67	12,98	-275,12	252,29
720	0,000	0	0,00	1,0000	100,12	5681,28	0,00	5681,28	0,00	5681,28	0,00	0,00	399,39

Para este apartado el análisis se basa en identificar la presión de compresión el cual se da en los 350° del giro del cigüeñal que también se equilibra el mismo resultado si aplicamos la fórmula de la ecuación de la presión de compresión de 2189,58 kPa antes del salto de chispa y tiempo de trabajo.

Para el resto de análisis de comportamiento de los parámetros matemáticos a diferentes condiciones atmosféricas se mantiene la misma plantilla, pero los valores como la densidad de aire, admisión, compresión, explosión, escape y potencias de salidas se verán afectados por estas condiciones mencionadas por lo que se ha concluido que en gran medida influye el desarrollo de un vehículo por condiciones climáticas.

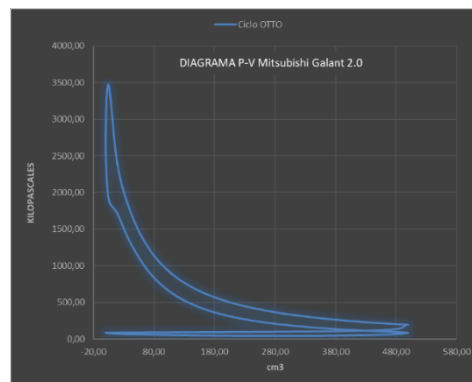
A continuación, se puede apreciar las gráficas para el dato de la altura de 60 y 1200 msnm.

**Figura 4:** Ciclo OTTO para 60msnm



**Fuente:** (Jhon, 2023)

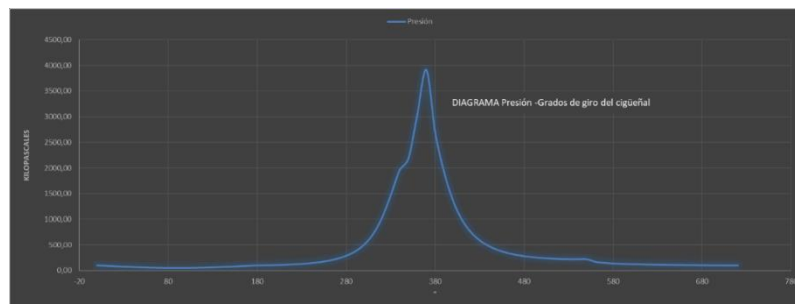
**Figura 5:** Ciclo OTTO para 1200 msnm



**Fuente:** (Jhon, 2023)

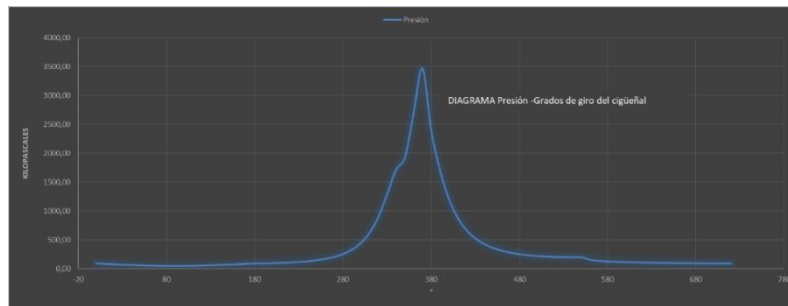
Para esta condición de cálculos la presión máxima del ciclo se da en los  $370^\circ$  de giro del cigüeñal teniendo una presión de explosión de 3911,96 kPa para 60 msnm y 3468,23 kPa para 1200 msnm y una relación volumétrica de 1.088 lo que equivale a 4.90 cc con un recorrido del pistón de 0.1 cm.

