



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**ESTUDIO DEL EFECTO DE OCTANAJE SOBRE EL
DESEMPEÑO Y EMISIONES DEL MOTOR DE
COMBUSTIÓN INTERNA**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

AUTORES:

DAVIS ALEXANDER VERA VALAREZO

JHONNATAN XAVIER ARIAS MORALES

Riobamba – Ecuador

2024



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA INGENIERIA AUTOMOTRIZ

**ESTUDIO DEL EFECTO DE OCTANAJE SOBRE EL
DESEMPEÑO Y EMISIONES DEL MOTOR DE
COMBUSTIÓN INTERNA**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

AUTORES: DAVIS ALEXANDER VERA VALAREZO

JHONNATAN XAVIER ARIAS MORALES

DIRECTOR: ING. PAÚL ALEJANDRO MONTÚFAR PAZ

Riobamba – Ecuador

2024


©2024, Davis Alexander Vera Valarezo & Jhonnatan Xavier Arias Morales

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Nosotros, Davis Alexander Vera Valarezo y Jhonnatan Xavier Arias Morales, declaramos que el presente Trabajo de Integración Curricular es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 15 de enero del 2024






Davis Alexander Vera Valarezo
171947194-6



Jhonnatan Xavier Arias Morales
180484441-1

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto de Investigación, **ESTUDIO DEL EFECTO DE OCTANAJE SOBRE EL DESEMPEÑO Y EMISIONES DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA**, realizado por los señores: **DAVIS ALEXANDER VERA VALAREZO** y **JHONNATAN XAVIER ARIAS MORALES**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Cristian David Redroban Dillon PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2024-01-15
Ing. Paul Alejandro Montufar Paz. DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2024-01-15
Ing. Mitón Javier Solís Santamaria. ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2024-01-15

DEDICATORIA

El presente trabajo y mi carrera se la dedico a mi querida madre, por todo su esfuerzo que me ha permitido alcanzar esta meta y cumplir mis objetivos; a mis hermanos, que siempre han estado ahí conmigo siendo mi inspiración; a mi madrina por su paciencia y su gran cariño; a mi padre por su confianza y motivación y a mi ángel de cuatro patas, llegaste en un momento crucial a mi vida y aunque yo fui quien te rescató, tú me salvaste a mí; este gran logro se lo dedico a ustedes porque no es solo mío, es suyo también. A ustedes quiero decirles: ¡lo logramos!

Davis

A mis padres, abuelos y tíos. A ustedes, quienes han sido la fuente de mi amor, apoyo y sabiduría. A ustedes, quienes han llenado mi vida de alegría y enriquecimiento. Este logro es gracias a su constante aliento y guía. Dedico esta tesis con profundo agradecimiento. Ustedes han sido mi inspiración y pilar fundamental en este viaje académico. Su respaldo ha iluminado mi sendero y ha dado significado a cada paso que he dado. Con gratitud y cariño, les dedico este logro que también es suyo.

Jhonnatan

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios y a la virgencita del cisne, por haber escuchado mis oraciones y haberme permitido llegar hasta aquí; a mi madre, por su infinito apoyo, amor y la enorme fe que tuvo en mí y en lo que soy capaz de lograr; a mi madrina que ha sido como mi abuela, cuyas enseñanzas, disciplina y temple han sabido forjar mis hábitos y carácter; a mi padre por esas palabras de aliento que no han faltado y el cariño que me ha brindado; a mis hermanos, por su paciencia y el enorme afecto que han tenido conmigo; a mis amigos, que han formado parte de mi vida académica; a mis maestros que han sido mentores no solo de aula sino también de vida; a todos aquellos que fueron y son parte de este maravilloso proceso; a quienes apostaron por mí y a quienes no lo hicieron; de corazón y con toda humildad muchas gracias por todo.

Davis

En primer lugar, quiero agradecer a Dios por darme la oportunidad de culminar esta etapa de mi vida. A mis padres, tíos y abuelos, por su amor incondicional, su apoyo constante y sus enseñanzas. Gracias por creer en mí, incluso cuando yo no creía en mí mismo. Gracias por su sacrificio para que yo pudiera estudiar y por proporcionarme las herramientas necesarias para alcanzar mis metas, por su amor, su sabiduría y sus consejos. Gracias por siempre estar ahí para mí, en las buenas y en las malas. Gracias por transmitirme sus valores y por enseñarme a ser una persona honesta, responsable y trabajadora.

Jhonnatan

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xvi
RESUMEN	xvii
SUMMARY	xviii
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	3
1.1 Planteamiento del problema.....	3
1.2 Limitaciones y delimitaciones.....	3
1.3 Problema General de Investigación.....	4
1.4 Problemas específicos.....	4
1.5 Objetivos.....	4
1.5.1 <i>Objetivo general</i>	4
1.5.2 <i>Objetivos específicos</i>	4
1.6 Justificación	5
1.6.1 <i>Justificación metodológica</i>	5
1.7 Hipótesis	6
1.7.1 <i>Hipótesis nula (H0)</i>	6
1.7.2 <i>Hipótesis alternativa(H0)</i>	6

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1 Antecedentes	7
2.2. Referencias Teóricas	8
2.2.1. <i>Motor de combustión interna</i>	8
2.2.2. <i>Tipos de motores de combustión interna</i>	8
2.2.2.1. <i>Motores alternativos</i>	9
2.2.2.2. <i>Motor de encendido inducido (MEP)</i>	10
2.2.2.3. <i>Motor de encendido mediante compresión (MEC)</i>	10

2.2.2.4.	<i>Ciclo de trabajo</i>	10
2.2.2.5.	<i>Parámetros geométricos</i>	12
2.2.3.	<i>Sistema de alimentación de combustible (MEP)</i>	15
2.2.3.1.	<i>Carburador</i>	15
2.2.3.2.	<i>Inyección</i>	15
2.2.4.	<i>Sensores</i>	16
2.2.4.1.	<i>Sensor de Posición del Cigüeñal</i>	16
2.2.4.2.	<i>Sensor de Posición del Árbol de levas</i>	16
2.2.4.3.	<i>Sensor TPS (Throttle Position Sensor)</i>	17
2.2.4.4.	<i>Sensor de Oxígeno</i>	17
2.2.5.	<i>Actuadores</i>	18
2.2.5.1.	<i>Inyector</i>	18
2.2.5.2.	<i>Bobina</i>	18
2.2.5.3.	<i>Bujías</i>	18
2.2.5.4.	<i>Válvula IAC (Idle Air Control)</i>	18
2.2.6.	<i>Desempeño</i>	18
2.2.7.	<i>Parámetros efectivos e indicados</i>	19
2.2.7.1.	<i>Trabajo Indicado</i>	19
2.2.7.2.	<i>Potencia indicada</i>	20
2.2.7.3.	<i>Torque indicado</i>	20
2.2.7.4.	<i>Presión media efectiva</i>	20
2.2.7.5.	<i>Consumo de combustible</i>	21
2.2.7.6.	<i>Consumo de combustible específico</i>	21
2.2.7.7.	<i>Perdidas mecánicas</i>	21
2.2.8.	<i>Combustibles</i>	22
2.2.8.1.	<i>Gasolina</i>	22
2.2.8.2.	<i>Octanaje</i>	23
2.2.8.3.	<i>RON (Research Octane Number)</i>	23
2.2.8.4.	<i>MON (Motor Octane Number)</i>	23
2.2.9.	<i>Gasolinas comercializadas en el mercado ecuatoriano</i>	23
2.2.9.1.	<i>Extra</i>	23
2.2.9.2.	<i>Eco-plus</i>	23
2.2.9.3.	<i>Super Premium</i>	24
2.2.10.	<i>Emisiones</i>	24
2.2.11.	<i>Mapas de motor</i>	25
2.2.11.1.	<i>Mapa de consumo específico de combustible</i>	25

2.2.12. Normativas que regulan la evaluación de torque, potencia y emisiones	26
2.2.12.1. SAE J1349.....	26
2.2.12.2. ISO 1585.....	27
2.2.12.3. Normativas de emisiones de gases.....	27
2.2.12.4. NTE INEN 2203.....	27
2.2.12.5. NTE INEN 2204.....	27
2.2.13. Equipos de medición	28
2.2.13.1. Dinamómetro.....	28
2.2.13.2. Dinamómetro de motores.....	28
2.2.13.3. Dinamómetro de chasis.....	29
2.2.14. Equipo AVL	29
2.2.15. Analizador de gases	30
2.2.15.1. Estudio estadístico.....	30

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO	32
3.2. Enfoque de la investigación.	32
3.3. Diseño de investigación	32
3.3.1. Manipulación de la variable independiente	32
3.3.1.1. Tipos e identificación de variables.....	33
3.3.1.2. Variable dependiente.....	33
3.3.1.3. Variables independientes.....	33
3.3.2. Intervenciones de campo	33
3.4. Tipo de estudio	34
3.5. Población y planificación.	34
3.5.1. Población de estudio.....	34
3.5.2. Planificación.....	34
3.5.3. Selección de las muestras para el estudio estadístico ANOVA	34
3.6. Materiales y métodos.	35
3.6.1. Combustibles de pruebas.....	35
3.6.2. Unidad de prueba	36
3.6.3. Método gravimétrico de medición de consumo de combustible.....	37
3.6.4. Dinamómetro de motor Borghi & Saveri FA200.	38
3.6.4.1. Procedimiento para medición.....	38
3.6.5. Equipo de medición “AVL Ditest for analysis combustion”	39

3.6.5.1.	Procedimiento para medición.....	40
3.6.6.	<i>Analizador de gases MAHA MET 6.3</i>	41
3.6.6.1.	<i>Procedimiento de pruebas de gases</i>	42
3.6.7.	<i>Análisis de factores de emisiones de gases contaminantes</i>	43
3.6.8.	<i>Cálculos de torque y potencia indicados atreves de los datos de Volumen vs Presión.</i>	44
3.6.9.	<i>Simulación de mapas de motor.</i>	45
3.7.	Diagrama de etapas del proyecto	47

CAPÍTULO IV

4.	RESULTADOS DEL PROYECTO	48
4.2.	Evaluación de pruebas y ensayos del motor y sus efectos con el combustible	48
4.3.	Curvas de torque y potencia indicada en función a las gráficas de presión vs volumen, empleando el equipo AVL	50
4.4.	Efecto que tiene el índice de octanaje en las emisiones contaminantes y consumo de combustible con gasolina extra de 85 RON, eco plus de 89 RON y super premium de 95 RON	52
4.5.	Realizar un estudio comparativo del rendimiento específico de combustible del motor con diferentes octanajes	79

CONCLUSIONES	84
---------------------------	-----------

RECOMENDACIONES	87
------------------------------	-----------

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: Relaciones de compresión más comunes	15
Tabla 2-2: Clasificación de los combustibles en estado líquido.....	22
Tabla 2-3: Límites máximos permitidos para fuentes móviles con motor gasolina.....	28
Tabla 3-1: Ensayos previos para el análisis estadístico	35
Tabla 3-2: Datos técnicos del motor.....	36
Tabla 3-3: Características técnicas de la balanza gravimétrica de combustible	37
Tabla 3-4: Lista de equipos utilizados	38
Tabla 3-5: Precisión de medición de datos y resolución del analizador de gases MAHA MET 6	41
Tabla 3-6: Fórmulas para cada componente químico presente en la combustión.	43
Tabla 3-7: Ecuaciones utilizadas para calcular la potencia y el torque.	45
Tabla 4-1: Torque máximo de cada gasolina con 100% de carga aplicada.....	51
Tabla 4-2: Potencia máxima de cada gasolina con el 100% de carga aplicada.....	52
Tabla 4-3: Comparativa de contaminación de las tres gasolinas en cada contaminante a bajas rpm analizado con el 100% de carga.	61
Tabla 4-4: Emisiones de dióxido de carbono a bajas, medianas y altas rpm.....	61
Tabla 4-5: Emisiones de monóxido de carbono a bajas, medianas y altas rpm.....	61
Tabla 4-6: Emisiones de hidrocarburos a bajas, medianas y altas rpm	62
Tabla 4-7: Emisiones de óxidos de nitrógeno a bajas, medianas y altas rpm.....	62
Tabla 4-8: Emisiones de oxígeno a bajas, medianas y altas rpm.....	62
Tabla 4-9: Comparativa de contaminación en bajas, medias y altas rpm con el 100% de carga aplicada.	62
Tabla 4-10: Porcentaje de contaminación respecto a la gasolina Extra 85 RON en el rango total de rpm con el 100% de carga aplicada.....	63
Tabla 4-11: Contaminación promedio de dióxido de carbono a lo largo de todas las revoluciones por minuto (g/kwh)	64
Tabla 4-12: Contaminación promedio de monóxido de carbono a lo largo de todas las revoluciones por minuto en (g/kwh).....	64
Tabla 4-13: Contaminación promedio de hidrocarburos a lo largo de todas las revoluciones por minuto en (g/kwh).....	65
Tabla 4-14: Contaminación promedio de óxidos de nitrógeno a lo largo de todas las revoluciones por minuto en (g/kwh).....	65

Tabla 4-15: Contaminación promedio de oxígeno a lo largo de todas las revoluciones por minuto en (g/kwh)	65
Tabla 4-16: Comparativa de menor a mayor gasolina contaminante en todo el rango de rpm con el 100% de carga aplicada.....	66
Tabla 4-17: Comparativa de contaminación de las tres gasolinas en cada contaminante a bajas rpm analizado con el 50% de carga.....	67
Tabla 4-18: Emisiones de dióxido de carbono a bajas, medianas y altas rpm.....	67
Tabla 4-19: Emisiones de monóxido de carbono a bajas, medianas y altas rpm.....	67
Tabla 4-20: Emisiones de hidrocarburos a bajas, medianas y altas rpm.	68
Tabla 4-21: Emisiones de óxidos de nitrógeno a bajas, medianas y altas rpm.....	68
Tabla 4-22: Emisiones de oxígeno a bajas, medianas y altas rpm.....	68
Tabla 4-23: Comparativa de contaminación en bajas, medias y altas rpm con el 50% de carga aplicada.....	69
Tabla 4-24: Porcentaje de contaminación respecto a la gasolina extra en el rango total de rpm con el 50% de carga aplicada.....	69
Tabla 4-25: Contaminación promedio de dióxido de carbono a lo largo de todas las revoluciones por minuto (g/kwh).	70
Tabla 4-26: Contaminación promedio de monóxido de carbono a lo largo de todas las revoluciones por minuto (g/kwh).....	70
Tabla 4-27: Contaminación promedio de hidrocarburos a lo largo de todas las revoluciones por minuto (g/kwh)	71
Tabla 4-28: Contaminación promedio de óxidos de nitrógeno a lo largo de todas las revoluciones por minuto (g/kwh)	71
Tabla 4-29: Contaminación promedio de oxígeno a lo largo de todas las revoluciones por minuto (g/kwh)	71
Tabla 4-30: Comparativa de menor a mayor gasolina contaminante en todo el rango de rpm con el 100% de carga aplicada.....	72
Tabla 4-31: Comparativa de consumo de combustible a bajas, medianas y altas revoluciones por minuto al 100% de carga.....	74
Tabla 4-32: Comparativa en porcentaje del consumo de combustible en el rango total de revoluciones por minuto al 100% de carga.....	75
Tabla 4-33: Consumo de combustible provocado en el motor con cada gasolina a lo largo de todas las revoluciones por minuto al 100% de carga.....	75
Tabla 4-34: Comparativa de consumo de combustible a bajas, medianas y altas revoluciones por minuto al 50% de carga	77

Tabla 4-35: Comparativa en porcentaje del consumo de combustible en el rango total de revoluciones por minuto al 50% de carga.....	78
Tabla 4-36: Consumo de combustible provocado en el motor con cada gasolina a lo largo de todas las revoluciones por minuto al 50% de carga.....	78
Tabla 4-37: Información del factor.....	79
Tabla 4-38: Análisis de Varianza	79
Tabla 4-39: Valores de críticos de Fisher y Prueba.....	80
Tabla 4-40: Valor de F para cada factor comparado con la F de rendimiento específico.	80
Tabla 4-41: Comparativa de regiones de los tres mapas de consumo específico de combustible.	82

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2-1: Clasificación de motores	8
Ilustración 2-2: Ciclo termodinámico	9
Ilustración 2-3: Carreras de un motor de cuatro tiempos.....	11
Ilustración 2-4: Tipos de motor y su operación	12
Ilustración 2-5: Diagrama esquemático de un motor de combustión interna	14
Ilustración 2-6: Sensor CKP de efecto hall.....	16
Ilustración 2-7: Sensor CKP de efecto inductivo.....	16
Ilustración 2-8: Diagrama del sensor CMP.....	17
Ilustración 2-9: Gráficas de Desempeño curvas torque y potencia Aveo emotio	19
Ilustración 2-10: Curvas de consumo de un motor MEP sobrealimentado.....	25
Ilustración 2-11: Mapa de consumo de combustible	26
Ilustración 2-12: Dinamómetro de motor.....	28
Ilustración 2-13: Dinamómetro de chasis	29
Ilustración 2-14: Diagrama de conexión AVL.....	30
Ilustración 3-1: Gasolina Extra	35
Ilustración 3-2: Gasolina Super.....	36
Ilustración 3-3: Gasolina Ecoplus	36
Ilustración 3-4: Recipiente externo	37
Ilustración 3-5: Dinamómetro de FA 200, Motor Aveo 1,6 L	39
Ilustración 3-6: Equipo de medición AVL Ditest for analysis combustion	39
Ilustración 3-7: Curva de presión vs volumen representada en el software Indicom	40
Ilustración 3-8: Analizador de gases MAHA MET 6.3	42
Ilustración 3-9: Visualización de Emisión Viewer	43
Ilustración 3-10: Visualización del ciclo de trabajo real de los 4 cilindros	44
Ilustración 3-11: Mapas de consumo de combustible	46
Ilustración 3-12: Etapas del proyecto.....	47
Ilustración 4-1: Pruebas de Dinámetro rodillo y bujías Aveo a 2700 m.s.n.m	48
Ilustración 4-2: Corrección de potencia.....	49
Ilustración 4-3: Corrección de torque	49
Ilustración 4-4: Torques generados con los diferentes tipos de gasolinas	50
Ilustración 4-5: Potencias generadas con los diferentes tipos de gasolinas	51
Ilustración 4-6: Producción de dióxido de carbono al 100% de carga aplicada	53
Ilustración 4-7: Producción de monóxido de carbono al 100% de carga aplicada	54

Ilustración 4-8: Producción de hidrocarburos al 100% de carga aplicada.....	55
Ilustración 4-9: Producción de óxidos de nitrógeno al 100% de carga aplicada	56
Ilustración 4-10: Producción de oxígeno al 100% de carga aplicada	56
Ilustración 4-11: Producción de dióxido de carbono al 50% de carga aplicada	57
Ilustración 4-12: Producción de monóxido de carbono al 50% de carga aplicada	58
Ilustración 4-13: Producción de hidrocarburos al 50% de carga aplicada.....	58
Ilustración 4-14: Producción de óxidos de nitrógeno al 50% de carga aplicada	59
Ilustración 4-15: Producción de oxígeno al 50% de carga aplicada	60
Ilustración 4-16: Consumo de combustible con cada combustible utilizado en el motor al 100% de carga aplicada.....	73
Ilustración 4-17: Consumo de combustible con cada combustible utilizado en el motor al 50% de carga aplicada.....	76
Ilustración 4-18: Gráficos de contornos de la gasolina de 95 octanos.....	81
Ilustración 4-19: Gráficos de contornos de la gasolina de 85 octanos.....	81
Ilustración 4-20: Gráficos de contornos de la gasolina de 89 octanos.....	82

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: VALORES CRÍTICOS DE LA DISTRIBUCIÓN F (0,5)

RESUMEN

La presente investigación se efectuó en un motor de combustión interna 1,6l a 2700 msnm donde se evaluó el efecto del octanaje del combustible en el desempeño y las emisiones; por lo cual se utilizaron gasolinas de 85, 89 y 95 octanos. El estudio emplea un método experimental, hipotético-deductivo y cuantitativo, basándose en la recopilación de datos a través del tiempo. Los resultados mostraron que, en general, hubo diferencias no significativas entre las tres gasolinas en términos de desempeño, la potencia y el torque aumentaron ligeramente con el octanaje, pero las diferencias fueron de aproximadamente 1 HP y 1 Nm, respectivamente. Los valores de emisiones de gases contaminantes, como el CO, los HC y los NOx, fueron similares independientemente del nivel de octanaje, es así que la gasolina super 95 RON provocó mayor producción de los elementos analizados con el 50% de carga aplicada; por otro lado, la gasolina Eco-plus de 89 RON, misma que posee un porcentaje de etanol en su composición presentó un comportamiento del motor con grado de contaminación elevada con el 100% de carga aplicada en el dinamómetro. El consumo de combustible también fue similar en términos generales; sin embargo, cabe recalcar que la gasolina extra de 85 RON obtuvo el menor consumo de combustible con diferencias mínimas. En el caso de rendimiento específico de combustible. El modelo estadístico ANOVA no encontró una diferencia significativa entre los tres grupos con un nivel de confianza del 95% y un nivel de significancia del 5%. Sin embargo, es importante tener en cuenta que estos resultados se basan en pruebas realizadas en un motor específico y en condiciones de prueba puntuales es así como los resultados pueden variar en otros motores, dependiendo de la configuración del motor, las condiciones de análisis y otros factores.

Palabras clave: <OCTANAJE> <CONSUMO DE COMBUSTIBLE> <MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA> <TORQUE> <EMISIONES CONTAMINANTES> <ANALISIS DE VARIANCIA> <MÉTODO GRAVIMÉTRICO>.