**Figura 6:** Diagrama de presiones en función del ángulo de giro del cigüeñal a 60 msnm



**Fuente:** (Jhon, 2023)

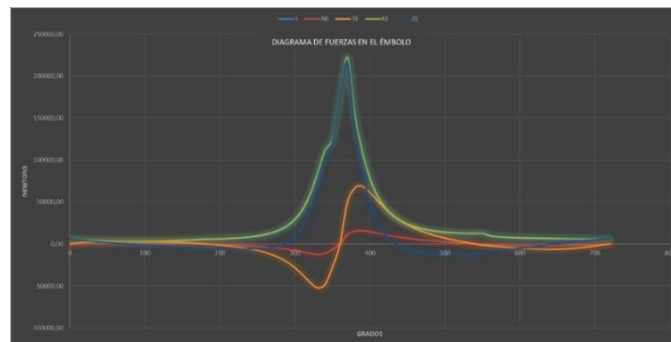
**Figura 7:** Diagrama de presiones en función del ángulo de giro del cigüeñal a 1200 msnm



**Fuente:** (Jhon, 2023)

En función de las comparaciones mostradas los valores de la compresión varían de 60 a 1200 msnm de 2198,58 y 1919,41 kPa a 350° de giro del cigüeñal con 10° de avance de chispa.

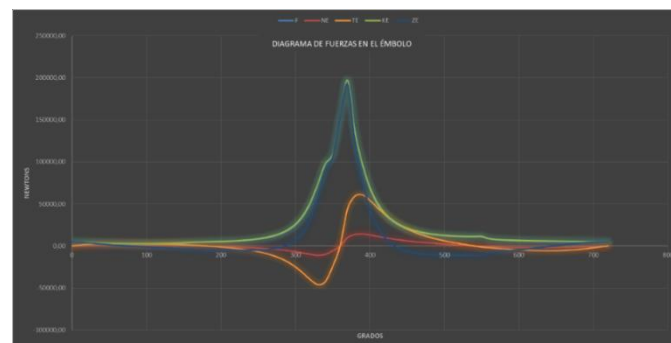
**Figura 8:** Distribución de fuerzas actuantes en el tren alternativo según grados de giro del cigüeñal a 60 msnm



**Fuente:** (Jhon, 2023)

Las fuerzas actuantes muestran valores de F con 221984,16 [N] sobre la cabeza del pistón a 370°, NE con 16135,50 [N] a 390°, ZE de 216645,70 [N] sobre el codo del cigüeñal a 370°, TE 49697 [N] a 390° para dar como resultante de la fuerza modular KE de 222272,7 [N] actuante sobre el brazo de biela.

**Figura 9:** Distribución de fuerzas actuantes en el tren alternativo según grados de giro del cigüeñal a 1200 msnm



**Fuente:** (Jhon, 2023)

Las fuerzas actuantes muestran valores de F con 196804,70 [N] sobre la cabeza del pistón a 370°, NE con 14305,26 [N] a 390°, ZE de 192071,77 [N] sobre el codo del cigüeñal a 370°, TE de 44059,91 [N] a 370° para dar como resultante de la fuerza modular KE de 197060,50 [N] actuante sobre el brazo de biela.

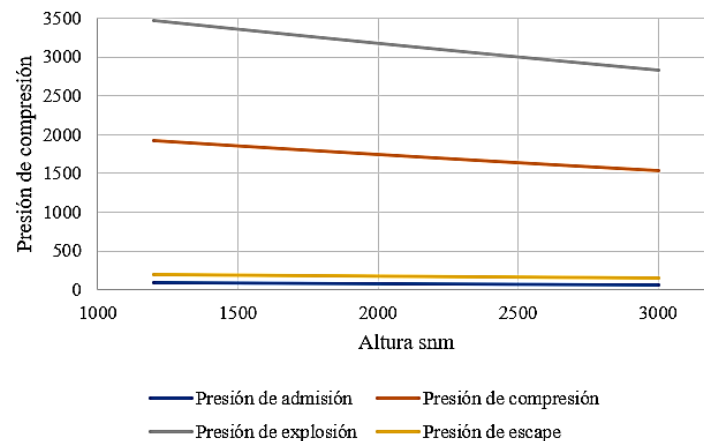
**Datos estadísticos encontrados según el modelo matemático en forma resumida.**