0163-DBRA-UPT-2024



SUMMARY

This research was carried out on a 1,6 liter internal combustion engine at 2700 masl where the effect of fuel octane on performance and emissions was evaluated; therefore, 85, 89 and 95 octane gasolines were used. The study employs an experimental, hypothetical-deductive and quantitative method, based on data collection over time. The results showed that, in general, there were non-significant differences between the three gasolines in terms of performance, power and torque increased slightly with octane rating, but the differences were approximately 1 HP and 1 Nm, respectively. The values of pollutant gas emissions, such as CO, HC and NO_x, were similar regardless of the octane level. Thus, the super 95 RON gasoline caused a higher production of the analyzed elements with 50% load applied; on the other hand, the 89 RON Eco-plus gasoline, which has a percentage of ethanol in its composition, presented an engine behavior with a high pollution degree with 100% load applied on the dynamometer. Fuel consumption was also similar in general terms; however, it is worth noting that the 85 RON extra gasoline had the lowest fuel consumption with minimal differences. In the case of specific fuel efficiency. The ANOVA statistical model did not find a significant difference between the three groups with a confidence level of 95% and a significance level of 5%. However, it is important to keep in mind that these results are based on tests performed on a specific engine and in punctual test conditions is well as the results may vary in other engines, depending on engine configuration, analysis conditions and other factors.

Keywords: <OCTANNAGE> <FUEL CONSUMPTION> <INTERNAL COMBUSTION ENGINE> <TORQUE> <POLLUTANT EMISSIONS> <VARIANCE ANALYSIS> <GRAVIMETRIC METHOD>.



Lic. Sandra Paulina Porras Pumalema Mgs.

C.I. 0603357062

INTRODUCCIÓN

El trabajo de titulación responde a la problemática que ha surgido alrededor de la llegada de nuevos combustibles al país con niveles de octanaje distintos y los efectos que estos causan en el desempeño y emisiones de los automotores presentes en el territorio; hoy en día existen diversos equipos de medición cuyos resultados permiten evaluar de manera objetiva las consecuencias producidas por las gasolinas en el interior del motor; un claro ejemplo es el dinamómetro, el cual consiente ejecutar pruebas de torque y potencia, mismas que resultan ser un parámetro referencial a la hora de comprobar el estado y desempeño del vehículo, adicionalmente el analizador de emisiones es un complemento que cuantifica el resultado de dicho proceso de combustión y por último el empleo de una balanza que registra cuanto combustible se consume tomando en cuenta la masa del mismo en cada instante de tiempo; frente al desconocimiento de cómo se comporta el vehículo al utilizar gasolinas de diferente nivel de octanaje, se procede a realizar pruebas en los equipos de medición ya mencionados, en el motor de uno de los vehículos más populares del Ecuador como es el Chevrolet Aveo 1.6 L, al ser este un vehículo común en las vías ecuatorianas, permite que la adquisición de datos y los resultados obtenidos se apeguen de mejor manera a la realidad ecuatoriana.

El principal objetivo es recopilar datos del vehículo ya mencionado, referentes a curvas de torque, potencia, emisiones y consumo, involucrando a las gasolinas presentes en el estudio y posterior a esto realizar una comparativa entre pruebas respectivamente; con cierto criterio de estudio bibliográfico permitiendo sin duda alguna emitir un criterio acertado sobre los efectos de cada carburante; no obstante la limitante de este estudio, son las condiciones en las que se lo realiza, debido a que la ejecución de los ensayos fueron ejecutados en el cantón Riobamba, provincia de Chimborazo, por lo que este estudio no garantiza que el comportamiento del automotor sea el mismo en alturas diferentes; adicional a esto, las pruebas son realizadas en un dinamómetro de rodillos y de motor perteneciente a la institución educativa, siendo este último, un equipo de medición con un porcentaje de error considerable, por lo cual fue necesario realizar un cálculo de un factor de corrección para poder tener valores reales y válidos para la investigación; en cuanto a la metodología empleada consta, la investigación bibliográfica con la finalidad de recabar información que contribuya y respalde este trabajo; el método experimental, el cual aborda las pruebas descritas con anterioridad, complementado con el método aplicativo, que tiene que ver con las gasolinas involucradas en el análisis.

En el capítulo uno, se indaga de manera más profunda acerca de los precedentes, la exposición del problema, su explicación y la finalidad del presente estudio; seguidamente, en el segundo

capítulo se procede con el marco teórico, aquí especifica el objeto donde se aplica el estudio, las pruebas ejecutables, los equipos de medición y la materia prima. Es un factor importante que se debe abordar para la investigación, puesto que sus resultados arrojarán conclusiones que despejen las dudas que tienen los propietarios de vehículos sobre los nuevos combustibles presentes en el país, he aquí la importancia de esta para la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y el colectivo en general, ya que enaltece el nombre de la institución y brinda una nutrida respuesta a un problema del país en general.

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Planteamiento del problema

En meses recientes, el gobierno del Ecuador frente a la problemática de combustibles de baja calidad y el retiro de los subsidios, se promocionó en el mercado dos tipos de gasolinas con nuevos niveles de octanaje, con la finalidad de compensar el alza de los costos y elevar el estándar de calidad del combustible; ciertamente esto aporta al mejor desempeño del vehículo y reduce sus emisiones. El fabricante no recomienda el uso específico de un tipo de gasolina o si lo recomienda no especifica los motivos por el cual lo hace, generando un conflicto para el usuario del vehículo de no saber que gasolina usar o cuál es la diferencia y que sucede en el motor o el impacto ambiental que puede tener al emplear uno u otro combustible. A partir de distintas pruebas de torque, potencia, consumo y emisiones con equipos como el dinamómetro de motor o de rodillos, se analizaron el desempeño del motor; con equipos especializados para las emisiones utilizados, permitieron recolectar datos de los distintos y principales gases presentes en el tubo de escape (CO, CO₂, HC, NO, O₂) y por último mediante una balanza de medición que utiliza el método gravimétrico, se puede registrar el consumo del motor; es así que se logra un análisis completo de como el motor puede comportarse con los distintos combustibles.

1.2 Limitaciones y delimitaciones

Un criterio sobre el estudio que limita, son los datos resultantes de los experimentos realizados a la unidad de prueba ya que depende de las condiciones de operación controladas en un laboratorio, lo cual no se asemejan completamente al manejo real del motor montado en el vehículo. El mecanismo de estudio es único, los resultados de esta investigación no se puedan utilizar en otro tipo de motor, si no de las mismas características de la ficha técnica. Las delimitaciones de las pruebas se realizan el motor de cuatro tiempos Chevrolet Aveo 1600 cc a una elevación alrededor de 2700 msnm, con tres distintos tipos de gasolinas que varían su octanaje, con las condiciones de obtener del desempeño del motor curvas de torque, potencia y las emisiones según la norma NTE INEN 2203 y 2204.

1.3 Problema General de Investigación

En el presente caso de estudio, la problemática radica en los combustibles, específicamente en las gasolinas comercializadas en el mercado ecuatoriano y el retiro paulatino del subsidio, lo que provoca una inminente alza de precios; sumado a esto la baja calidad de estas, conllevó a la importación mediante un plan piloto de dos nuevas gasolinas con mayor nivel de octanaje, pero sin subsidio alguno. Todo lo mencionado anteriormente repercute en los vehículos a la hora de elegir el tipo de gasolina a usarse, lo que significa que el combustible seleccionado influye y tiene relación directa con el desempeño y las emisiones generadas por el motor de combustión interna.

1.4 Problemas específicos

El aumento de costo de los combustibles ha presentado dificultad al sector productivo, Esta acción repercute en el incremento en la trasportación, alojamiento, agricultura, entre otras que afecta al bolsillo del consumidor, encareciendo la vida en el ecuador. El efecto que la Ecoplus y Super Premium provocan en el motor de combustión interna, aún no ha sido estudiado a profundidad, por ende, no se puede emitir un criterio técnico que respalde lo plasmado en la ficha técnica. El desconocimiento por parte de los usuarios para elegir un combustible adecuado para su vehículo, por ausencia de información relacionada y criterios erróneos, mismos que comprometen aspectos técnicos no considerados, cruciales para el buen funcionamiento del motor de combustión interna.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

Estudiar el efecto del octanaje sobre el desempeño y emisiones del motor de combustión interna por medio de pruebas de torque, potencia, consumo de combustible y emisiones, en un motor CHEVROLET AVEO 1600 cc a una altura 2700 msnm.

1.5.2 Objetivos específicos

- Recolectar datos de torque y potencia empleando el dinamómetro de rodillos y de motor.
- Analizar las curvas de torque y potencia indicada obtenidas en función a las gráficas de presión vs volumen, empleando el equipo de medición AVL.

- Examinar el efecto que tiene el índice de octanaje en las emisiones contaminantes y consumo de combustible con gasolina extra de 85 RON, eco plus de 89 RON y super premium de 95 RON
- Realizar un estudio comparativo del rendimiento de consumo específico de combustible del motor con diferentes octanajes.

1.6 Justificación

Debido a los precios de los combustibles que han incrementado considerablemente, la baja calidad de los ya comercializados y sumado a esto el ingreso al país de vehículos con mayor tecnología a nivel de combustión, era inminente la implementación de nuevas gasolinas con mayor nivel de octanaje; en un plan piloto se ha introducido la gasolina Super Premium con un octanaje de 95 reemplaza a la gasolina Super que posee 92 octanos ya existente y por otro lado se encuentra la gasolina Ecoplus con 89 octanos que posee un porcentaje de etanol y se suma a la extra, presentes ya en el mercado; la tendencia automotriz es fabricar motores pequeños sobrealimentados y de inyección directa para aportar a la reducción de emisiones y tener un mejor desempeño.

Por lo general los vehículos que ingresan al Ecuador, siendo estos ya no solo de gama alta sino también vehículos de gama media, por lo cual son más asequibles y este es el motivo del estudio; la mayoría de usuarios no conocen el grado de afectación que tiene para con su motor un combustible con respecto al otro e incluso se tiene la idea de que no existe diferencia alguna, por lo que se procede a la elección del combustible más económico sin argumento técnico alguno; este estudio se enfoca con estas dos nuevas gasolinas en cuanto a desempeño del motor y emisiones que este pueda producir al ambiente; mediante diversas pruebas de desempeño ejecutadas en el dinamómetro de rodillos, el cual es un dispositivo que puede calcular el torque y potencia del vehículo simulando la conducción y el frenado controlado que proporciona el dispositivo de medición mediante un freno de corrientes parásitas; por otro lado en cuanto a gases contaminantes, el dispositivo MET 6.3, es un analizador de emisiones que toma en cuenta los distintos gases presentes a la salida del tubo de escape (CO, CO₂, HC, O₂, NO_x), brindando la posibilidad de realizar pruebas estáticas por medio de su software propio de fabricante; es así como se puede llegar a corroborar si estos nuevos combustibles contribuyen o perjudican el correcto funcionamiento del automotor.

1.6.1 Justificación metodológica

Para la investigación se fundamenta en la necesidad de comprender como la variación de octanaje puede influenciar en el rendimiento y emisiones del motor 1,6 l.

Con respecto a las pruebas, se tiene ciertas condiciones donde el motor se retiran los accesorios como la de bomba de dirección y el compresor de aire acondicionados. Con las herramientas de medición se utiliza un dinamómetro de rodillos para corroborar un factor de correlación con respecto al banco de pruebas del dinamómetro del motor Borgy &Saveri, bujías AVL, el consumo de combustible con la balanza gravimétrica y emisiones con el MET 6.3, Se repetirán las pruebas con el objetivo de obtener varios datos para garantizar la confiabilidad de los resultados medidos.

1.7 Hipótesis

1.7.1 Hipótesis nula (H0)

Ho: El índice de octanaje de la gasolina no modifica el rendimiento específico de combustible en un motor de combustión interna 1600cc a 2700 msnm.

1.7.2 Hipótesis alternativa(H1)

H1: El índice de octanaje de la gasolina si modifica el rendimiento específico de combustible en un motor de combustión interna 1600cc a 2700 msnm.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

Desde su fundación la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo se enfoca en invertir en la constante innovación e investigación. Creando así en la Facultad de Mecánica un centro de experimentación enfocado en motores, este tipo de lugares son utilizados por los estudiantes como docentes con el fin de realizar ensayos referentes a torque, potencia y emisiones con instrumentos de medición como el dinamómetro de motor, mismo que se emplea para comprender el desempeño de los motores que funcionan con combustión interna (Vargas Proaño y Pozo Balseca 2021). Con el paso de los años este instrumento presenta un deterioro por lo cual la tesis de reacondicionamiento del dinamómetro Borghi & Saveri FA200 instalado en el laboratorio de ingeniería automotriz para la recolección mediante software de las curvas de desempeño. (Iván Patricio Cusanguá Arévalo y Carlos Fabián Asqui Calero 2021) los autores se basan en implementar una tarjeta de adquisición de datos para realizar las pruebas de desempeño y almacenarlas en una base de datos con el fin de ser estudiadas con más facilidad.

Una vez introducido al manejo del dinamómetro, la siguiente fase fue el reacondicionamiento del motor aveo 1,6 lt para su respectiva instalación en este dinamómetro lo cual por el tiempo de adquisición no presentaba bases de motor para su implementación donde se realiza la tesis de análisis comparativo entre las curvas de torque, potencia y consumo específico de un motor Chevrolet Aveo 1,6 L previamente siendo sometido a modificaciones en la cilindrada, donde el dinamómetro no presentaba bases de motor para el estudio con lo cual realizaron nuevas bases para la colocación unidad de potencia.

En el año 2019 se adquirió por parte de la escuela de ingeniería automotriz, el equipo AVL siendo un equipo de origen Austriaco, posee ciertos elementos para su utilización en el campo investigativo que son bujías de para motor de encendió provocado y miden la presión dentro del cilindro a través de un sensor piezoeléctrico que se encuentra acoplado en la rocas de la bujía que a través de la conexión de fibra óptica se conecta a una tarjeta de adquisición de datos IDICOM 602, este elemento traduce la señales eléctrica de sensor dentro del cilindro para su visualización en un ordenador que se conecta al a la tarjeta de adquisición mediante un cable ethernet. (Fonseca Rosales y Granizo Revelo 2022, p. 35) En este contexto los motores utilizan combustible fusiles, siendo este una de las fuentes que ayudan al calentamiento global. En los últimos años la preocupación por las emisiones que se generan por la reacción exotérmica dentro de estos mecanismos ha llevado a controlar ciertos tipos de gases con lo cual se ha vuelto más regular el uso de equipos

de medición de emisiones. El laboratorio cuenta con este tipo de aparato de marca Maha 6.3, ayudando para la comparativa de datos.

2.2. Referencias Teóricas

2.2.1. Motor de combustión interna.

Habitualmente, se suele pensar que el motor es un mecanismo que puede transformar cualquier tipo de energía sin importar su procedencia en energía mecánica. En este extenso tema incluye los motores térmicos, que se pueden definir como dispositivos capaces de extraer energía mecánica de la energía térmica contenida en fluidos comprimibles. Esta energía puede provenir directamente, como en el caso del calor geotérmico o la radiación solar, o puede provenir de otros tipos de energía, como energía acumulada en la masa que se utiliza para alimentar las reacciones de combustión. En consecuencia, esta energía química debe convertirse en energía térmica mediante procesos adicionales, como los procesos de combustión. Un fluido de trabajo también puede obtener energía a partir de calor, y también se requiere un elemento mecánico adecuado para que un fluido convierta su energía en energía térmica mecánica. (Payri y Desantes 2011, p 8)

2.2.2. Tipos de motores de combustión interna

Depende las condiciones y el lugar para transformar energía, el proceso que utilizo y su rendimiento se los puede clasificar según la imagen

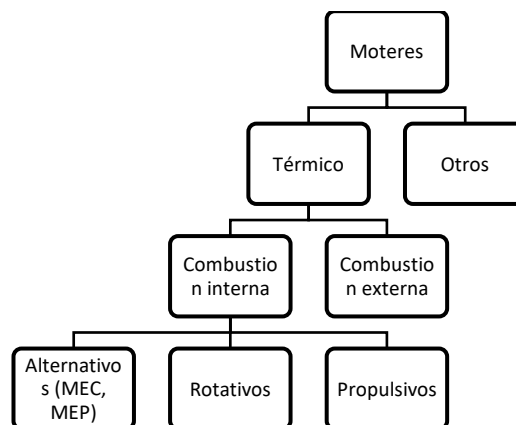


Ilustración 2-1: Clasificación de motores

Fuente:(Payri & Desantes 2011).

En los motores térmicos, encontramos diversas categorías que varían en su modo de funcionamiento, al igual que operación y el proceso de combustión, su ciclo operativo, su sistema

de inyección de combustible, su número de cilindros y colocación de cilindros, entre otros. Esto hace que abordar todos los rasgos de un motor sea una tarea compleja (Heywood 2018a, p. 19). Los MCI más comunes en el parque automotor y cual es objetivo fundamental de este trabajo de investigación se hablará a continuación.

2.2.2.1. Motores alternativos

Al igual que los motores alternativos, los motores volumétricos encierran el medio de trabajo en una carcasa cerrada. En este proceso, el volumen de la carcasa varía y se lleva a cabo un ciclo termodinámico. Analizando los ciclos termodinámicos visualizando el proceso de agregar y quitar calor dentro de un volumen variable. Durante estos trabajos, también se trabaja en el eje de salida del motor (Colin R. Ferguson Allan T. Kirkpatrick 2016).

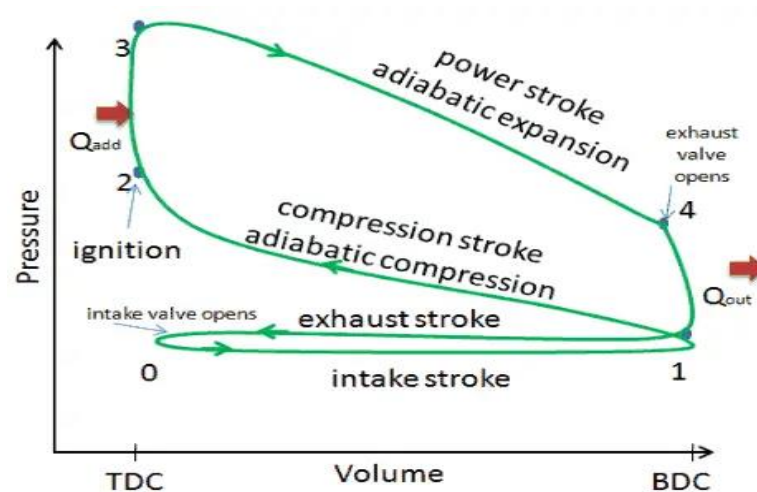


Ilustración 2-2: Ciclo termodinámico

Fuente: (Conner Nick 2020).

El ciclo termodinámico de un motor de desplazamiento positivo tiene las siguientes etapas:

- 1-2. El fluido de trabajo se comprime en un espacio cerrado. Esto incrementa la presión y la temperatura del fluido.
- 2-3. El líquido comprimido se calienta, lo que hace que aumente su volumen.
3. El líquido calentado se expande, lo que mueve el eje de salida del motor.
- 3-4. El líquido expandido luego se enfría, reduciendo su volumen.
- 4-0. Luego, el líquido enfriado se elimina del cuerpo.

El ciclo termodinámico de un motor de desplazamiento se repite continuamente y el trabajo realizado en el cigüeñal del motor se utiliza para impulsar un vehículo u otra máquina.

Este proceso se logra a través del desarrollo de la combustión. Al comprender como se produce el intercambio de energías dentro de la cámara de combustión, se puede clasificar en dos categorías en motores de encendido inducido (MEP) y motores mediante compresión (MEC).

2.2.2.2. Motor de encendido inducido (MEP)

Una las principales características de este dispositivo es el inicio del proceso de combustión se realiza con una contribución externa de energía al proceso termodinámico. En los MCI modernos, esto se logra mediante la distancia entre los dos electrodos de la bujía produciendo una chispa (Payri & Desantes 2011, p.27). Como causa del proceso de aporte externo de energía, la propagación de la llama ocurre dividiendo en dos zonas: gases quemados y gases frescos. También son llamados de ciclo Otto por su inventor.

2.2.2.3. Motor de encendido mediante compresión (MEC)

En dichos motores, el proceso de ignición de combustible comienza encendiendo la mezcla de diesel en ausencia de oxígeno, sin requerir una chispa cuando el proceso de compresión alcanza una temperatura suficientemente alta en la cámara de combustión. Para controlar de manera aproximada el tiempo de encendido, se introduce solo aire durante la carrera de admisión y se inyecte combustible a medida que el pistón se acerca al final de su recorrido de compresión cuando el aire se caliente lo suficiente como para provocar la ignición automática. (Payri y Desantes 2011 p.27)

2.2.2.4. Ciclo de trabajo

El desplazamiento lineal cíclico del pistón se trasfiere al cigüeñal generando, un movimiento circular. A esto se denomina motores alternativos de cuatro tiempos por su movimiento reciproco dentro del cilindro que tramite trabajo (Heywood 2018b, p. 16)

En la actualidad, la mayoría de vehículo que circulan en el país son de 4 tiempos, donde el mecanismo de brazo-manivela demanda exclusivamente cuatro carreras de para un ciclo completo de trabajo.