**Tabla 5:** Cuadro de presiones del ciclo Otto según altura ambiental

Altura sobre el nivel del mar "m"	Presión de admisión "kPa"	Presión de compresión "kPa"	Presión de explosión "kPa"	Presión de escape "kPa"
1200	87,77	1919,41	3468,23	195,03
1400	85,71	1874,33	3393,52	190,83
1600	83,68	1829,93	3319,77	186,68
1800	81,68	1786,22	3246,97	182,59
1900	80,69	1764,62	3210,93	180,56
2000	79,71	1743,20	3175,14	178,55
2100	78,74	1721,95	3139,58	176,55
2200	77,77	1700,87	3104,27	174,57
2300	76,82	1679,96	3069,21	172,59
2400	75,87	1659,23	3034,39	170,64
2500	74,93	1638,67	2999,81	168,69
2600	74,00	1618,28	2965,48	166,76
2700	73,07	1598,06	2931,39	164,84
2800	72,16	1578,02	2897,56	162,94
3000	70,35	1538,45	2830,63	159,18

A partir del cuadro anterior se muestra el siguiente gráfico en el que se aprecia los cuatro tiempos resumidos en función de la altura barométrica.

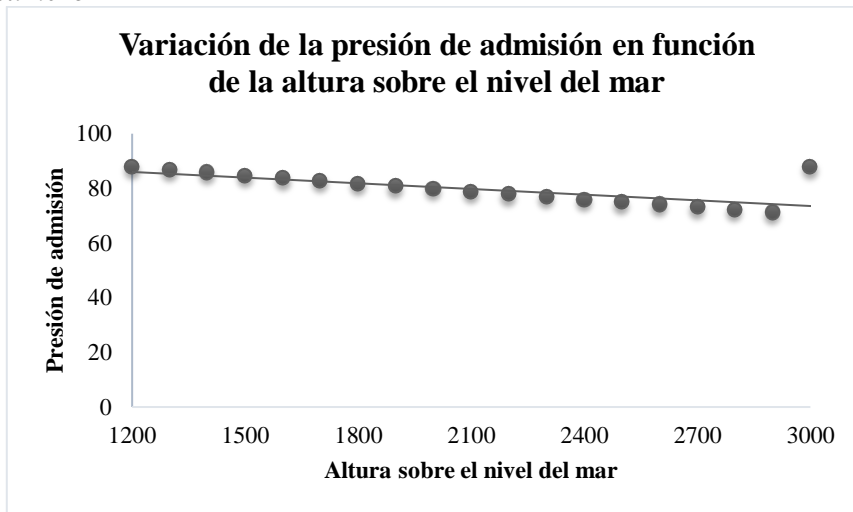
**Figura 10:** Dispersión lineal para los ciclos termodinámicos del vehículo de pruebas



**Fuente:** (Jhon, 2023)

En función de los datos seteados y obtenidos por medio del modelo matemático se aprecia que los valores de las presiones en los tiempos de admisión, compresión, trabajo y escape van disminuyendo de acuerdo aumenta la altura barométrica, con lo que el vehículo tiene un mejor desarrollo en la región costa por el criterio de poseer mayor concentración de oxígeno en el ambiente.

**Figura 11:** Regresión lineal para admisión

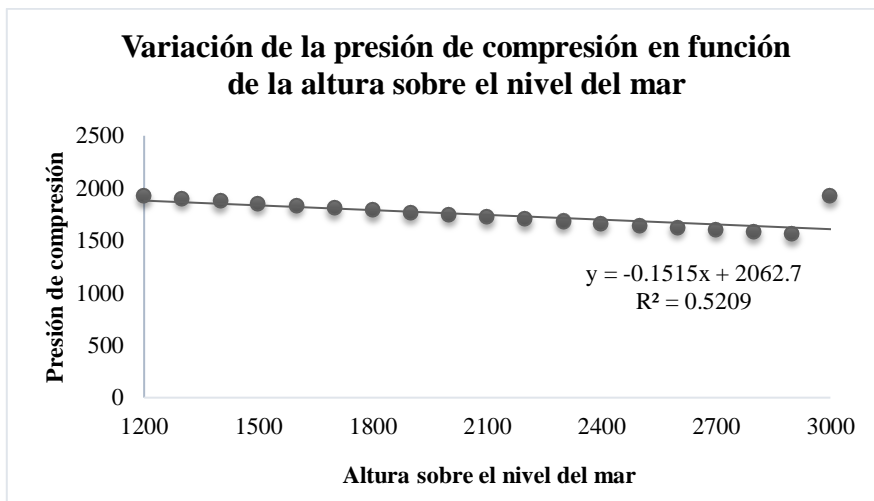


Fuente: (Jhon, 2023)

$$Pa = -0,0097h + 99,18$$

$$R^2 = 0,9996 \text{ confiabilidad}$$

Figura 12: Regresión lineal para compresión

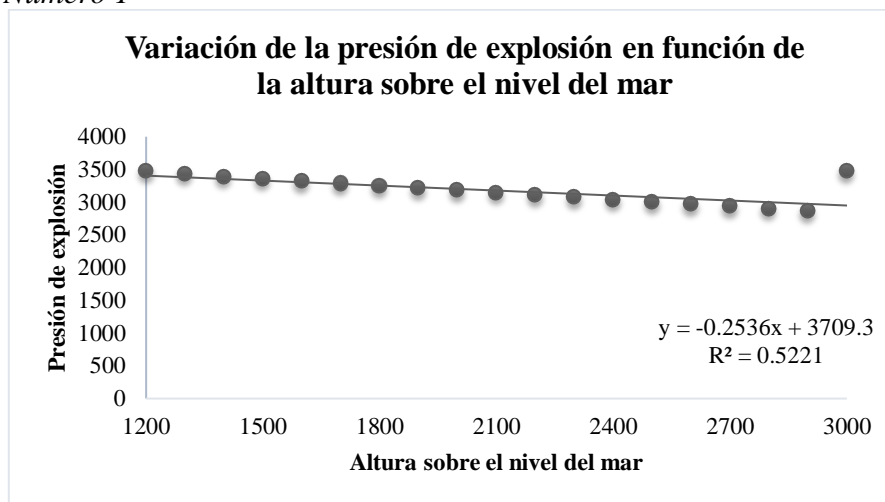


Fuente: (Jhon, 2023)

$$Pc = -0,2116h + 2169$$

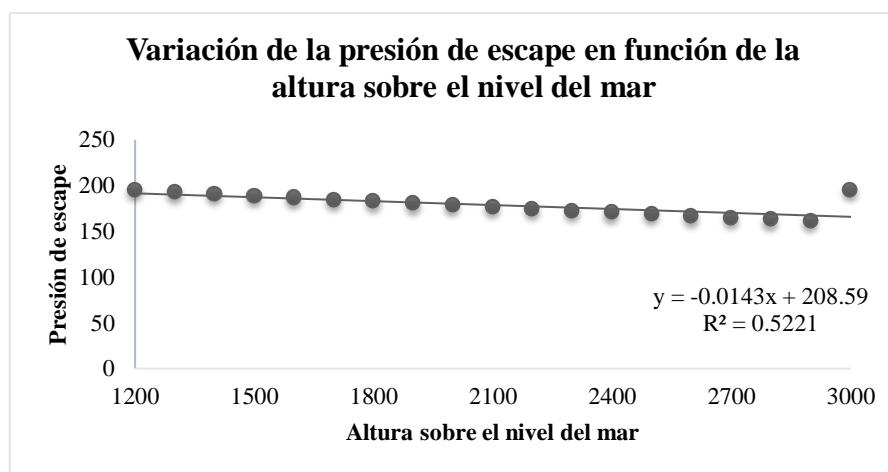
$$R^2 = 0,9996 \text{ confiabilidad}$$

Figura 13: Regresión lineal para trabajo



$$P_z = -0,3543h + 3887,2$$
$$R^2 = 0,9997 \text{ confiabilidad}$$

Figura 14: Regresión lineal para escape



$$P_z = -0,0199h + 218,59$$
$$R^2 = 0,9997 \text{ confiabilidad}$$

## DISCUSIÓN

De acuerdo a los resultados encontrados y revisados con (Abdullah et al., 2013) se muestra que el sistema de admisión de aire dio como resultado una combustión rica que condujo a una combustión incompleta debido a una menor disponibilidad de aire. Al eliminar el filtro de aire, se redujo la restricción del flujo de aire a través del sistema de admisión de aire. Por lo tanto nuestra investigación y (Dicksee, 1959), se logra una mejor combustión y componentes menos refinados debido a la disponibilidad de aire más denso. Se requiere una presión de entrada de aire más baja para aumentar la densidad del aire, lo que permite una mejor combustión en un

tiempo limitado para mejorar la economía de campo, la producción de energía y las emisiones contaminantes.