Las carreras de un motor de ciclo otto:

1. *Carrera de admisión (intake)*: La entrada de aire-combustible hacia la cámara interna del motor se produce cuando el pistón se desplaza hacia abajo, abriendo las válvulas de admisión.
2. *Carrera de compresión*: Una vez que las válvulas de hayan cumplido su función de admisión y cierre hermético de las válvulas de escape, el pistón desde el PMI comienza la etapa de reversa hacia el PMS, generando que el combustible se comprima por la acción de la reducción de volumen.
3. *Carrera de Expansión*: Cuando el pisto llega al PMS, la mezcla se haya comprimido en su totalidad. El aporte energético externo, la chispa, inicia el proceso de combustión. La temperatura y presión se elevan abruptamente, provoca que el pistón descienda hacia el PMI. Generando trabajo por la acción de este tipo de movimiento que se trasmite desde el pistón ala biela y cigüeñal. En este tiempo, las válvulas se encuentran completamente cerradas para que no exista una pérdida de presión.
4. *Carrera de escape (Exhaust)*: Debido al proceso de combustión se genera gases, los cuales deben ser evacuados desde el interior del cilindro, por la acción del movimiento del pistón en sentido contrario al anterior tiempo desde el PSI al PMI, abriendo las válvulas de escape para circular hacia el múltiple.

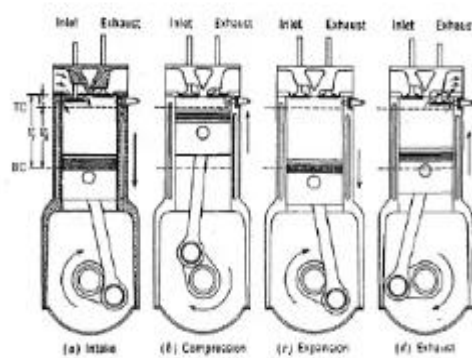


Ilustración 2-3: Carreras de un motor de cuatro tiempos

Fuente:(Heywood 2018a, p. 24).

Estas etapas de accionamiento de válvulas para permite o impide el flujo de aire se puede representar en un grafica las etapas de presión vs el cambio del ángulo de giro del cigüeñal

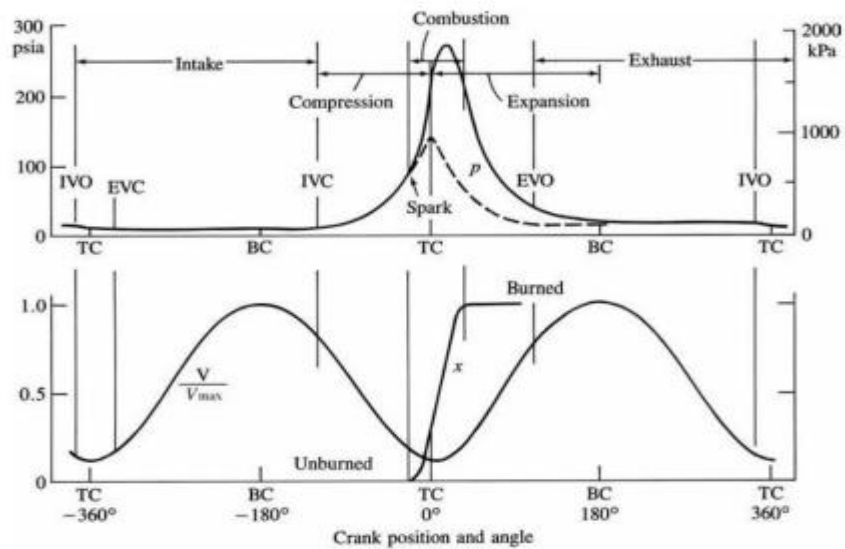


Ilustración 2-4: Tipos de motor y su operación

Fuente:(Heywood 2018a, p. 24).

No obstante, es preciso recalcar que el periodo de trabajo del motor de combustión interna se divide en ciclo de trabajo teórico y ciclo de trabajo real.

2.2.2.5. Parámetros geométricos

Dichos parámetros dan paso a la caracterización del dimensionamiento respecto a los elementos principales del motor, en donde se involucra a los parámetros relativos a las dimensiones del cilindro, el mecanismo biela-manivela y al sistema de renovación de la carga. Estos parámetros condicionan el desempeño, puesto que los parámetros mencionados son establecidos al momento de diseñar el motor (Payri y Desantes 2011 pp. 45).

- *Carrera del Pistón*

Se define como la distancia que transita el pistón desde el punto muerto superior hacia el punto muerto inferior, así como se muestra en la siguiente ecuación.

$$S = 2l$$

Donde l es el radio del cigüeñal.

- *Diámetro del Cilindro*

Aunque el diámetro del cilindro es mínimamente superior al diámetro del pistón, al momento de ejecutar análisis y cálculos, se interpreta como una misma variable a ambos diámetros,

simplificando así cálculos como la sección del pistón o la cilindrada del motor (Payri y Desantes 2011 pp. 45).

Tanto el diámetro del cilindro como el recorrido del pistón se relacionan de la siguiente manera:

$$R_{D/S} = \frac{D}{S}$$

- *Longitud de la biela*

Dicho elemento se ancla en un extremo a la cabeza del pistón, en concreto al bulón y por el otro extremo se ancla a la manivela en la parte de la muñequilla.

Es así, que la longitud de la biela y el radio del cigüeñal poseen una relación expresada de tal forma:

$$R_{L/l} = \frac{L}{l}$$

- *Radio del cigüeñal*

También conocido como la longitud de la manivela, es el encargado de transformar la rotación en conjunto con la traslación de la biela, en un movimiento rotacional referente al eje central del cigüeñal; su estructura está comprendida entre la muñequilla y los centros del muñón.

En este caso los parámetros esenciales del motor implican, la carrera del pistón (S), la longitud de la biela (L), el diámetro del cilindro (D) y el radio del cigüeñal (l), el cual se define como la mitad de la carrera o de la diferencia que existe entre el punto muerto superior (PMS) y el punto muerto inferior (PMI). (Carreras et al. 2005 pp. 92-93)

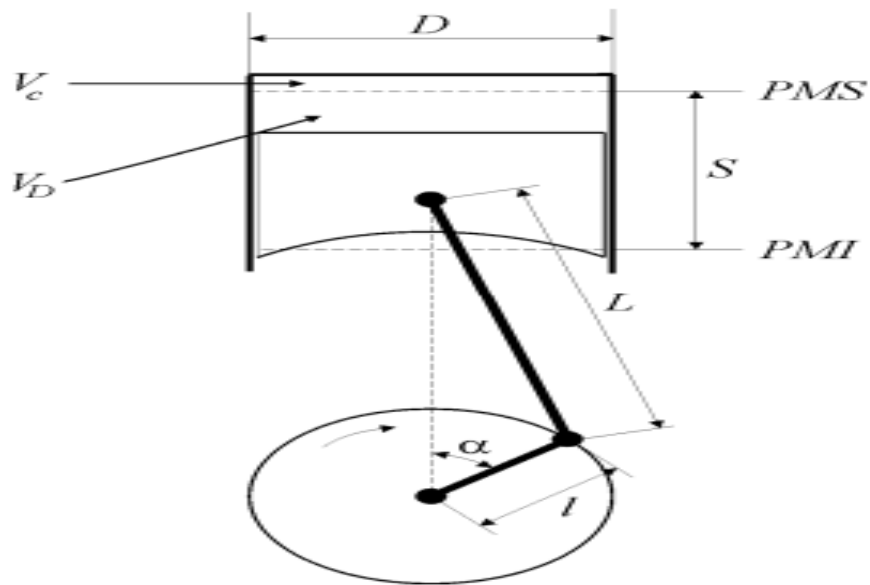


Ilustración 2-5: Diagrama esquemático de un motor de combustión interna

Fuente: (Payri y Desantes 2011 pp. 45).

- *Relación de compresión*

Es el resultado de la división entre el volumen máximo y el volumen mínimo (Colin R. Ferguson Allan T. Kirkpatrick 2016 pp. 10), es decir el volumen empleado por la mezcla nueva y el volumen de la cámara de combustión que no es otra cosa que el volumen ocupado por la cámara de combustión en el instante en que el pistón se encuentra en el punto muerto superior (Carreras et al. 2005 pp. 94).

$$r = \frac{V_{Cil} + V_{PMS}}{V_{PMS}}$$

Donde V_{Cil} representa la cilindrada unitaria y V_{PMS} como el volumen desplazado por el pistón desde el punto muerto superior. (Carreras et al. 2005 pp. 94)

La relación de compresión resulta un parámetro fundamental para examinar el funcionamiento del motor de combustión interna, en la tabla 1, se puede apreciar los valores más comunes de relación de compresión.

- *Sección del Pistón*

Denominado también como área del pistón, se define como el área transversal de la cabeza del pistón (Payri y Desantes 2011c), es un parámetro asociado al comportamiento térmico y dinámico del motor, en conjunto con las paredes del cilindro y la parte inferior del cabezote, forma parte de la

cámara de combustión (Carreras et al. 2005), por otro lado, es el espacio disponible sobre el cual los gases ejercen presión para producir trabajo. Por lo tanto, se calcula como se muestra a continuación:

$$A_p = \frac{pD^2}{4}$$

Tabla 2-1: Relaciones de compresión más comunes

Tipo de motor	r	Límite	Tipo de motor	r	Límite
MEP 4T	8,0-11	Autoencendido □ 14 para carga estratificada	MEC DI ¹	12-21	-Presión máxima -Arranque en frío -Pérdida de rendimiento -Cámara poco compacta -Toque de válvulas con el pistón
MEP 2T	7,5-11	Autoencendido	MEC IDI	18-24	Igual que MEC DI

Fuente: (Payri & Desantes 2011 pp. 48).

2.2.3. Sistema de alimentación de combustible (MEP)

2.2.3.1. Carburador

Su funcionamiento se basa en la carburación, al momento en el que el aire ingresa por el estrangulador, provoca una baja de presión que permite el paso de gasolina y al mezclarse con el flujo de aire de entrada se produce un efecto atomizador de la gasolina, logrando la mezcla aire-combustible que posteriormente pasará a la cámara de combustión; sin embargo, es un sistema que actualmente ya está discontinuado (Aguiar Zumba & Rojano Herrera, 2021).

2.2.3.2. Inyección

Es un sistema que posee múltiples ventajas respecto al carburador, que contribuye al mejor desempeño del motor, como la eficiencia en el ahorro de combustible y mejor capacidad de respuesta; su principio se basa en la inyección del combustible de manera directa o indirecta a la cámara de combustión, mediante elementos llamados inyectores (actuadores), comandados electrónicamente por la unidad de control (ECU, Electronic Control Unit), para permitir el paso de gasolina acorde a las necesidades del motor de combustión interna (ICE, Internal Combustion Engine). Esto se logra por medio de la incorporación de sensores ubicados estratégicamente en

distintos puntos del ICE, que recolectan información importante que le permiten a la ECU tomar decisiones. (Aguilar Zumba Kleber Jeovanny y Rojano Herrera Dennis Javier 2021)

2.2.4. Sensores

2.2.4.1. Sensor de Posición del Cigüeñal

También conocido como sensor CKP (Crankshaft Position Sensor), mide la velocidad del motor. Permitiéndole así a la ECU poder sincronizar el tiempo de inyección y encendido. Se ubica en la parte inferior del motor, junto a la polea de accesorios (Godoy Gudiño & Villamarin Flores 2016). Existen de dos tipos: sensor de frecuencia o efecto hall, el cual posee 3 pines (alimentación, señal, tierra) y sensor de efecto inductivo que genera su propio voltaje y posee 2 pines (señal, tierra) (Calderón Orellana 2022).

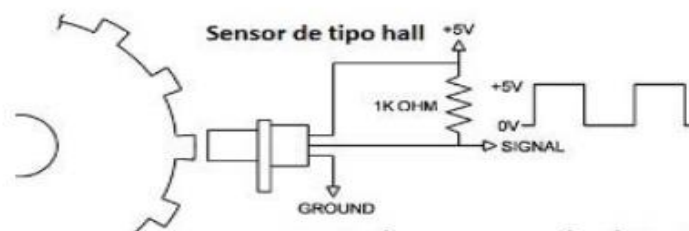


Ilustración 2-6: Sensor CKP de efecto hall.

Fuente: (Calderón Orellana Mario Fernando 2022)

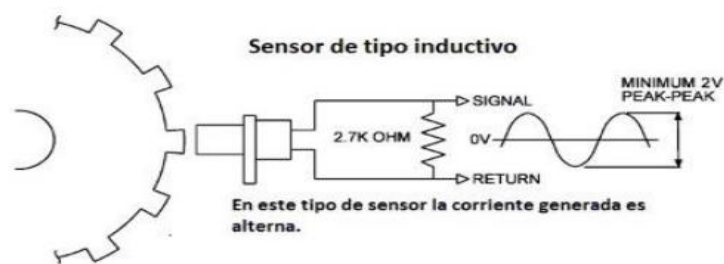


Ilustración 2-7: Sensor CKP de efecto inductivo.

Fuente:(Calderón Orellana Mario Fernando 2022)

2.2.4.2. Sensor de Posición del Árbol de levas

Conocido como sensor CMP (Camshaft Position Sensor), posibilita a la ECU conocer el PMS del primer piston. Su funcionamiento se basa en el efecto hall, similar al funcionamiento del sensor

del sensor CKP, con la diferencia que este sensor encuentra enfrentado a la corona dentada anclada al árbol de levas. (Godoy Gudiño Daniel Alejandro y Villamarin Flores Santiago Fidel 2016)

Es un sensor cuya señal se compara con la señal del sensor CKP para tener una mejor sincronización de la inyección de combustible y tiempo de encendido. (Calderón Orellana Mario Fernando 2022)

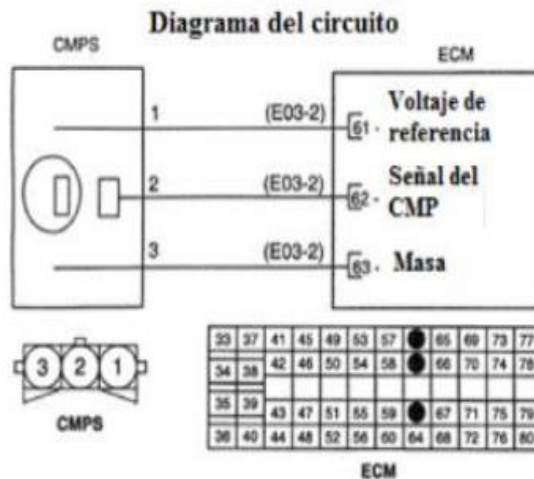


Ilustración 2-8: Diagrama del sensor CMP.

Fuente:(Calderón Orellana Mario Fernando 2022)

2.2.4.3. Sensor TPS (*Throttle Position Sensor*)

El sensor de posición de la mariposa de aceleración es el encargado de monitorear el ángulo de apertura de la aleta de aceleración, con el objetivo de permitir ajustar la mezcla A/F conforme la exigencia que el conductor requiera a través del pedal de aceleración. Se ubica en el cuerpo de aceleración unido a la mariposa de aceleración (Aguiar Zumba Kleber Jeovanny y Rojano Herrera Dennis Javier 2021).

2.2.4.4. Sensor de Oxígeno

También llamado sensor lambda, testea los gases producto de la combustión e informa a la ECU con el objetivo de que esta pueda corregir y ajustar la proporción de combustible con respecto al aire que ingresa a la cámara de combustión.

Se encuentra ubicado en el múltiple de escape antes y después del catalizador (Aguiar Zumba y Rojano Herrera 2021).

2.2.5. Actuadores

2.2.5.1. Inyector

Un inyector de un MCI, es un dispositivo que rocía una fina neblina de combustible en la cámara de combustión de un motor de encendido por chispa y por compresión. El inyector generalmente se encuentra en el colector de admisión o directamente en la cámara de combustión (Heywood 2018a, p. 26).

2.2.5.2. Bobina

Es un dispositivo que agrega la energía externa para encender este tipo de máquinas, convierte la electricidad de bajo voltaje de batería en alto voltaje, que funciona por el principio de transformador. Sus principales componentes son el bobinado primario, secundario y un núcleo de hierro (Heywood 2018a, p. 24).

2.2.5.3. Bujías

Una bujía es un dispositivo que enciende la mezcla A/F dentro de la cámara de interna de un MEP. Está constituido por un metal de electrodo central y uno lateral, está recubierta por un aislante cerámico, se encuentra encima de la culata (Heywood 2018a, p. 35).

2.2.5.4. Válvula IAC (*Idle Air Control*)

La válvula de control de aire, mediante modulación de ancho de pulso PWM, mantiene el motor en estado de ralentí permitiendo el paso de aire hacia la cámara de combustión, Cuando la aleta de aceleración está cerrada, el flujo de aire hacia la cámara de combustión se detiene.

2.2.6. Desempeño

El desempeño típico de estas máquinas alternativa es un rendimiento efectivo que varía según la aplicación y el tipo. Mencionando las utilizadas en máquinas de este tipo, sus valores máximos de rendimiento pueden llegar al 55% ((Payri y Desantes 2011, p. 25) en un motor térmico que utiliza combustible líquido. Sin embargo, tiene la ventaja sobre otros motores su rendimiento permanece constante a medida que cambia la velocidad y la carga del tren motriz. Siendo los parámetros de medición el torque y potencia, que describen que tan eficazmente el MCI puede convertir el combustible en trabajo y fuerza de torsión, que se puede aplicar a las ruedas. La relación entre el

par y la potencia no es lineal, mientras la velocidad de giro del cigüeñal aumenta la potencia y disminuye el esfuerzo de torsión.

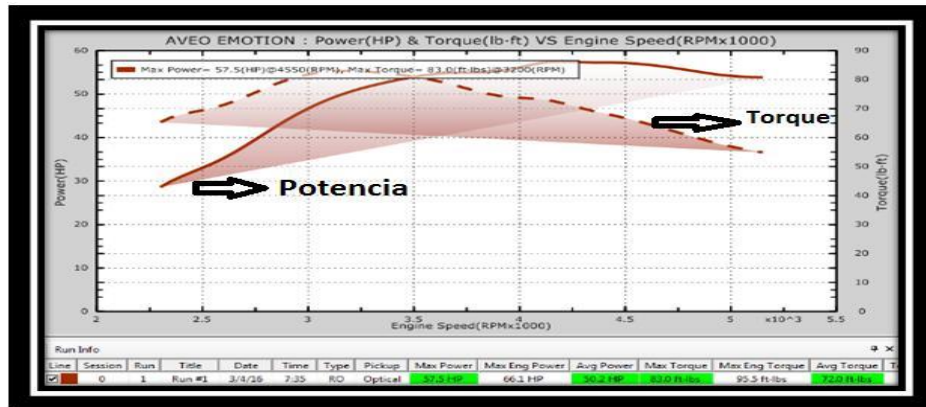


Ilustración 2-9: Gráficas de Desempeño curvas torque y potencia Aveo emotio

Fuente:(Loor Miño y Loor Miño 2016)

2.2.7. Parámetros efectivos e indicados

Las particularidades de desempeño y emisiones de un MCIA es su lugar de trabajo. Tanto la potencia y el torque son condiciones que ocurre en la cabeza del pistón que ejercen un movimiento que se tramite al eje del motor, bajo estas condiciones del lugar donde se las mida, se contempla que son parámetro indicados como en la camara de combustión y los parámetros efectivos se considera lo que se dispone en el eje (Payri & Desantes 2011, p. 44-45).

2.2.7.1. Trabajo Indicado

El trabajo indicado es una medida de la trasferencia de energía durante el proceso de combustión. El trabajo puede ascender si aumenta la presión dentro del cilindro y el volumen, la duración de carrera de expansión.

La estimación del trabajo que ocurre en el interior del MEP, es la integral del lapso de alta presión entre los PMI en admisión y escape (Payri & Desantes 2011, pp. 58-59).

$$W = \int_{PMI \text{ admisión}}^{PMI \text{ escape}} p \, dv$$

Donde:

W es el trabajo realizado,

P es la fuerza producida en el pistón,

PI es la presión indicada en ese instante

dv es la distancia recorrida en el cilindro siendo la variación de volumen

2.2.7.2. *Potencia indicada.*

La potencia mecánica es el trabajo ejercido por la combustión sobre el pistón y en términos teóricos es la velocidad a la que el motor pueda realizar un trabajo en un tiempo determinado y se puede medir en Caballo de fuerza (HP) o en vatios (W). (Carreras et al. 2005).

$$N_i = \frac{W_i}{t \text{ ciclo}} [\text{watts}]$$

Donde N_i es la potencia medida en el cilindro, W_i siendo el trabajo que se obtiene de una medición dentro de la cámara de combustible y t ciclo es la fracción del 120 sobre las revoluciones por minuto

2.2.7.3. *Torque indicado.*

En un motor de combustión interna, el par es la fuerza de rotación que ejerce el pistón sobre el cigüeñal. Su nomenclatura es Libras fuerza-pies (Lb ft) o Newton-metros (Nm). Cuanto más par tiene un motor, puede impulsar al automóvil con más carga. (Colin R. Ferguson Allan T. Kirkpatrick 2016c). El par del motor se mide normalmente con un dinamómetro de motor que obtiene valores directamente del cigüeñal lo cual las pérdidas por transmisión y diferencial no se tiene en cuenta, a diferencia del efectivo con el indicado es que toma en cuenta las pérdidas, para la obtención de datos más precisa en el cilindro.

$$T = \frac{N_i}{\omega} [N.m]$$

Donde T es el esfuerzo torsional medido en la cámara de combustión, N_i es la potencia indicada en wattios y ω es la velocidad angular del motor en rad/s.

2.2.7.4. *Presión media efectiva*

La presión efectiva media (MEP) es una medida de la presión que, se aplica uniformemente sobre toda la cara del pistón durante la carrera de potencia, generaría la misma cantidad de trabajo que se realiza realmente durante el ciclo. Es una forma de medir el aprovechamiento de la energía de los gases de un motor de combustión interna (López Sánchez et al. 2013, p. 25)

$$pme = \frac{Wi}{Vt} [bar]$$

Donde w es el trabajo indicado, Vt es el volumen de los 4 cilindros en metro cúbicos

2.2.7.5. Consumo de combustible

En un vehículo es la cantidad de combustible que se utiliza para moverse, afectado directamente al costo operativo, se lo puede medir en litro por kilómetro (l/Km) o en kilogramos por kilovatio hora (kg/Kw h)

$$CFuel = \frac{mf * \omega}{Wi} \left[\frac{g}{kWh} \right]$$

Donde sfc es el consumo de combustible mf es el gasto masivo de combustible en (g/s), ω siendo velocidad angular rad/s y el Wi el trabajo total indicado en (kWh)

2.2.7.6. Consumo de combustible especifico.

El combustible gastado de los motores no se aprovecha en su totalidad; en cambio, una fracción de ello se utiliza para impulsar mecánicamente al MCI, el resto se disipa en forma de calor a través de las paredes del cilindro y los gases de escape. Siendo el consumo especifico un valor característico de los MCI y se expresa en gramos de combustible necesarios para producir una unidad de potencia en kW por tiempo y es una forma de expresar el rendimiento del motor, por razones históricas se define el rendimiento como consumo especifico. (Payri y Desantes 2011, p. 64-67)

$$Ne = sfs = \frac{Wi}{mf * PC * \omega} [g/kWh]$$

Donde sfc es el consumo específico de combustible mf es el gasto masico de combustible en (g/s) y PC poder calorífico de la gasolina en (kJ/kg), ω siendo velocidad angular rad/s y el Wi el trabajo total indicado en (J)

2.2.7.7. Perdidas mecánicas

Durante la combustión se libera energía, pero parte de ella no se aprovecha en su totalidad. Se pierde en tanta forma como calor en las paredes de su entorno, por fricción en las partes móviles

como pistones, cigüeñales y válvulas. Por las pérdidas por bombeo cuando se necesita recircular aire y dirigir los gases de escape fuera de la cámara de combustión y la combustión incompleta no toda la gasolina se quema por completo (Payri & Desantes 2011, p. 152).

Sin la suma de estos perjuicios del motor se lo denominaría el trabajo indicado que sería la cantidad máxima teórica. Pero en la práctica estos casos nunca ocurren por lo que la cantidad real producida por el motor se llama trabajo efectivo.

2.2.8. Combustibles

Tanto la gasolina como el diésel están hechos de petróleo, un combustible fósil hecho de restos de plantas y animales antiguos. Este tipo de compuesto es una mezcla compleja de hidrocarburos, moléculas compuestas de carbono e hidrogeno.

El petróleo es un combustible relativamente barato y abundante, por lo que se utiliza para impulsar la mayoría de los vehículos. Sin embargo, el petróleo también es un recurso no renovable, lo que significa que eventualmente se agotará. Además, la quema de petróleo libera gases de efecto invernadero a la atmósfera, que contribuyen al cambio climático (Colin R. Ferguson Allan T. Kirkpatrick 2016c, p. 262-269).

Dependiendo de su estado de fase se pueden clasificar en sólidos, líquidos y gaseosos, para el caso del motor de encendido provocado en su mayoría en el estado líquido.

Tabla 2-2: Clasificación de los combustibles en estado liquido

LIQUIDOS	ALCOHOLES	Natural (fermento e hidrolisis)
		Artificiales
	RESIDUALES	Lejías negras
	DERIVADOS DEL PETROLEO	Gasolina
		Diesel

Fuente:(Ricardo García 2001, p. 12).

2.2.8.1. Gasolina

La gasolina sigue siendo el principal combustible del último siglo, gracias a su costo relativamente bajo y su poder calorífico alto. Consiste en una mezcla de hidrocarburos destilados incluyendo parafinas, olefinas, naftenos y aromáticos. La relación de hidrógeno a carbono está entre 1,6 y 2,4. La fórmula general que caracteriza a la gasolina es C_8H_{18} con un peso molecular de 114,23 g/mol (Colin R. Ferguson Allan T. Kirkpatrick 2016, p. 269).

2.2.8.2. Octanaje

A diferencia del diésel que posee una medida de cetano que nos indica el grado de inflamabilidad del combustible ante la compresión del fluido. En la gasolina se mide la resistencia de detonación ante la compresión dentro del interior del motor antes de encenderse prematuramente. Por lo que las gasolinas con mayor octanaje son más resistentes a una explosión no controlada, por lo que se puede usar en vehículos motorizados con relaciones de compresiones más altas. Este tipo de valor se puede medir esta característica con dos métodos (Darquea 2018, p. 26).

2.2.8.3. RON (Research Octane Number)

El número de octanos investigados que se lo determina en pruebas de laboratorio controladas a bajos regimos que simulan las condiciones en el motor (Darquea 2018, p. 26).

2.2.8.4. MON (Motor Octane Number)

El número de octano prueba a distintos regímenes para describir el comportamiento del combustible en el MEP (Darquea 2018, p. 26).

2.2.9. Gasolinas comercializadas en el mercado ecuatoriano

En el país se comercializan a precios internacionales 2 tipos de gasolinas, la extra y super premium, con sus mezclas de extra más etanol dando la existencia de la Eco-país y Eco-plus con la variante de la cantidad porcentual de biocombustible para su elevación de RON (EP Petroecuador 2023).

2.2.9.1. Extra

El combustible con menor índice de octanaje de 85 RON con 650 ppm de azufre está regulado por la norma INEN 935:2021 regula sus requisitos (ministro Id. C., p. 3).

2.2.9.2. Eco-plus

Al igual que la gasolina Eco país, con una mezcla de extra del 92% más etanol al 8% elevando su octanaje de 89,2 RON, (EP Petroecuador socializó el plan piloto para la implementación de las nuevas gasolinas

Eco Plus 89 octanos y Súper Premium 95 octanos – EP PETROECUADOR 2022) con 650 ppm de azufre, ofreciendo al usuario de vehículo una opción de mejor combustible (ministro Id. C., p. 3).

2.2.9.3. Super Premium

La súpente de la super de 92 RON por una con 95 RON, se lo realiza esta sustitución para implementar al país en parámetros de calidad con respecto a Latinoamérica (EP Petroecuador socializó el plan piloto para la implementación de las nuevas gasolinas Eco Plus 89 octanos y Súper Premium 95 octanos – EP PETROECUADOR 2022), con partículas de azufre de 300 ppm. (ministro Id. C., p. 3).

2.2.10. Emisiones

El producto de realizar el cambio de energía almacenada en el combustible para generar un trabajo, pero no es el único subproducto que ocurre dentro de la cámara de combustible, sino también los gases por la quema de combustible que pueden afectar al medioambiente y la salud. Entre ellos, los contaminantes principales monóxido de carbono (CO), es un gas incoloro e inodoro que se produce cuando la combustión es incompleta, los hidrocarburos (HC) son comburentes no quemados que contribuyen a la contaminación del aire, los óxidos de nitrógeno (NO_x) se forma cuando el nitrógeno y el oxígeno del aire reacciona a altas temperatura y los inofensivos el nitrógeno (N_2), oxígeno (O_2), agua (H_2O), dióxido de carbono (CO_2) (Llanes Cedeño et al. 2018, p. 2). Las concentraciones de emisión de gases en el escape del motor se miden generalmente en partes por millón o porcentaje de volumen (fracción molar). Sin embargo, los indicadores estándar de los niveles de emisión son más útiles.

Estos gases como los hidrocarburos HC , óxidos de nitrógeno NO_x , monóxido de carbono CO , dióxido de carbono CO_2 y otras emisiones de motores de combustión interna están sujetas a regulación.

Las emisiones específicas se las describe como la unidad de flujo masivo de emisiones sobre la potencia

$$BSNO_x = \frac{\dot{m}_{NO_x}}{W_b} \quad [g/kWh]$$

2.2.11. Mapas de motor

Los mapas de motor son parte importante para la comprensión del rendimiento en términos de eficiencia, relacionan a los factores de consumo específico de combustible y emisiones, con la velocidad y carga del motor. Representa zonas de operación del motor, utilizando las revoluciones del MCI, la presión media efectiva o el torque y el consumo específico de combustible.

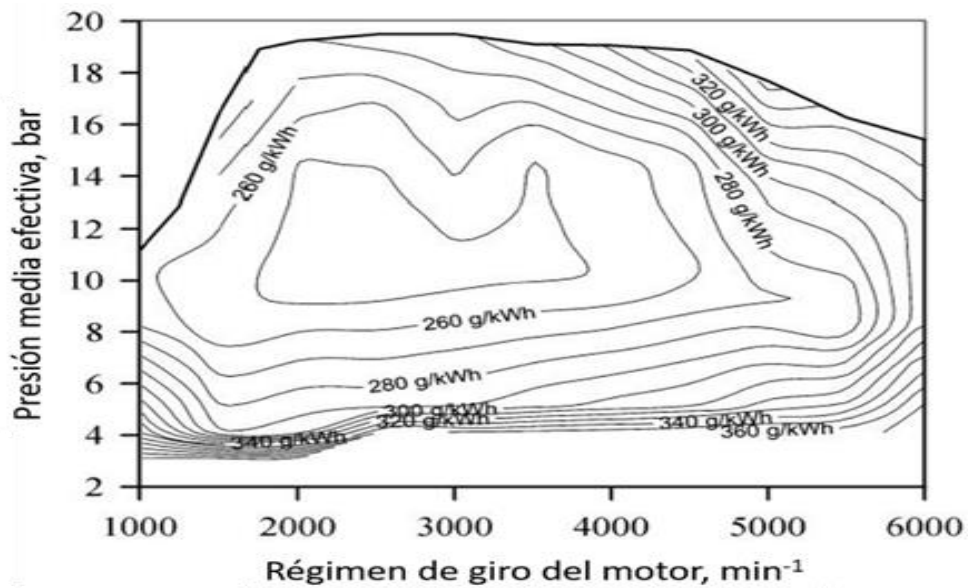


Ilustración 2-10: Curvas de consumo de un motor MEP sobrealimentado

Fuente: (Payri y Desantes 2011b, p. 69).

2.2.11.1. Mapa de consumo específico de combustible

Para la generación se utilizan dinamómetros, donde se varían las revoluciones y la carga del motor mientras se mide el consumo de combustible y se calcula PME. El BSFS por lo general se representa en dos dimensiones, donde se enfoca el rendimiento en relación del consumo (Andrés López 2022, p. 45).

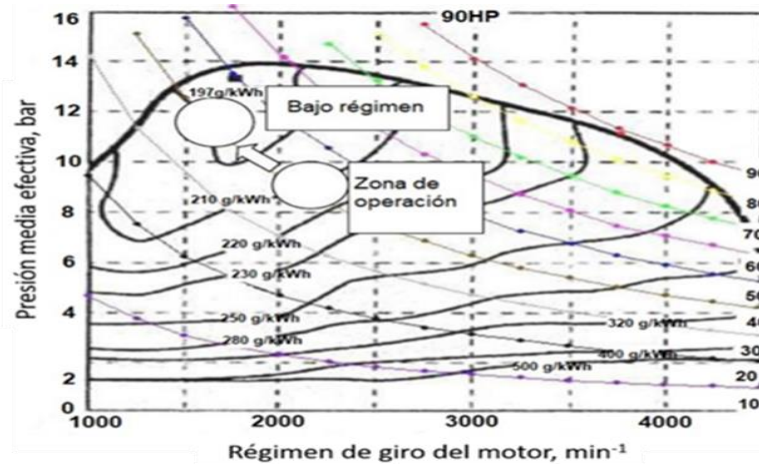


Ilustración 2-11: Mapa de consumo de combustible

Fuente: (Andrés López 2022)

Esta figura muestra la gráfica de un motor de encendido por chispa, donde a medida que disminuye el régimen del motor, el pme es mayor y se mantiene en la zona de mínimo consumo

2.2.12. Normativas que regulan la evaluación de torque, potencia y emisiones

En el Ecuador se ha adaptado a una serie de regulaciones y normas técnicas que regulan las mediciones de torque, potencia y emisiones en vehículos o motores. Las normas que regulan son esenciales a nivel nacional como internacional con el fin de garantizar la eficiencia de los motores, las reducciones de emisiones contaminantes y vehículos más seguros contra el medio ambiente. El uso de factores de corrección de dinamómetros es normalizar las mediciones de torque y potencia, de tal manera que los efectos de la presión atmosférica y la temperatura se eliminen de la lectura, con el fin de comparar el desempeño del motor probado por fabricante en un determinado lugar, con las tomadas a diferente altitud y temperatura.

2.2.12.1. SAE J1349

La sociedad de ingeniería automotriz (SAE), crea el modelo estándar J1349 para corregir las lecturas de potencia y par de torsión de forma tal que se asemejen a las condiciones del fabricante. La ecuación para el factor de corrección sugiere la siguiente ecuación para motores de encendido por chispa.

$$CF = 1,176 \left[\left(\frac{990}{P_b} \right) * \left(\frac{T_c + 273}{298} \right)^{0,5} \right] - 0,176$$

Donde:

Pb: es la presión atmosférica a la cual el motor está siendo probado.

Tc: es la temperatura ambiental a la cual el motor está siendo probado.

La norma recomienda para su aplicación un umbral de 900 a 1050 mb y la temperatura de 15 a 35 grados Celsius

2.2.12.2. *ISO 1585*

Norma internacional que especifica un método para probar la potencia de motores diseñados para vehículos automotores, sencillamente se utiliza para evaluar motores con el fin de presentar curvas de potencia a plena carga en función de revoluciones. Siendo que se puede estudiar motores de alternativos (encendido provocado, compresión y excluyendo a los de pistón libre). Una característica esencial de las pruebas de la norma es que se realizan sin la inclusión de accesorio auxiliares como compresor aire acondicionado, suspensión, frenos, bomba de dirección asistida. Esto permite evaluar al motor en su estado más fundamental evitando que estos componentes puedan influir en los resultados («ISO 1585:1992 - Vehículos de carretera. Código de prueba del motor. Potencia neta.» 1992, p. 8)

2.2.12.3. *Normativas de emisiones de gases*

Además de la potencia y torque, la norma también puede abordar las emisiones de gases contaminantes. Las regulaciones para análisis de gases varían según la jurisdicción. Sin embargo, la mayoría cuentan con reglas que garanticen, que la toma de datos sea precisa y confiables y estableciendo límites

2.2.12.4. *NTE INEN 2203*

Estable los mínimos requerimiento del sistema de escape para realizar ensayos de emisiones en el vehículo a gasolina en condiciones estáticas.

2.2.12.5. *NTE INEN 2204*

Esta norma establece los límites de emisiones de pruebas dinámicas y pruebas estáticas, permitidos por Fuentes móviles.

Tabla 2-3: Límites máximos permitidos para fuentes móviles con motor gasolina

Año Modelo	% CO		Ppm HC	
	0 a 1500 msnm	1500 a 3000 msnm	0 a 1500 msnm	1500 a 3000 msnm
200 y Posteriores	1	1	200	200
1990 a 1999	3,5	4,5	650	750
1989 y Anteriores	5,5	6,5	1000	1200

Fuente: («Normalización 2023» 2017, p. 5).

2.2.13. Equipos de medición

2.2.13.1. Dinamómetro

Estos dispositivos sirven para evaluar el desempeño de motor, toma valores de torque y potencia que son ejercicios en objeto giratorio. Pero todos estos equipos necesitan métodos para absorber las fuerzas que crea los motores, los frenos hidráulicos y los frenos de corrientes parasitas de Foucault son los más utilizados para disipar esa energía (Aguiar Zumba y Rojano Herrera 2021, p. 31) dependiendo del lugar donde se mida la fuerza existen una clasificación que se habla a continuación.

2.2.13.2. Dinamómetro de motores.

Se acopla al motor por el cigüeñal con un eje que transmita al equipo la fuerza que se mide por el banco de pruebas. Para la ejecución de evaluación en este tipo de dispositivo se requiere ciertos sistemas como de enfriamiento, eléctrico y de control combustible (Aguiar Zumba y Rojano Herrera 2021, p. 31).



Ilustración 2-12: Dinamómetro de motor

Fuente: (Hottinger Brüel & Kjaer GmbH)

2.2.13.3. *Dinamómetro de chasis*

También llamado de rodillos al contrario de anterior utiliza el vehículo en cuestión para la realización de medición de potencia y torque a la rueda, se monta encima de estos rodillos que está unida al equipo de absorción. (Aguiar Zumba y Rojano Herrera 2021, p. 32).

Este tipo de medición plantea una desventaja referente al motor, al realizar prueba directa al vehículo presenta pérdidas mecánicas de transmisión y diferencial afectando a los valores obtenidos, pero para brindar una solución es estimar valores de rendimientos del conjunto motriz para asemejar estos valores al dinamómetro de motor



Ilustración 2-13: Dinamómetro de chasis

Fuente: (Dyno Dynamics 2023)

2.2.14. *Equipo AVL*

El equipo de medición AVL, es un conjunto de sofisticados elementos diseñados para ejecutar análisis en lo que respecta al comportamiento del motor de combustión interna; su funcionamiento se basa en la obtención de datos a través de un transductor de características piezoeléctricas que se encuentra acoplado a una bujía, misma que encaja en el interior de cada cilindro; las mediciones realizadas son enviadas a una tarjeta de adquisición de datos mediante un cable de fibra óptica; a la par recibe constantemente información de un sensor CKP acoplado a una rueda dentada, la cual mide la velocidad del motor; esta señal es enviada a un acondicionador de pulso universal que interpreta la señal y la transfiere al equipo encargado de adquirir dichos datos. (Rudolf Pischinger 2002).

El equipo de adquisición de datos se conecta al ordenador mediante un cable ethernet y mediante un software específico del fabricante permite apreciar y configurar las mediciones que el usuario requiera; el equipo de medición AVL, es muy preciso en cuanto a mediciones, posee buena

estabilidad, sus mediciones no interfieren con la temperatura y su linealidad es muy buena. (Jonathan Patricio & Junior David 2022)

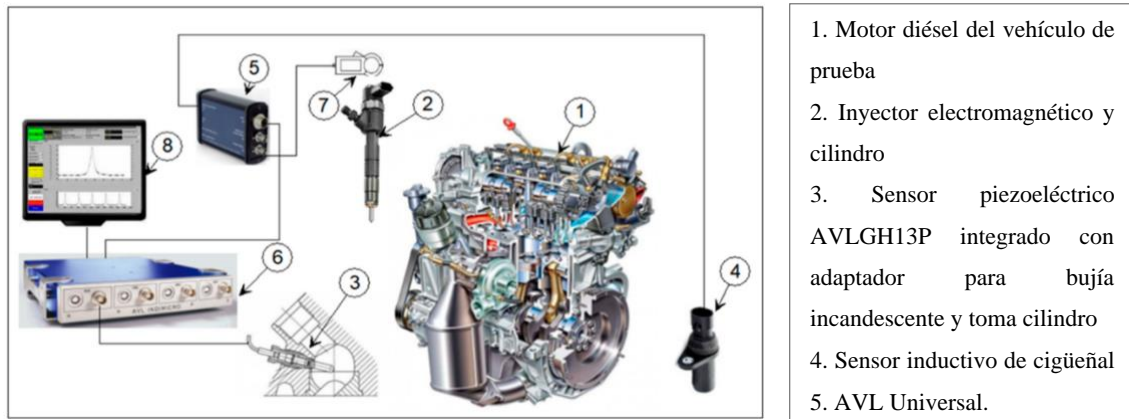


Ilustración 2-14: Diagrama de conexión AVL

Fuente: (Mujtaba et al. 2023).

2.2.15. Analizador de gases

Este tipo de herramienta ayuda a recolectar información de la concentración de residuos gaseosos producidas por el motor. Por lo general se ejecutan dos funciones comunes para vehículo, garantizar que cumpla estándares medioambientales y diagnóstico (Žaglinskis et al. 2013, p. 547). Entre los gases medidos monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), hidrocarburos (HC), oxígeno (O₂) y óxidos de nitrógeno (NOX).

2.2.15.1. Estudio estadístico

El estudio estadístico se emplea para estudiar un grupo sobre el cual se pretende adquirir información en particular, por ende, ofrecer una solución. Se influye en la toma de datos que más adelante serán analizados, comparados con el objetivo de hallar una respuesta (Rocío B. Mayorga-Poncea 2020, p. 94)

Estos valores deben ser validados u comparados por esta razón se deben realizar varias pruebas, en semejanza de condiciones con la meta de utilizar ecuaciones estadísticas de la media aritmética, varianza y desviación estándar

Media Aritmética:

$$x = \frac{\sum_{i=1}^n Xi}{N}$$

Varianza:

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - X)^2}{N}$$

Desviación Estándar

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - X)^2}{N}}$$

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

En el caso de estudio el desarrollo de la comparativo de desempeño y emisiones del motor de combustión interna con los tres combustibles con distinto octanaje. Las pruebas se realizaron en base a sus curvas características de torque, potencia, consumo y emisiones en un banco dinamómetro de motor en el laboratorio dentro de la institución.

3.2. Enfoque de la investigación.

El enfoque se tratará de una serie de pasos para el desarrollo del estudio, se utiliza un método experimental, hipotético-deductivo y cuantitativo, basándose en la recopilación de datos a través del tiempo que corresponde a la potencia, par motor, consumo de combustible, emisiones contaminantes generadas por el uso de combustible fósiles y comparar con la utilización de un análisis estadístico ANOVA.