## **CONCLUSIONES**

El objetivo principal de esta investigación fue estudiar los efectos de la temperatura en el rendimiento de un motor de combustión interna a diferentes rangos de altura. Con el fin de recopilar datos para las medidas de variación de la presión en el bloque motor. Los datos de las variables dependientes de la temperatura se tomaron a altitudes en rangos de 300 metros, la presión va teniendo una variación de 1,5%, y los datos de temperatura de referencia también se tomaron a altitudes de 300 metros para comparar la reducción de temperaturas en 1°C por cada 154 metros de altura.

Se determinó que la biela sufre mayor daño en el cuerpo de biela ya que es aquí donde se produce la torcedura por motivos de que la fuerza KE modular es mayor en relación con las fuerzas en forma de componentes vectoriales ZE y TE, ya que los resultados de variación tanto en temperatura y presión se vieron claramente afectado en la disminución del mismo a la vez que se aumentaba la altura, los datos encontrados se mostró una disminución de 1°C por cada 154 metros de altura, de la misma manera los gráficos de presión volumen fueron presentados en el apartado de resultados en el que se connota los cambios obtenidos.

El comportamiento del motor en términos de rendimiento, consumo de combustible y emisiones de escape están influenciados por la magnitud de la presión de entrada de aire. Necesita formar una mezcla de aire y combustible más pobre para extraer más energía del proceso de combustión. La gran cantidad de aire aumenta la posibilidad de que los elementos químicos del combustible se quemen con oxígeno.

## **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 en el comportamiento de los ciclos termodinámicos en diferentes condiciones de funcionamiento.

## **REFERENCIAS**

- Abdullah, N. R., Shahrudin, N. S., Mamat, A. M. I., Kasolang, S., Zulkifli, A., & Mamat, R. (2013). Effects of Air Intake Pressure to the Fuel Economy and Exhaust Emissions on a Small SI Engine. *Procedia Engineering*, 68, 278-284. doi:<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.12.180>
- 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>
- Caballero Carrascal, J., Fernández Diego, M., & Cutanda García, E. M. (2006). MAGRIP, Modelo de Gestión de Riesgos En Proyectos: Su Aplicación A Proyectos De Riesgos Laborales.
- Dicksee, C. B. (1959). Influence of Atmospheric Pressure and Temperature upon the Performance of the Naturally Aspirated Four-Stroke C. I. Engine. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers: Automobile Division*, 13(1), 83-99. doi:10.1243/PIME\_AUTO\_1959\_000\_014\_02
- Doorman, F. J. (1991). *La metodología del diagnóstico en el enfoque " Investigación Adaptativa"*: IICA Biblioteca Venezuela.
- Fernández, C., & Baptista, P. (2013). Metodología de la Investigación-Roberto Hernández Sampieri. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9).
- Fernández, M. T., & García, B. M. (2017). La Educación inclusiva intercultural en Latinoamérica. Análisis legislativo. *Revista de Educación Inclusiva*, 9(2-bis).
- Guzzella, L., & Onder, C. (2009). *Introduction to modeling and control of internal combustion engine systems*: Springer Science & Business Media.
- Hernández-Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2018). *Metodología de la investigación* (Vol. 4): McGraw-Hill Interamericana México.
- Heywood, J. B. (2018). *Internal Combustion Engine Fundamentals* (2nd edition. ed.). New York: McGraw-Hill Education.
- Jhon, A. A. G. (2023). Incidencia de los efectos ambientales en el comportamiento de la eficiencia mecánica en los motores de combustión interna aplicando un modelo matemático. In.
- 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>
- 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>
- Mena, L. (2011). *Compilador de ejercicios de motores de combustión interna Diesel-Gasolina. Nueva Aurora.(págs. 48). Ecuador, Quito.*

Reitz, R. D., Ogawa, H., Payri, R., Fansler, T., Kokjohn, S., Moriyoshi, Y., . . . Zhao, H. (2019). IJER editorial: The future of the internal combustion engine. *International Journal of Engine Research*, 21(1), 3-10. doi:<https://doi.org/10.1177/14680874198779>

Rodríguez, C. M., & Valldeoriola, J. (2002). *Metodología de la investigación*: Panamericana.

Stone, R. (1999). *Introduction to internal combustion engines* (Vol. 3): Springer.