3.3. Diseño de investigación

3.3.1. Manipulación de la variable independiente

En este proyecto, hemos optado por un enfoque de investigación experimental. Esto se debe a que estamos utilizando mediciones del rendimiento del motor, como el torque o par motor, la potencia, el consumo de combustible y emisiones contaminantes, obtenidas a través de pruebas controladas en un laboratorio. El objetivo es entender cómo se desarrolla la situación en estudio en condiciones específicas. (Taípe-Defaz et al. 2021, p. 19).

En el contexto de la formulación de hipótesis nulas y alternativas, adoptamos un enfoque de metodología hipotético-deductiva. Este método requiere la identificación de información específica que orientará la ejecución de pruebas de rendimiento y emisiones en el MEP (Motor de Encendido por Chispa) bajo condiciones controladas. Para llevar a cabo este proceso, manipulamos el índice de octanaje empleando tres tipos de gasolina, y ajustamos los voltajes mediante el dinamómetro Borgui y el Saveri AS200, con el propósito de gestionar la carga del motor.

Los resultados de esta investigación nos permiten proponer que un incremento en el índice de octanaje incide directamente en el rendimiento del motor, manifestando al mismo tiempo un

efecto inverso en las emisiones, dado que un índice de octanaje superior se traduce en una producción menor de gases contaminantes liberados.

El método cuantitativo se utilizará para el estudio por el motivo de evaluar al MEP, para lo consiguiente se medirá las funciones de la maquina motriz con la meta de recolectar datos en hojas de registro, el único equipo a medir pertenece a la universidad, que se dispone en el laboratorio de motores del vehículo marca Chevrolet modelo Aveo del 2012 de una cilindrada 1,6 Lt. Las pruebas se realizaron a 2700 msnm, con una presión atmosférica de 74 KPa.

3.3.1.1. Tipos e identificación de variables

Las variables son de tipo cuantitativo que son obtenidas por instrumentos de medida el dinamómetro, balanza y de residuos gaseosos.

3.3.1.2. Variable dependiente.

- Torque
- Potencia
- Consumo de combustible
- Emisiones (CO, CO2, NOX, HC, O2)
- Consumo específico de combustible

3.3.1.3. Variables independientes

- Gasolina de 85 RON
- Gasolina 89 RON
- Gasolina de 95 RON.
- Carga 100%
- Carga 50%

3.3.2. Intervenciones de campo

Las interacciones en el trabajo fueron longitudinales, por la implicación de una sola unidad de prueba, se comenzó con la recolección de los combustibles con variación del RON, reacondicionamiento del motor, introducción a los equipos de medición y mantenimiento. Una vez se realicen los anteriores pasos se puede comenzar con las pruebas en diferentes condiciones.

3.4. Tipo de estudio

El trabajo es documental donde se investigó artículos y libros referente al tema de estudio, para determinar las variables y condiciones del motor para evaluar su desempeño y emisiones

El estudio es de campo dado que se intervino en las variables independientes, por el cambio intencionalmente del octanaje del combustible y la carga de motor, con el fin de obtener los efectos en el desempeño, emisiones, teniendo más control sobre las variables dependientes para posteriormente recolectar información para su análisis.

3.5. Población y planificación.

3.5.1. Población de estudio.

La población de investigación en este caso es el conjunto de combustibles (gasolina) de mayor venta en el país y una de venta limitada a la zona costera. La unidad de prueba es el motor 1,6 cc del vehículo AVEO marca Chevrolet.

3.5.2. Planificación.

En la etapa de planificación, se establecerán el porcentaje y nivel tanto de error y de confianza respectivamente para el estudio estadístico. Estableciendo estas restricciones, el nivel de confianza es del 95% y el porcentaje de error es del 5%.

Las pruebas de desempeño del motor se realizarán en condiciones similares a las de los centros especializados de medición de motores. Las pruebas medirán el torque, la potencia, las emisiones y el consumo de combustible. Los regímenes de revoluciones del motor se extenderán hasta 5500 rpm, lo que permitirá evaluar el comportamiento de los combustibles en todo el rango de revoluciones por minuto donde opera el motor.

3.5.3. Selección de las muestras para el estudio estadístico ANOVA

Mediante la manipulación de este procedimiento estadístico, es posible simular y controlar la variabilidad del efecto estudiado y su proximidad, y equilibrar la calidad de uno o más valores, utilizando métodos que comparan diferentes niveles de factores, permitiendo así determinar si los datos obtenidos siguen correlacionados o son significativamente diferentes, es importante tener en cuenta que este tipo de análisis se realiza porque tiene un nivel de confianza del 95% para los resultados (Minitab, 2019).

Tabla 3-1: Ensayos previos para el análisis estadístico

Combustible	Carga de motor 100%	Carga de motor 50 %
Extra (RON 85)	10 pruebas	10 pruebas
Eco-Plus (RON 89)	10 pruebas	10 pruebas
Super (RON 95)	10 pruebas	10 pruebas

Realizado por: Vera, D. & Arias, J., 2023.

3.6. Materiales y métodos.

Para realizar las mediciones se necesitará la utilización de varios herramientas y materiales, los cuales al realizar una puesta a punto se puede obtener datos y resultados confiables.

En el estudio se utilizaron los siguientes materiales y equipos.

- Combustible de prueba: extra 85 RON, ecoplus 89 RON, super 95 RON.
- Vehículo Aveo 1.6 Lt. 4x2 4P TM
- Motor Aveo 1.6 Lt relación de compresión 9,1:1
- Deposito externo de combustible, balanza gravimétrica
- Dinamómetro de motor Borgi & saveri FS200
- Equipo de medición AVL
- Analizador de gases Maha 6.3

3.6.1. Combustibles de pruebas

Para la ejecución de las respectivas pruebas se procedió con la obtención de las tres gasolinas, dos de ellas comercializadas en la sierra ecuatoriana (extra 85 RON y super 95 RON) y una comercializada en la costa ecuatoriana (ecoplus 89 RON).



Ilustración 3-1: Gasolina Extra

Realizado por: Vera, D. & Arias, J., 2023.

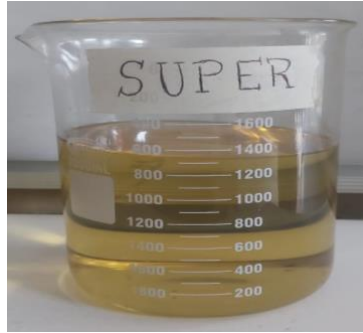


Ilustración 3-2: Gasolina Super

Realizado por: Vera, D. & Arias, J., 2023.

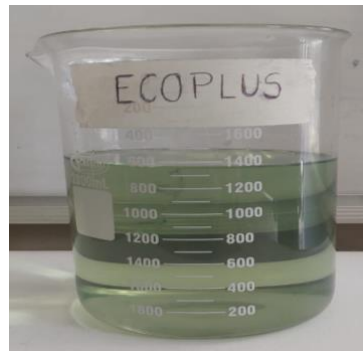


Ilustración 3-3: Gasolina Ecoplus

Realizado por: Vera, D. & Arias, J., 2023.

3.6.2. Unidad de prueba

El equipo para medir este trabajo es único, perteneciente a la universidad mediante una donación, el cual se encuentra disponible en el laboratorio de motores, el MEP del vehículo marca Chevrolet modelo Aveo del 2012 de una cilindrada 1600 cc.

Tabla 3-2: Datos técnicos del motor

Marca	Chevrolet
Modelo	Aveo
Motor	1.6l 16V (106 CV)
Potencia máxima	106 CV @ 5800 rpm
Par máximo	145 Nm @ 3600 rpm
Número de cilindros	4
Distribución	DOHC
Combustible	Gasolina

Fuente: Auto-Data.net 2012.

3.6.3. Método gravimétrico de medición de consumo de combustible

El método gravimétrico es una forma sencilla de medir el consumo de combustible. Se basa en el principio de que la masa de combustible gastado es igual a la diferencia entre la masa de combustible en el tanque antes y después de la prueba. A través de un sensor de presión en la base de la balanza, se detectan pequeñas diferencias que son traducidas por un Arduino, lo que facilita tanto la visualización como el almacenamiento de los datos de variación de combustible.

Para este caso de las pruebas en el banco se utilizaron adaptaciones en el recipiente, la bomba y las mangueras externas con el objetivo de que el cambio de combustible resulte más sencillo, evitando desperdicios y facilitando la limpieza del combustible sobrante. La aplicación de un recipiente transparente permitió un repostaje constante cuando las pruebas lo requirieron. Como se muestra en la Imagen: 17-3

Tabla 3-3: Características técnicas de la balanza gravimétrica de combustible

Nombre	Descripción
Balanza gravimétrica	Sensor de presión
Fuente de alimentación	5 V
Tarjeta Arduino	Nano
Computadora	CPU, laptop
Recipiente	2 litros
Bomba externa	Bosch de 4 bares
Almacenamiento	Tarjeta micro sd

Realizado por: Vera.D, & Arias.J., 2023.

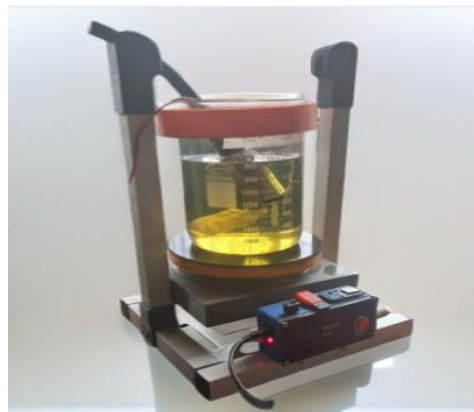


Ilustración 3-4: Recipiente externo

Realizado por: Vera, D. & Arias, J., 2023.

Para realizar una prueba de consumo de combustible por peso, normalmente se realiza el siguiente procedimiento:

- 1) Proporcione de suficiente combustible al depósito a un nivel considerable.
- 2) Arranque el motor y hágalo funcionar bajo una carga controlada.
- 3) Encender el arduino para recolectar datos en una tarjeta de memoria
- 4) Calcule el consumo de combustible para cada revolución especificase utiliza la información almacenada en un microSD, para obtener el valor de masa, se realiza una diferencia entre el valor máximo y mínimo durante las pruebas de 10 segundos

3.6.4. Dinamómetro de motor Borghi & Saveri FA200.

Esta herramienta de medición funciona por corrientes parasitas; fabricado en Italia posee una potencia de 100Kw, que por el convenio de la EPOCH-ITALIA (208), forma parte del laboratorio de motores. Este dinamómetro fue rehabilitado y repotenciado, se utilizará para obtener datos de torque y potencia de la unidad experimental. (Iván Patricio Cusanguá Arevalo y Carlos Fabián Asqui Calero 2021, p. 23)

Tabla 3-4: Lista de equipos utilizados

Nombre	Descripción
Dinamómetro Borghi & Saveri	Potencia de 100 Kw
Tarjeta de adquisición de datos	DAQ 6009 NI (National Instruments)
Fuente de voltaje	12V, 30 ^a
Sensor de humedad	DHT11 Temperatura y humedad
Electroválvula	12 V
Computadora portátil	HP, 13 Windows 10 home 64
Software de programación	LABVIEW
Sensor de carga HX711	50 kg de capacidad
Tarjeta Arduino	Nano

Fuente: (Iván Patricio Cusanguá Arevalo y Carlos Fabián Asqui Calero 2021).

3.6.4.1. Procedimiento para medición

El dinamómetro para su activación utiliza una fuente de voltaje de corriente continua, para establecer la carga con la cual se realiza la prueba; esta fuente debe ser fijada en 8 V para que el equipo realice las mediciones correctamente.



Ilustración 3-5: Dinamómetro de FA 200, Motor Aveo 1,6 L

Realizado por: Vera, D. & Arias, J., 2023.

- 1) Verificar que las condiciones de temperatura para funcionar sean normales en el motor.
- 2) Activar el dinamómetro con la carga preestablecida mediante la configuración de la fuente de voltaje.
- 3) Acelerar progresivamente hasta un aproximado de 5500 rpm, a partir de un estado de ralentí y realizar la toma de datos.
- 4) Desacelerar paulatinamente el motor, regresando al estado de ralentí inicial.

3.6.5. Equipo de medición “AVL Ditest for analysis combustion”

El presente equipo mide la presión que se produce al interior del cilindro; esto se logra mediante un sensor piezoeléctrico anclado a una bujía; es así como el sensor envía señales eléctricas correspondientes a los golpeteos producidos en el interior del cilindro hacia una tarjeta de adquisición de datos mediante una conexión por cable de fibra óptica; esta tarjeta de adquisición de datos se encarga de interpretarlos y generar una gráfica de presión vs volumen.



Ilustración 3-6: Equipo de medición AVL Ditest for analysis combustion

Realizado por: Vera, D. & Arias, J., 2023.

3.6.5.1. Procedimiento para medición

Antes de proceder con la medición, el equipo necesita ser configurado en el software para que este pueda reconocer a las bujías piezoeléctricas, estos sensores cuentan con una codificación propia de identificación esto con el fin de que la tarjeta de adquisición de datos pueda interpretar estos valores correctamente.

- 1) Colocar correctamente el sensor piezoeléctrico con su respectivo acople para el motor.
- 2) Asegurarse que los valores de temperatura de funcionamiento sean normales.
- 3) Revisar que la comunicación entre los elementos que conforman el “AVL Ditest for analysis combustion” sea óptima.
- 4) Asegurarse que el sensor de rpm esté bien conectado y emita señal correctamente al acondicionador de pulsos universal.
- 5) Realizar una aceleración progresiva cada 500 rpm manteniendo estable durante 10 segundos para estabilizar al motor, obteniendo revoluciones puntuales de estudio.
- 6) Adquisición de datos de volumen vs presión se realiza cada 500 rpm hasta 5500 rpm.
- 7) Los datos son exportados en formato (.txt) y será necesaria la creación de una carpeta para su almacenamiento.
- 8) Para cada análisis reiniciar la adquisición de datos y esperar que el número de ciclos de cumpla antes de exportar los datos.

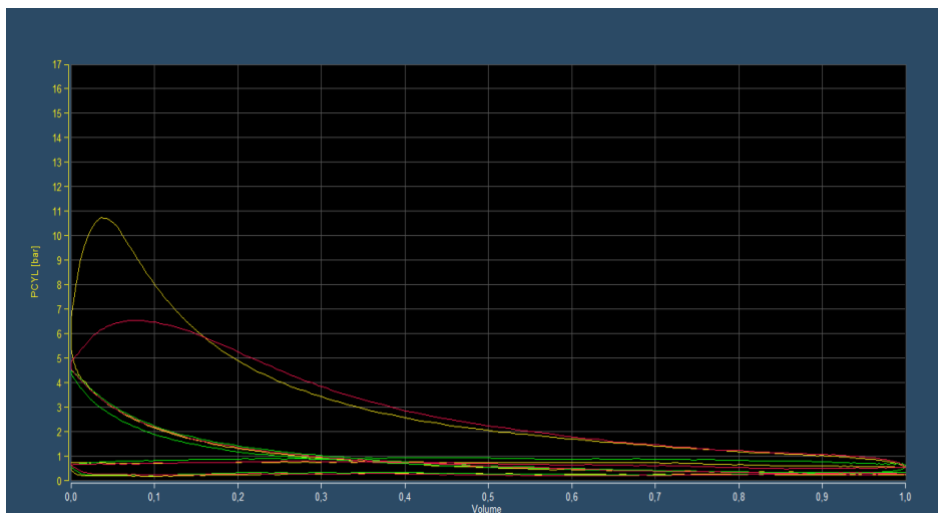


Ilustración 3-7: Curva de presión vs volumen representada en el software Indicom

Realizado por: Vera, D. & Arias, J., 2023

3.6.6. Analizador de gases MAHA MET 6.3

El analizador de gases permite medir el valor de las emisiones emitidas por el motor, esta información puede compararse posteriormente. Este instrumento es una pieza necesaria en la realización de la investigación, ya que proporciona datos para la variable de estudio. Se debe tener en cuenta que este dispositivo ha sido calibrado y operado en condiciones óptimas de funcionamiento del motor.

Mediante un sensor de infrarrojo mide 5 gases producidos por el motor, cuenta con pantalla de visualización de información y puertos de conexión vía ethernet para la interfaz de almacenamiento de datos Emission viewer.

- Monóxido de carbono (CO)
- Hidrocarburos no quemados (HC)
- Óxidos de nitrógeno (NO_x)
- Dióxido de carbono (CO₂)
- Oxígeno (O₂)

Tabla 3-5: Precisión de medición de datos y resolución del analizador de gases MAHA MET 6.3

Componentes para medir	CO	CO ₂	HC	O ₂	NO _x
Rango de medición	0-15,0% (vol.)	0-20,0% (vol.)	0-2000 ppm (hexano, vol.) 0-4000 ppm (propano, vol.)	0-25,0% (vol.)	0-5000 ppm (vol.)
Precisión de medición	0,03% (vol.)	0,05% (vol.)	10 ppm (vol.)	0,1% (vol.)	32-120 ppm (vol.)
Rango de error de medición	0,001% (vol.)	0,01% (vol.)	10 ppm (vol.)	0,01% (vol.)	1 ppm (vol.)
Principio de medición	Rayos infrarrojos	Rayos infrarrojos	Rayos infrarrojos	Electroquímica	Electroquímica
Valor lambda	Rango de presentación 0,5-9,999/div. Capaz:0,001/calculado basado en Brettscneider				

Fuente: (Zaglinskis et al. 2013, p. 547).

3.6.6.1. Procedimiento de pruebas de gases

Las pruebas se realizarán en 10 estados de regímenes de motor en 1000 rpm hasta 5500 rpm, con un tiempo de 10 segundos para mantenerlo estable en una velocidad de motor específica, con 10 tomas de datos para su posterior tratamiento.



Ilustración 3-8: Analizador de gases MAHA MET 6.3

Realizado por: Vera, D. & Arias, J., 2023.

Pasos para medición:

- 1) Asegurarse que la temperatura de funcionamiento del automóvil esté dentro de los rangos aceptables.
- 2) Revisar que no exista la presencia de grietas en el conjunto del sistema de escape o modificaciones al diseño original.
- 3) Procurar que la sonda de medición se encuentre limpia e introducirla en el tubo de escape de manera que esta se sujete fijamente, caso contrario podría existir una mala toma de mediciones.
- 4) Realizar la toma de mediciones en un estado de estabilidad de la revolución del motor durante 10 segundos
- 5) Para la obtención de un solo valor de emisiones en las revoluciones específicas se promedia de los 10 segundos de medición mientras se estabiliza las rev/min del motor.

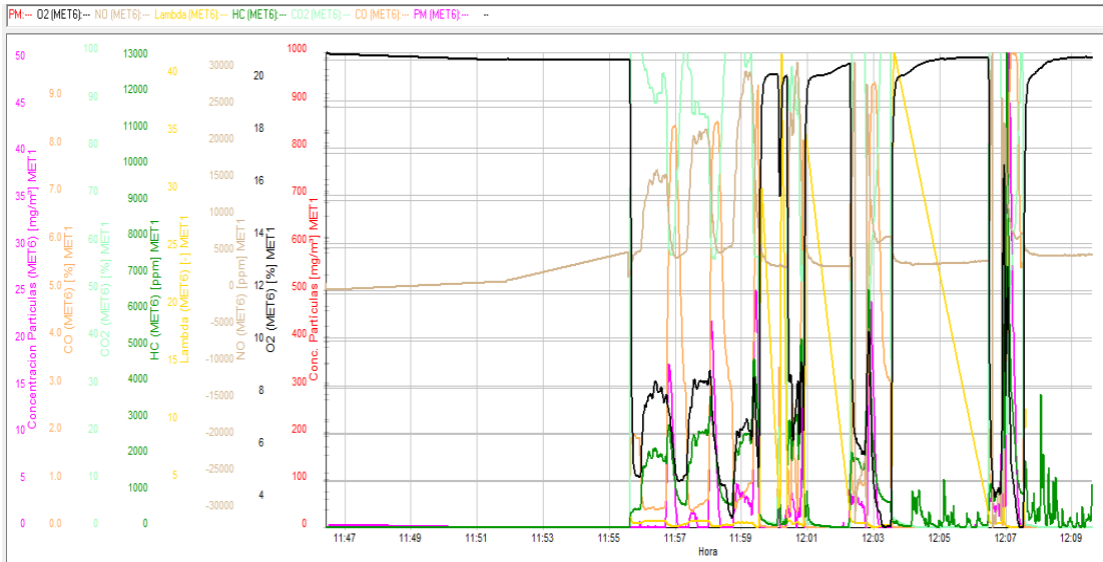


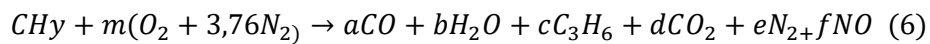
Ilustración 3-9: Visualización de Emisión Viewer

Realizado por: Vera, D. & Arias, J., 2023.

3.6.7. Análisis de factores de emisiones de gases contaminantes

Los valores de concentración producidos por un motor se expresan en porcentaje de volumen (% V). Es necesario conocer la concentración de los gases, teniendo en cuenta el importante factor de consumo de combustible para calcular los gramos de contaminantes que se emiten durante los ensayos.

Según la Norma INE 2203, "el sistema de conductos de los gases provenientes del múltiple de escape no debe presentar ningún tipo de fugas". Estos productos se expresan en la ecuación, donde las letras a, b, c, d, e, f y m son coeficientes que representan el coeficiente que se desea estimar en moles de consumo de combustible. Al desarrollar el balance respecto a la cantidad de carbono, debido a la combustión se obtienen productos como CO₂, CO y HC.



Siendo y de combustible n g/s, así los coeficientes de la ecuación 6 se simplifican, Dando como resultado fórmulas de cada componente químico. Como la tabla 6-3

Tabla 3-6: Fórmulas para cada componente químico presente en la combustión.

Carbono:	$1 = a + 3c + d$ [7]
Hidrogeno:	$y = 2b + 6c$ [8]

Oxígeno:	$2m = a + b + 2d + f$ [9]
Nitrógeno:	$7,52 = 2e + f$ [10]

Realizado por: Vera, D. & Arias, J., 2023.

Para el caso de la gasolina C_8H_{18} , el cálculo de la estimación de CO_2 , se utiliza el peso molecular de las sustancias que intervienen en la reacción química

$$\text{Estimación de } CO_2 = \frac{\text{Tasa de consumo} \left(\frac{g}{s}\right) * PM_{CO_2}}{PM_{C_8H_{18}}} \quad [11]$$

3.6.8. Cálculos de torque y potencia indicados a través de los datos de Volumen vs Presión.

Los datos de volumen frente a presión de un motor se pueden utilizar para analizar el par y la potencia del motor. Estas curvas de rendimiento del motor se pueden calcular a diferentes volúmenes y velocidades de rotación. La información puede ser empleada en la creación de un mapa de desempeño del motor en función a las revoluciones.

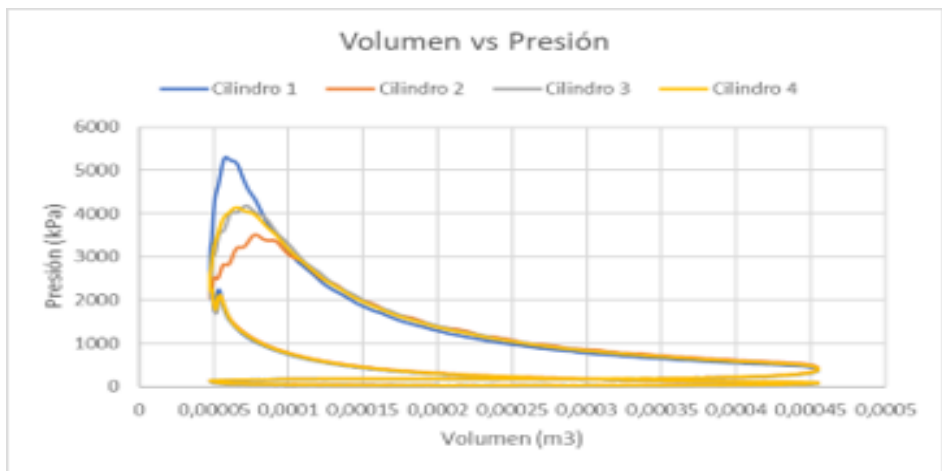


Ilustración 3-10: Visualización del ciclo de trabajo real de los 4 cilindros

Realizado por: Vera, D. & Arias, J., 2023.

El mapa de par y potencia de un motor es un gráfico que se obtiene a través de la gráfica 23-3, que muestra el trabajo del ciclo Otto. Al sumar todos los trabajos esos en todos los puntos de la gráfica, se puede calcular un trabajo total para su posterior análisis.

Para crear el mapa de potencia y par, se utilizan estos trabajos indicados en diferentes revoluciones del motor. Las ecuaciones utilizadas son las siguientes, mostradas en la tabla 6-3:

Tabla 3-7: Ecuaciones utilizadas para calcular la potencia y el torque.

Parámetro	Formula
Trabajo instantáneo	$W_{insta} = \Delta Volm * Presión[kPa] * 1000[J]$ [12]
Trabajo neto	$W_{neta} = W_{insta} + \dots + W_{insta720} [J]$ [13]
Trabajo total	$W_{total} = W_{neto 1} + W_{neto 2} + W_{neto 3} + W_{neto 4} [J]$ [14]
Tiempo del ciclo	$t_c = \frac{120}{rpm} [s]$ [15]
Velocidad angular	$\omega = \frac{rpm * \pi}{60} [rad/s]$ [16]
Potencia Indicada	$N = \frac{W_{total}}{t_c} [watts]$ [17]
Torque Indicado	$T = \frac{N}{\omega} [N.m]$ [18]

Realizado por: Vera, D. & Arias, J., 2023.

3.6.9. Simulación de mapas de motor.

Para generar estos mapas, se parte de la información de consumo específico de combustible. Estos valores se obtienen a partir del trabajo indicado, los cuales se determinan a través del equipo AVL. Con los datos calculados, PME representa la presión constante que ocurre durante la carrera del proceso de expansión.

Los datos recopilados se utilizan para la construcción de mapas de BSFC (gramos por kilovatio-hora) y emisiones (gramos por kilovatio-hora). Se utiliza el software Minital19 para crear gráficos de contorno mediante el método de interpolación polinomial Akima.

Se debe considerar un procedimiento específico para el desarrollo del mapa:

1. El eje de la x (RPM): Representa la velocidad del motor en revoluciones por minuto, siendo un factor crítico para el rendimiento, ya que afectan la velocidad de giro y por lo tanto la cantidad de trabajo realizado en un periodo de tiempo
2. El eje de la y (PME): La presión media efectiva en bares es una medida que está relacionada con la cantidad de trabajo que el motor puede extraer de una cantidad dada de combustible. A medida que aumenta las PME el rendimiento tiende a mejor o consumir menos

3. El eje z (BSFS): El consumo específico de combustible en gramos por kilovatio hora. Es cuanto combustible se necesita para generar una cierta cantidad de energía en forma de trabajo mecánico. Cuando menor sea el consumo mayor es su rendimiento.
4. Definir el método de interpolación polinomial Akima y los niveles de contorno, se genera la gráfica por el software minitab19 obteniendo el mapa de consumo y factor de emisiones.

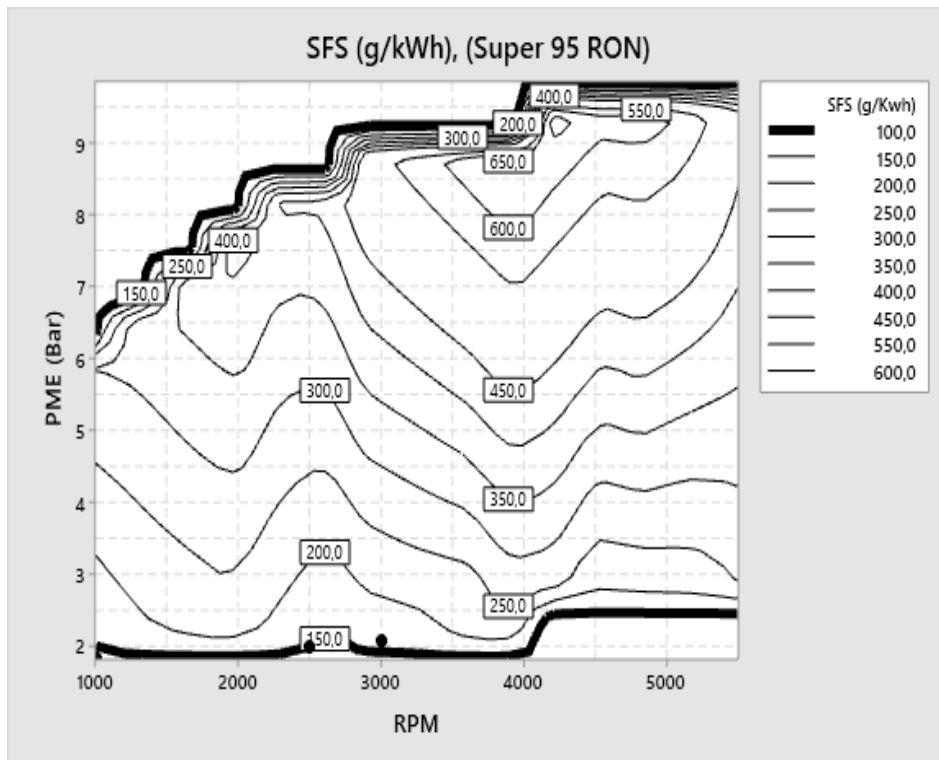


Ilustración 3-11: Mapas de consumo de combustible

Realizado por: Vera, D. & Arias, J., 2023.

Fuente: minitab19

3.7. Diagrama de etapas del proyecto



Ilustración 3-12: Etapas del proyecto

Realizado por: Vera, D. & Arias, J., 2023

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS DEL PROYECTO

4.2. Evaluación de pruebas y ensayos del motor y sus efectos con el combustible.

Una vez culminado las pruebas experimentales, se procedió con la recopilación de datos de curvas de torque y potencia utilizando un dinamómetro de rodillos, como el equipo AVL en un motor Chevrolet Aveo 1,6 lt. Se logró evidenciar que existe una diferencia entre los datos del 24,80 % con los datos adquiridos mediante el equipo “AVL Ditest for analysis combustión” y el dinamómetro de chasis. En este caso los datos adquiridos por el dinamómetro de rodillos se evalúan con factor de corrección (SAE J1349), permitiendo esto asemejar los valores de curvas de desempeño a los del fabricante y añadiendo el factor de antigüedad de equipo Borgui & Saveri FA200 quien genera la carga para el estudio del laboratorio de motores, se puede adjudicar este tipo de circunstancias a un error de obtención de información.

Para ello es prudente que las pruebas se ejecuten en las mismas condiciones como la altitud a 2754 msnm y características mecánicas de la unidad de prueba

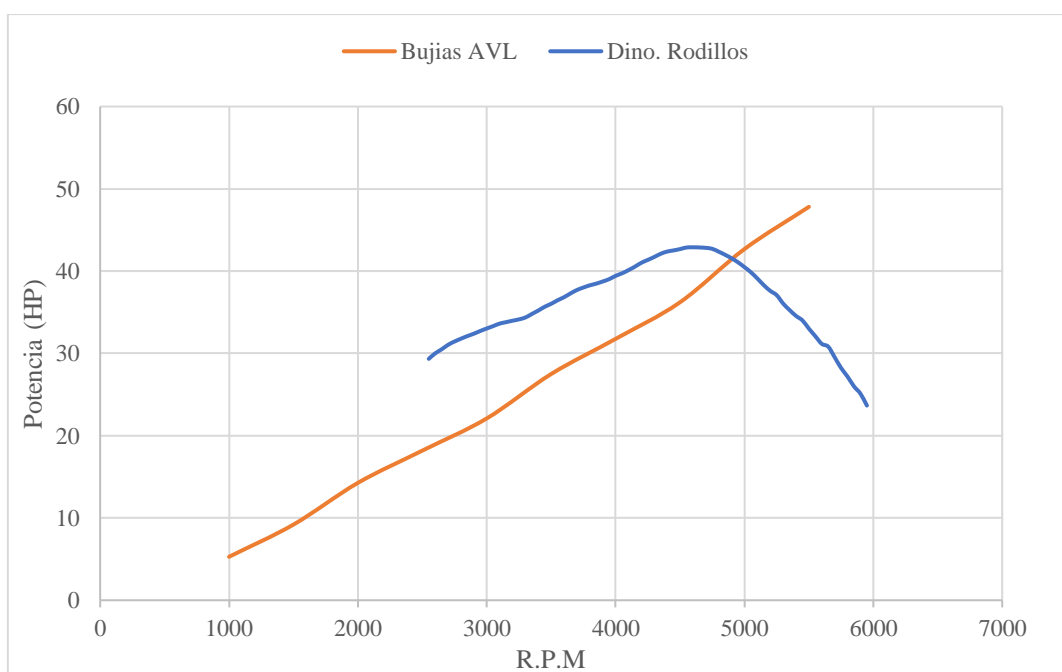


Ilustración 4-1: Pruebas de Dinámetro rodillo y bujías Aveo a 2700 m.s.n.m

Realizado por: Vera, D. & Arias, J., 2023.

En este caso, se utiliza una observación calificativa del factor de correlación que se lo determina, al realizar un proceso de cotejamiento las curvas obtenidas con los equipos, permitiendo juntar datos para obtener curvas estándares para su análisis.

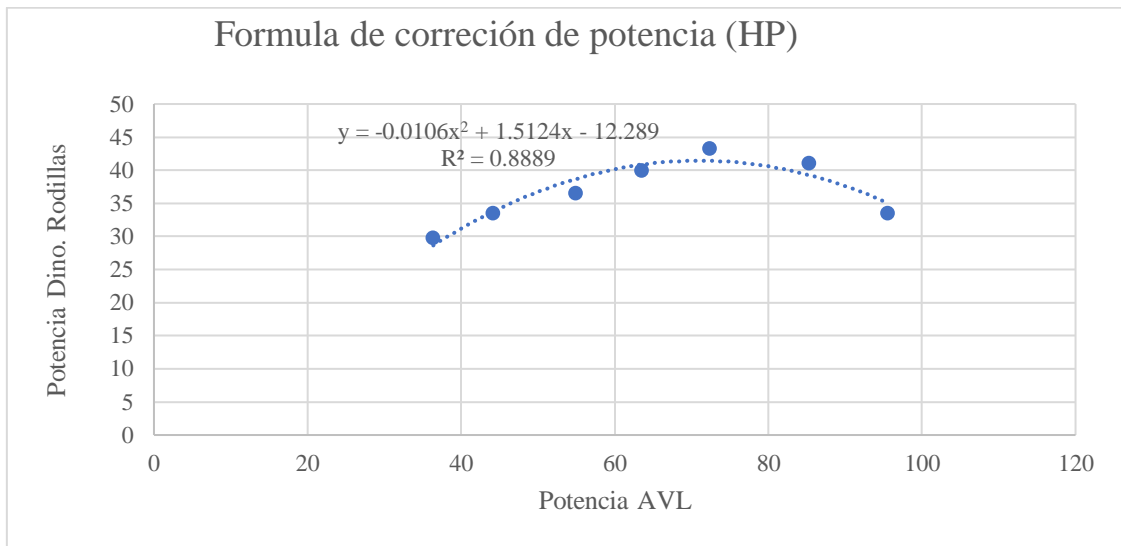


Ilustración 4-2: Corrección de potencia

Realizado por: Vera, D. & Arias, J., 2023.

Para el caso de potencia se aplica una tendencia exponencial de segundo grado para la obtención de las fórmulas de corrección; se realizó un diagrama de dispersión con los datos en el eje (Y) dinamómetro rodillos y (X) los valores de las bujías piezoeléctricas del equipo AVL, obteniendo el valor de R^2 entre más cerca al 1 existen un ajuste perfecto, con una correlación solida de $R^2 = 0,8889$.

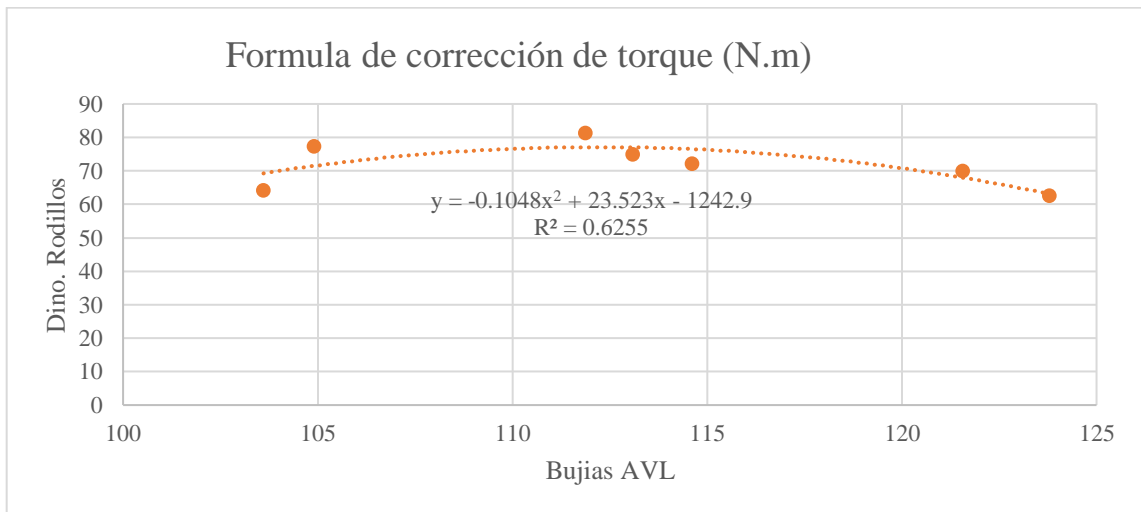


Ilustración 4-3: Corrección de torque

Realizado por: Vera, D. & Arias, J., 2023

En el caso del torque se realizó el mismo proceso de dispersión entre los valores obtenidos por el dinamómetro de rodillos y el equipo AVL, para posterior ajustar con una tendencia exponencial de segundo orden. El valor de correlación modesta de $R^2 = 0,6255$, esto se debe a la dispersión de

los datos hacia la línea de tendencia. Este hallazgo servirá para considerar el factor de corrección de la norma y la altitud para su posterior evaluación más precisas

4.3. Curvas de torque y potencia indicada en función a las gráficas de presión vs volumen, empleando el equipo AVL.

Para el análisis de este punto se consideraron las fórmulas de corrección de las curvas de torque y potencia con el objetivo de que la información adquirida con el equipo AVL, sean similares a las curvas estándar de dinamómetro de chasis que aplica la norma SAE J 1349 como factor de corrección de altitud y temperatura.

Con los parámetros de presión y el volumen proporcionando por las bujías piezoeléctricas AVL, dando como información sobre el ciclo de trabajo del motor. Se utilizó las curvas de presión-volumen para calcular el trabajo indicado, posteriormente el torque y la potencia indicados en función a los ensayos a los cuales el motor fue sometido y de torque.

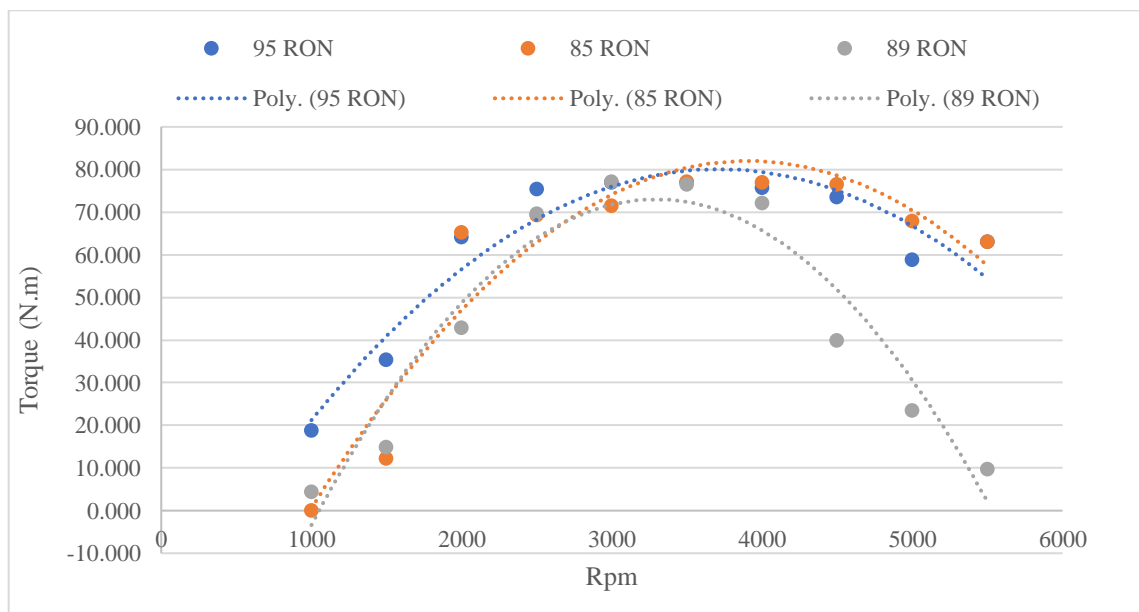


Ilustración 4-4: Torques generados con los diferentes tipos de gasolinas

Realizado por: Vera, D. & Arias, J., 2023

La grafica 0-6 muestra los resultados de una prueba de tres tipos de gasolina: Super, Extra y Eco-plus, con 100% de la carga. Una vez llegado a ese punto limite y decrece esta fuerza de rotación producida por el motor esto debido a que llega a su máximo par mecánico.

Tabla 4-1: Torque máximo de cada gasolina con 100% de carga aplicada.

Tipo de gasolina	Torque máximo al 100% de carga (N.m)	Diferencia porcentual respecto a Extra (%)	RPM donde el torque máximo
Súper 95 RON	54,22291306	0,129	3500
Ecoplus 89 RON	54,22594595	0,135	3000
Extra 85 RON	54,15298711	0,000	3500

Realizado por: Vera, D. & Arias, J., 2023.

La tabla muestra que el mayor torque ligeramente mayor es del combustible de 89 octanos con 55,225 Nm, con una diferencia porcentual de 0,135 %, con respecto al comburente más económico. La gasolina super presenta un torque mayor a la extra, siendo la diferencia porcentual de 0,129 % con un torque máximo de 54,222 Nm y la extra presenta un torque de 54,152 Nm.

Las diferencias de los valores máximos de par son relativamente pequeñas, pero es notable, esto significa que, utilizando la gasolina de mayor consumo en el país como la extra, presenta los mismos efectos que las otras gasolinas de diferente octanaje utilizadas en el estudio.

Potencia

Como se muestra en la gráfica 0-7 es la potencia indicada del motor en función de su velocidad de rotación (RPM). Se muestra tres curvas cada una correspondiente a una gasolina con diferente octanaje, esta rapidez de realizar un trabajo se desarrolla a un ritmo diferente para cada combustible.

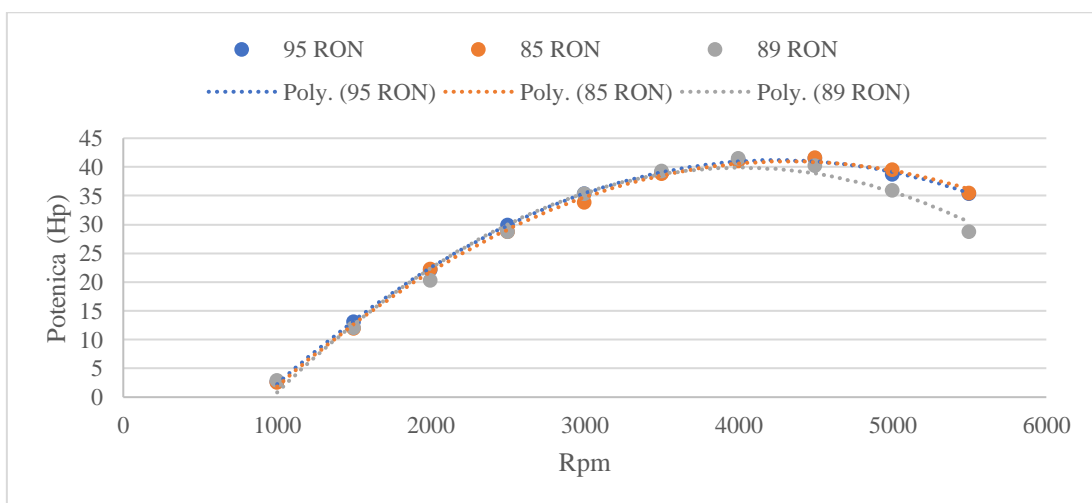


Ilustración 4-5: Potencias generadas con los diferentes tipos de gasolinas

Realizado por: Vera, D. & Arias, J., 2023.

Dando como resultado la gasolina de 95 octanos tiene una potencia de 41,543 hp a 4500 revoluciones por minuto (rpm) con respecto a la extra de 85 octanos que es de 41,011 hp a 4500 rpm, siendo porcentualmente la diferencia de 1,29 %. La gasolina Eco-plus de 89 octanos con una potencia de 41,239 hp a 4000 rpm, aunque se desarrolla antes que las anteriores su máxima potencia es mayor ala extra con una diferencia porcentual del 0,55 % a carga completa, como se aprecia en la tabla 2-4:

Tabla 4-2: Potencia máxima de cada gasolina con el 100% de carga aplicada.

Tipo de gasolina	Potencia máxima al 100% de carga (Hp)	Diferencia porcentual respecto a Extra (%)	RPM donde la potencia máxima
Súper 95 RON	41,543	1,297	4500
Eco-plus 89 RON	41,239	0,556	4000
Extra 85 RON	41,011	0,000	4500

Realizado por: Vera, D. & Arias, J., 2023.

Las diferencias de los valores máximos de potencia son pequeñas, pero es notable, esto significa que utilizando la gasolina más económica del país como la extra presenta los mismos efectos que las otras combustible lo cual presenta un gasto innecesario si se desean tener mayor desempeño o una respuesta más rápida al acelerador del vehículo en el caso de este motor específicamente hablando

4.4. Efecto que tiene el índice de octanaje en las emisiones contaminantes y consumo de combustible con gasolina extra de 85 RON, eco plus de 89 RON y super premium de 95 RON

En cuanto al estudio realizado para analizar la incidencia del octanaje en las emisiones producidas por el motor, se presenta un carrete de gráficas comparativas en cada una de ellas los principales gases producto de la combustión (CO₂, CO, HC, NO_x, O₂) involucrando las tres gasolinas (Super 95 RON, Extra, 85 RON, Eco-plus 89 RON) clasificadas por el porcentaje de carga (100% y 50%).

Análisis de emisiones con el 100% de carga aplicada

En primer lugar, se tiene las gráficas efectuadas con carga del 100%, analizando lo siguiente:

En la ilustración 6-4 en cuanto a la producción de CO₂, se aprecia que la gasolina Eco-plus 89 RON genera mayores emisiones de este gas en bajas rpm en comparación de sus semejantes; el

motivo por el cual sucede esto es debido al porcentaje de etanol que contiene y este componente a su vez puede producir más dióxido de carbono (CO₂) por unidad de energía en comparación a las otras gasolinas que podrían catalogarse como convencionales.

Por otro lado, se observa que la gasolina Extra 85 RON es la que menor porcentaje de dióxido de carbono produce a revoluciones bajas, siendo esta la menos contaminante en este caso. Sin embargo, a medida que aumentan las rpm, la contaminación por CO₂ de las tres gasolinas se reduce; la razón es que el motor se comporta de manera más eficiente en altas revoluciones.

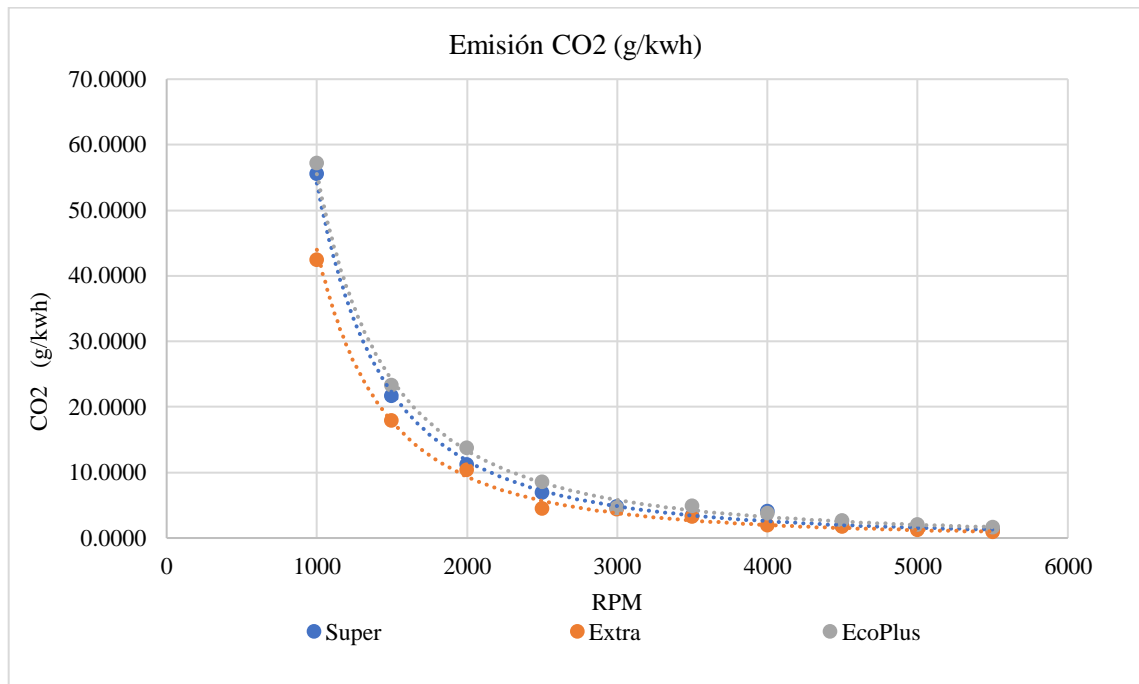


Ilustración 4-6: Producción de dióxido de carbono al 100% de carga aplicada

Realizado por: Vera, D. & Arias, J., 2023.

En la ilustración 7-4 en cuanto a la producción de CO, es posible observar que la gasolina Super 95 RON produce mayor contenido de monóxido de carbono en comparación a la gasolina Extra 85 RON y Eco-plus 89 RON, siendo esta última la que menor contenido de este gas produce; existen múltiples razones por las cuales la gasolina Super 95 RON impacta de esta manera en el motor y entre estas se encuentra el contenido de azufre presente en el combustible y por otro lado puede ser la eficiencia y tecnología con la que cuenta el motor; mientras más antiguo el motor se comporta menos eficiente independientemente del combustible que utilice. No obstante, la diferencia no resulta ser muy significativa y al tener la gasolina Super 95 RON menor cantidad de azufre en comparación a la Extra, 85 RON y Eco-plus 89 RON, la razón principalmente puede estar relacionada al estado del motor donde se ejecutaron las pruebas.

Al igual que en la figura anterior, a medida que incrementa las RPM la producción de monóxido de carbono (CO) se reduce considerablemente en las tres gasolinas, esto debido a que en elevadas revoluciones mejora la eficiencia del motor en cuanto al consumo de combustible.

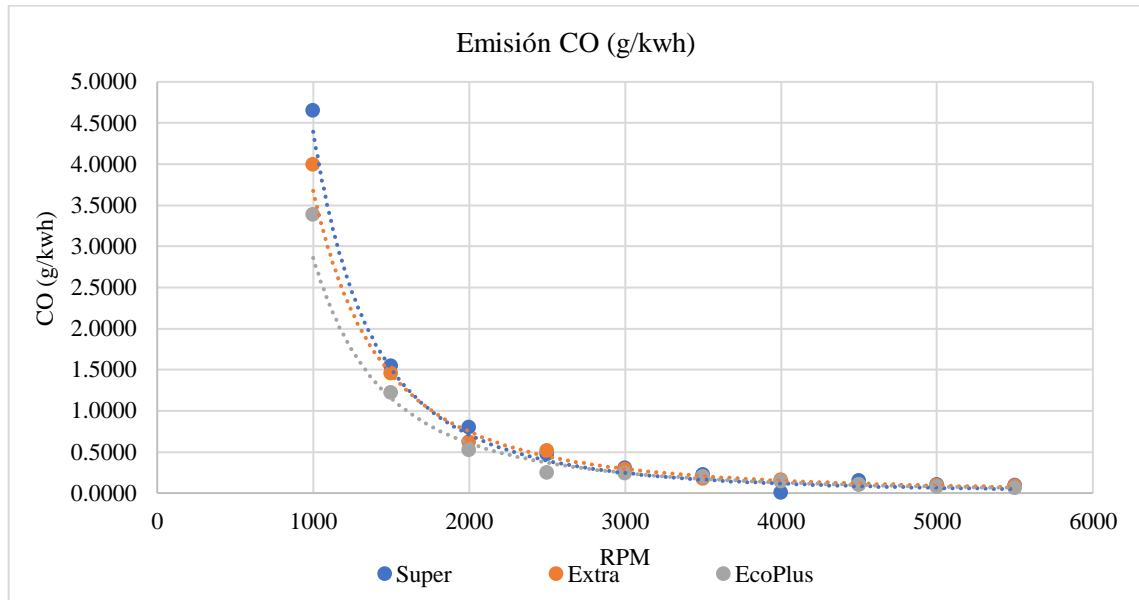


Ilustración 4-7: Producción de monóxido de carbono al 100% de carga aplicada

Realizado por: Vera, D. & Arias, J., 2023.

En la ilustración 8-4, en formación de hidrocarburos (HC), se aprecia que la gasolina Eco-plus 89 RON y Extra, 85 RON presentan una formación de hidrocarburos notablemente mayor a lo que se forma con gasolina Super 95 RON; sin embargo, se observa que la mayor cantidad de HC es producida cuando se emplea la gasolina Eco-plus 89 RON.

La formación de HC se relaciona con una combustión incompleta que pueda llegar a producirse dentro del motor, por lo que algunos factores pueden influir para que esto ocurra; la razón por la cual se observa que la gasolina Extra 85 RON y Eco-plus 89 RON generan una producción elevada de hidrocarburos a diferencia de la gasolina Super 95 RON; es el nivel de octanaje, puesto que mientras mayor sea el número de octanos, el combustible soportará mayor presión y se combustionará completamente; esto no sucede con la gasolina Extra y Eco-plus ya que poseen un octanaje menor 85 y 89 respectivamente, a diferencia de la super misma que posee 95 octanos.

Por otro lado, la razón para que la gasolina Eco-plus 89 RON sea más contaminante que la gasolina Extra, 85 RON en este sentido, puede ser la altura a la cual se realizaron las pruebas ya que, al ser un combustible comercializado únicamente en el litoral ecuatoriano, puede ocasionar que se combustione incompletamente, adicionalmente el etanol presente en su composición influye en la formación de hidrocarburos en las emisiones.

Cabe recalcar que este comportamiento se da entre el 1000 y 2500 rpm, ya que a partir de ahí el motor con las tres gasolinas se comporta de manera similar lo cual puede ser atribuido a que en altas rpm el motor presenta una mejora en cuanto al consumo de combustible.

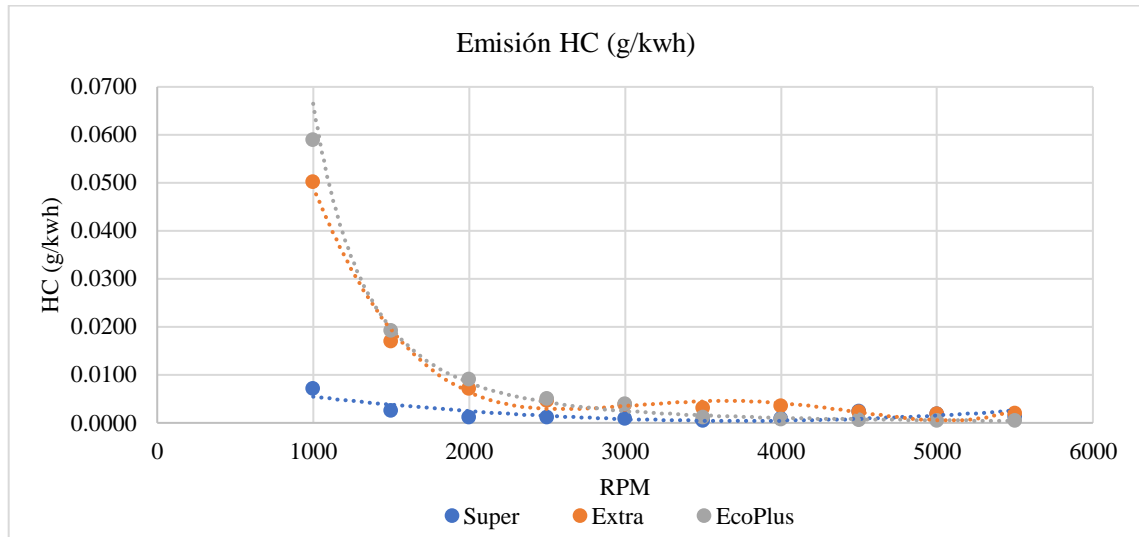


Ilustración 4-8: Producción de hidrocarburos al 100% de carga aplicada

Realizado por: Vera, D. & Arias, J., 2023.

En la ilustración 9-4, referente a la generación de óxidos de nitrógeno NOx; se observa que la gasolina Extra 85 RON presenta la mayor cantidad de contaminación en este sentido en la mayoría de los rangos de revoluciones por minuto, siendo más notorio en el rango de 1000 a 2500 rpm en donde presenta una caída notoria y se vuelve a incrementar considerablemente menos en el rango de las 2500 a las 4000 rpm donde cae y se incrementa nuevamente aunque con menor intensidad para finalmente estabilizarse alrededor de las 5000 rpm.

En cuanto a la gasolina Super 95 RON y Eco-plus 89 RON, se observa que su impacto es muy reducido en bajas rpm, manteniéndose en ese estado la gasolina Super 95 RON a lo largo de todas las revoluciones, lo cual no sucede con la gasolina Eco-plus 89 RON ya que alrededor de 3500 rpm experimenta un incremento considerable llegando a su punto máximo a 4000 rpm y sufriendo una caída que se estabiliza de alguna forma alrededor de 5500 rpm.

La razón principal por la que podría darse esta situación está relacionada con el contenido de azufre que posee cada gasolina, es así como la Extra 85 RON posee un alto grado de azufre en su composición lo que incide en que la combustión al emplear este combustible se tenga mayor presencia de este agente contaminante.

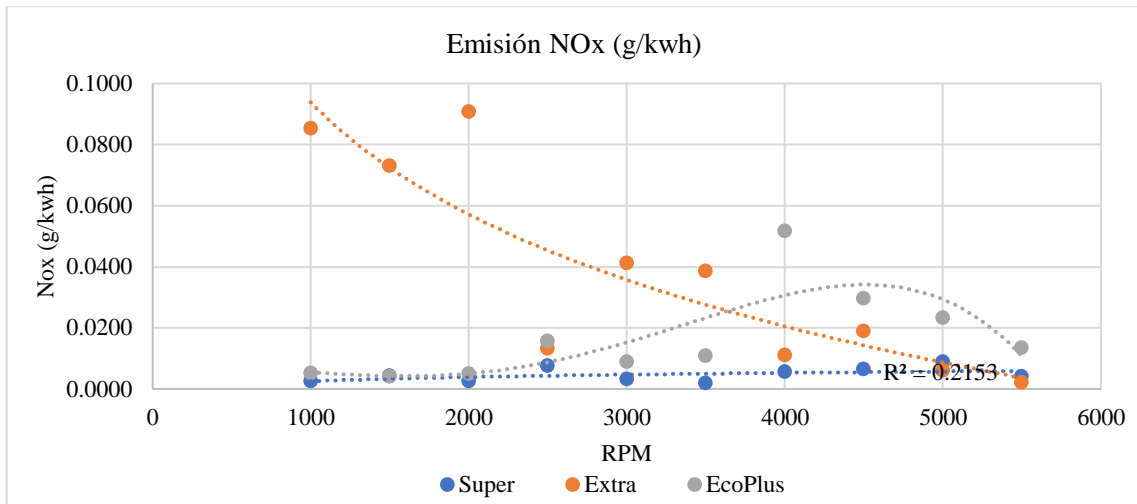


Ilustración 4-9: Producción de óxidos de nitrógeno al 100% de carga aplicada

Realizado por: Vera, D. & Arias, J., 2023

En la ilustración 10-4, respecto a la presencia de oxígeno (O₂) en las emisiones del vehículo, se observa que la gasolina Eco-plus 89 RON produce mayor cantidad de oxígeno en la combustión; su diferencia es notoria en comparación a la gasolina Super 95 RON y Extra, 85 RON, en el rango de 1000 a 1500 rpm. Específicamente se observa que entre la gasolina Super 95 RON y Extra 85 RON si existe diferencia, sin embargo no es muy notoria por lo que podría considerarse que ambas se combustionan de manera similar; lo que no ocurre con la gasolina Eco-plus 89 RON, puesto que la excesiva cantidad de oxígeno en los gases de escape responden a una combustión incompleta; esto coincide con la lectura realizada en la ilustración 8-4 en donde la gasolina Eco-plus 89 RON resulta ser de igual forma la más contaminante en el parámetro de los hidrocarburos. No obstante, la diferencia es notoria únicamente en bajas rpm ya que a medida que estas incrementan los valores de las tres gasolinas llegan a ser similares.

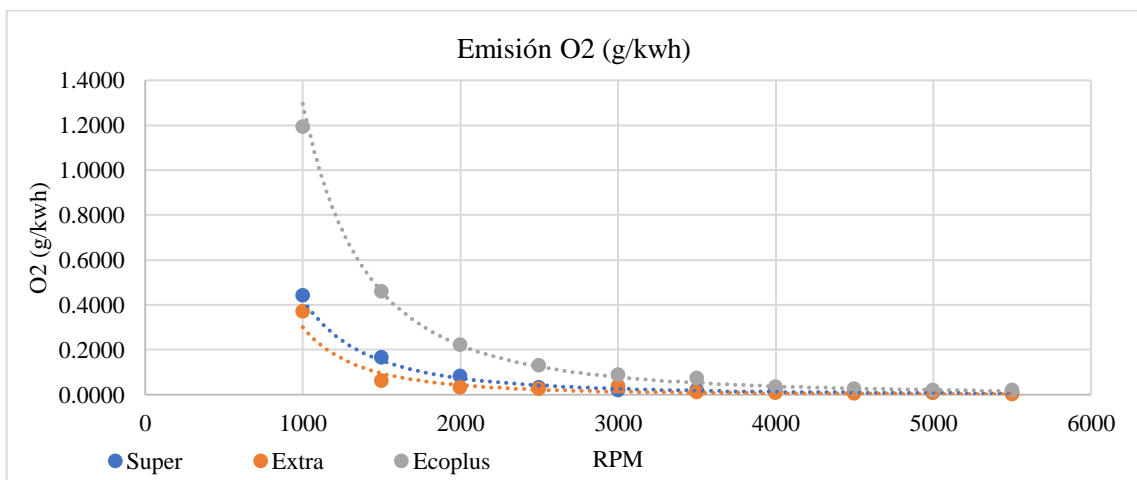


Ilustración 4-10: Producción de oxígeno al 100% de carga aplicada

Realizado por: Vera, D. & Arias, J., 2023

Análisis con el 50% de carga aplicada

A continuación, se tiene las gráficas obtenidas con el 50% de carga, analizando lo siguiente:

En la ilustración 11-4, se observa que en estas condiciones de funcionamiento del motor la gasolina que provoca que el motor contamine más en este sentido es la Super 95 RON, teniendo un notorio incremento frente a la Extra, 85 RON y Eco-plus 89 RON que aparentemente tienen valores similares inferiores. Principalmente este escenario se produce en revoluciones bajas entre 1000 y 2000 rpm, posteriormente su comportamiento es similar.

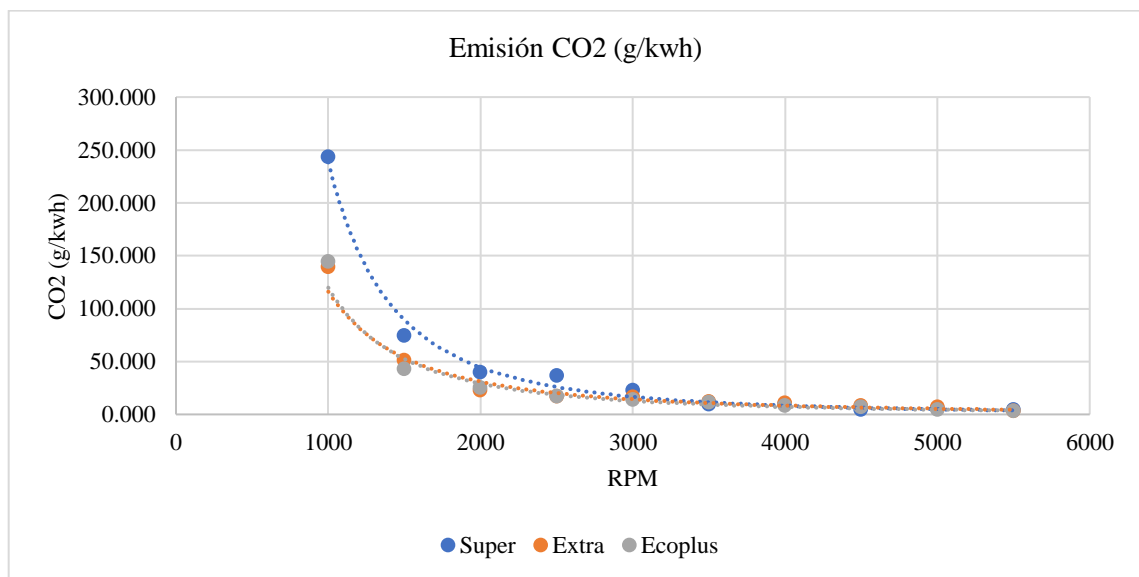


Ilustración 4-11: Producción de dióxido de carbono al 50% de carga aplicada

Realizado por: Vera, D. & Arias, J., 2023

En la ilustración 12-4, la producción de monóxido de carbono presenta mayores índices con la gasolina Eco-plus 89 RON, siendo esta la más contaminante respecto a este agente producto de la combustión; la gasolina extra presenta valores muy cercanos teniendo una diferencia considerable en relación a la gasolina Super 95 RON, misma que posee un valor muy inferior siendo esta la menos contaminante en este sentido. Cabe recalcar que estas diferencias se presentan a bajas revoluciones en un rango aproximado de 1000 a 3000 rpm aproximadamente, punto en el cual sus valores son similares y se mantienen en ese estado hasta el fin de la prueba.

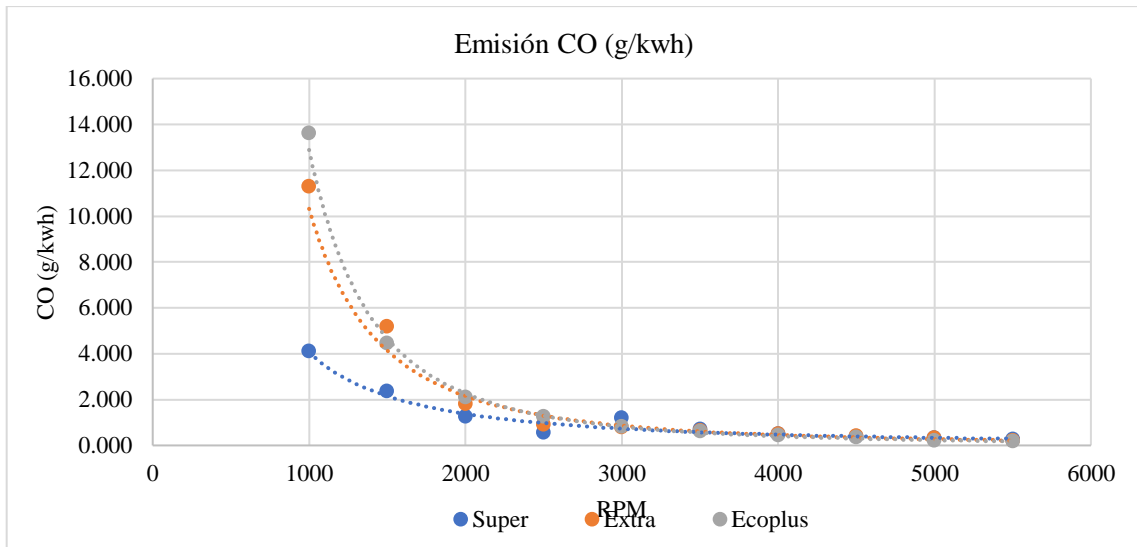


Ilustración 4-12: Producción de monóxido de carbono al 50% de carga aplicada

Realizado por: Vera, D. & Arias, J., 2023.

En la ilustración 13-4, se observa que la gasolina Extra, 85 RON es la responsable de la formación de hidrocarburos más prominente en los gases de escape, siendo esta la más contaminante en este caso; por otro lado, la gasolina Eco-plus 89 RON posee un valor aproximadamente intermedio y por último se encuentra la gasolina Super 95 RON siendo nuevamente la menos contaminante en este aspecto de formación de HC.

Igualmente, estas diferencias radican en bajas revoluciones del motor aproximadamente entre 1000 y 2500 rpm, igualándose posteriormente y manteniéndose relativamente estables hasta el límite de la prueba realizada.

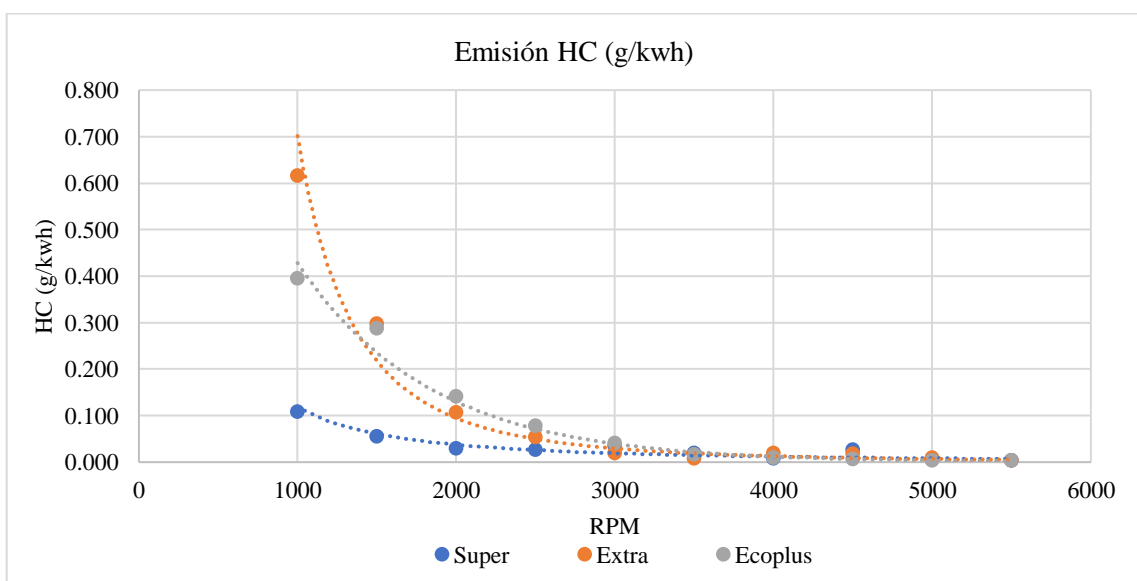


Ilustración 4-13: Producción de hidrocarburos al 50% de carga aplicada

Realizado por: Vera, D. & Arias, J., 2023.

En la ilustración 14-4, se observa que la gasolina Eco-plus 89 RON en estas condiciones se comporta relativamente estable manteniendo valores bajos de óxidos de nitrógeno desde bajas revoluciones; es así que esta gasolina es la menos contaminante respecto a NOx.

Sin embargo, esto no sucede con las gasolinas Extra 85 RON y Super 95 RON, ya que se puede observar valores altos y similares en bajas revoluciones del motor y fluctúan conforme incrementan las revoluciones por minuto. Aun así, se puede observar que la gasolina Extra 85 RON es ligeramente más estable, aunque sus valores promedio resultan ser más elevados que la Super 95 RON, que a pesar de tener un pico más pronunciado se puede apreciar que las oscilaciones posteriores mantienen un valor promedio inferior.

Por lo tanto, la gasolina Extra 85 RON se comporta ligeramente más contaminante que la gasolina Super 95 RON en este sentido.

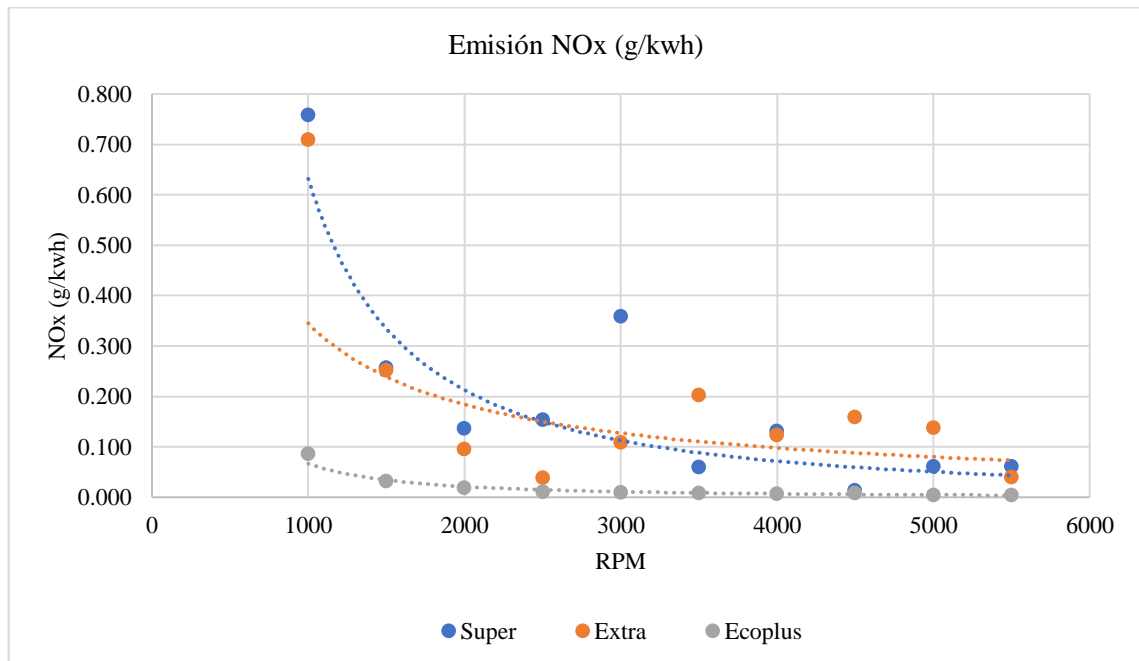


Ilustración 4-14: Producción de óxidos de nitrógeno al 50% de carga aplicada

Realizado por: Vera, D. & Arias, J., 2023.

En la ilustración 15-4, se puede observar la producción de oxígeno se da en mayores proporciones en la gasolina Super 95 RON y Extra, 85 RON, teniendo estos valores casi idénticos siendo ambas las más contaminantes en relación a este parámetro; no obstante, la gasolina Eco-plus 89 RON se encuentra muy por debajo siendo nuevamente la menos contaminante respecto a este producto de la combustión.

Sin embargo, estas diferencias se presentan únicamente en bajas revoluciones, ya que como se observa a medida que incrementan las rpm las curvas descienden y se equiparan teniendo valores similares hasta 5500 rpm.

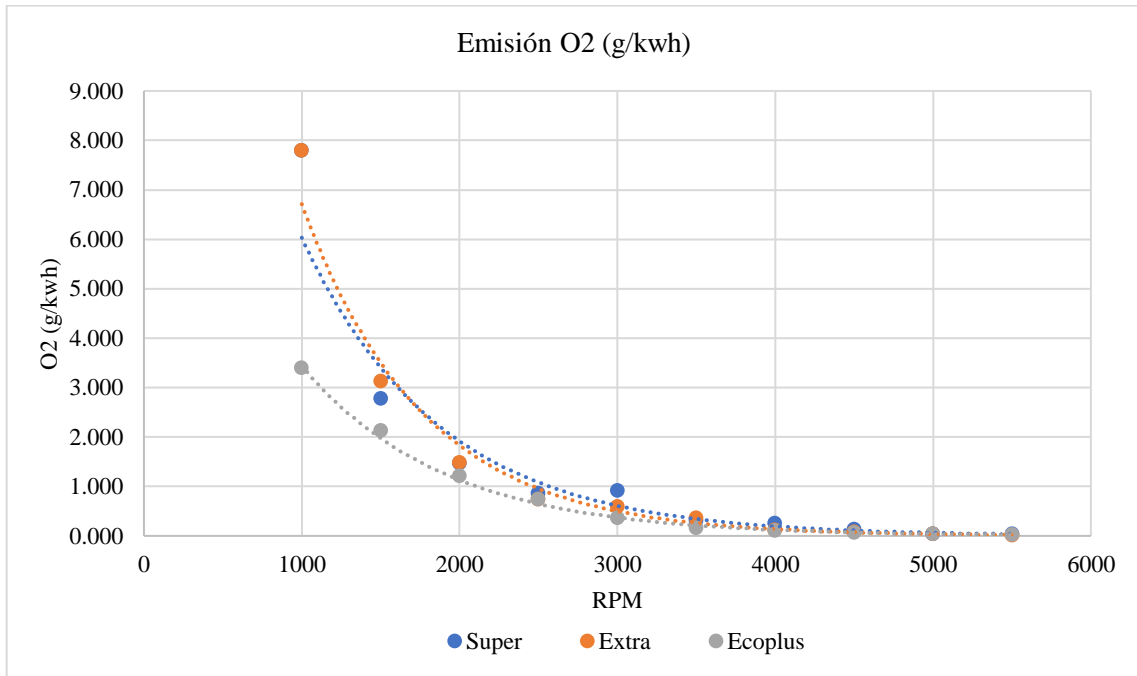


Ilustración 4-15: Producción de oxígeno al 50% de carga aplicada

Realizado por: Vera, D. & Arias, J., 2023

Como se aprecia los tres tipos de gasolina se comportan distinto en los gases producto de la combustión en cuestión; por lo que se presenta una tabla comparativa en la cual se aprecia de mejor manera y permite observar que gasolina produjo mayor cantidad de cada elemento contaminante.

Análisis comparativo con carga del 100% aplicada

En primera instancia se observa la tabla 3-4 comparativa correspondiente al 100% de carga aplicada al dinamómetro, es así como conforme a las gráficas previas se ha clasificado en tres categorías (Alta contaminación, mediana contaminación, baja contaminación) de acuerdo con el comportamiento de las gasolinas en un rango de bajas rpm (1000 – 2500) ya que es aquí donde la diferencia es más notoria:

Tabla 4-3: Comparativa de contaminación de las tres gasolinas en cada contaminante a bajas rpm analizado con el 100% de carga.

	CO2	CO	HC	NOx	O2
Alta contaminación	Eco-plus 89 RON	Super 95 RON	Eco-plus 89 RON	Extra 85 RON	Eco-plus 89 RON
Mediana contaminación	Super 95 RON	Extra 85 RON	Extra 85 RON	Eco-plus 89 RON	Super 95 RON
Baja contaminación	Extra 85 RON	Eco-plus 89 RON	Super 95 RON	Super 95 RON	Extra 85 RON

Realizado por: Vera, D. & Arias, J., 2023.

De acuerdo con la tabla 3-4 presentada se puede ver que la gasolina Eco-plus 89 RON se posiciona en la categoría de alta contaminación en mayor número que la gasolina Super 95 RON y Extra 85 RON, por lo cual se concluye que al 100% de carga en las condiciones de estudio la gasolina Eco-plus 89 RON resulta ser la más contaminante. No obstante, la gasolina Super 95 RON y Extra 85 RON para las condiciones de estudio y el tipo de motor se comportan de manera similar por lo que ambas contaminan a la par.

Previamente se presentan cinco tablas que contienen valores de emisiones clasificados en el orden de baja, mediana y alta rpm; dichos valores representan la cantidad en (g/kwh) que cada gasolina generó de cada producto presente en la combustión.

Tabla 4-4: Emisiones de dióxido de carbono a bajas, medianas y altas rpm.

CO2 (g/kwh)	Super 95 RON	Extra 85 RON	Eco-plus 89 RON	Contaminación máxima		Contaminación mínima	
	23,77	18,75	25,67	25,67	Eco-plus 89 RON	18,75	Extra 85 RON
4,04	3,13	4,37	4,37	Eco-plus 89 RON	3,13	Extra 85 RON	
1,46	1,23	2,04	2,04	Eco-plus 89 RON	1,23	Extra 85 RON	

Realizado por: Vera, D. & Arias, J., 2023.

Tabla 4-5: Emisiones de monóxido de carbono a bajas, medianas y altas rpm

CO (g/kwh)	Super 95 RON	Extra 85 RON	Eco-plus 89 RON	Contaminación máxima		Contaminación mínima	
	1,87	1,65	1,34	1,87	Super 95 RON	1,34	Eco-plus 89 RON
0,18	0,21	0,20	0,21	Extra 85 RON	0,18	Super 95 RON	
0,12	0,09	0,08	0,12	Super 95 RON	0,08	Eco-plus 89 RON	

Realizado por: Vera, D. & Arias, J., 2023.

Tabla 4-6: Emisiones de hidrocarburos a bajas, medianas y altas rpm

HC (g/kwh)	Super 95 RON	Extra 85 RON	Eco-plus 89 RON	Contaminación máxima		Contaminación mínima	
	0,0030	0,0198	0,0231	0,0231	Eco-plus 89 RON	0,0030	Super 95 RON
	0,0007	0,0035	0,0020	0,0035	Extra 85 RON	0,0007	Super 95 RON
	0,0018	0,0021	0,0005	0,0021	Extra 85 RON	0,0005	Eco-plus 89 RON

Realizado por: Vera, D. & Arias, J., 2023.

Tabla 4-7: Emisiones de óxidos de nitrógeno a bajas, medianas y altas rpm

NOx (g/kwh)	Super 95 RON	Extra 85 RON	Eco-plus 89 RON	Contaminación máxima		Contaminación mínima	
	0,0041	0,0655	0,0074	0,0655	Extra 85 RON	0,0041	Super 95 RON
	0,0035	0,0302	0,0237	0,0302	Extra 85 RON	0,0035	Super 95 RON
	0,0064	0,0090	0,0221	0,0221	Eco-plus 89 RON	0,0064	Super 95 RON

Realizado por: Vera, D. & Arias, J., 2023.

Tabla 4-8: Emisiones de oxígeno a bajas, medianas y altas rpm

O2 (g/kwh)	Super 95 RON	Extra 85 RON	Eco-plus 89 RON	Contaminación máxima		Contaminación mínima	
	0,179	0,120	0,499	0,499	Eco-plus 89 RON	0,120	Extra 85 RON
	0,020	0,017	0,064	0,064	Eco-plus 89 RON	0,017	Extra 85 RON
	0,007	0,003	0,020	0,020	Eco-plus 89 RON	0,003	Extra 85 RON

Realizado por: Vera, D. & Arias, J., 2023.

Posteriormente se presenta tabla 9-4 comparativa en la cual se analiza que gasolina contamina más de acuerdo con las revoluciones por minuto, es así que la tabla se ha dividido en baja, media y altas rpm en el eje de las ordenadas y los distintos gases contaminantes en el eje de las abscisas.

Tabla 4-9: Comparativa de contaminación en bajas, medias y altas rpm con el 100% de carga aplicada.

	CO2	CO	HC	NOx	O2
Baja rpm (1000-2500)	Eco-plus 89 RON	Super 95 RON	Eco-plus 89 RON	Extra 85 RON	Eco-plus 89 RON
Media rpm (3000-4000)	Eco-plus 89 RON	Extra 85 RON	Extra 85 RON	Extra 85 RON	Eco-plus 89 RON

Alta rpm (4500-5500)	Eco-plus 89 RON	Super 95 RON	Extra 85 RON	Eco-plus 89 RON	Eco-plus 89 RON
-----------------------------	-----------------	--------------	--------------	-----------------	-----------------

Realizado por: Vera, D. & Arias, J., 2023.

Acorde a la tabla 9-4 se observa que a bajas revoluciones por minuto la gasolina que más contamina resulta ser la Eco-plus 89 RON, en medianas revoluciones por minuto la gasolina Extra 85 RON predomina en los indicadores y a altas revoluciones por minuto la gasolina Eco-plus 89 RON vuelve a ser protagonista siendo la más contaminante. Por otra parte, la gasolina Super 95 RON es la que menos presencia tiene en la tabla previamente mostrada lo cual indica que su grado de contaminación es inferior al de sus dos similares.

La tabla 10-4 donde se expresa en porcentaje el grado de contaminación de cada gasolina tomando en cuenta el rango total de revoluciones por minuto; se toma como referencia a la gasolina Extra 85 RON puesto que es la de mayor consumo en el Ecuador, por lo que se obtiene lo siguiente:

Tabla 4-10: Porcentaje de contaminación respecto a la gasolina Extra 85 RON en el rango total de rpm con el 100% de carga aplicada.

	Eco-plus 89 RON en comparación con Extra 85 RON	Super 95 RON en comparación con Extra 85 RON
CO₂	+38.38 %	+26.65%
CO	-17.05%	+11.64%
HC	+4.46%	-79.28%
NO_x	-55.97%	-87.82%
O₂	+315.82%	+47.14%

Realizado por: Vera, D. & Arias, J., 2023.

Conforme la tabla 10-4 las gasolinas Eco-plus 89 RON y Super 95 RON producen en promedio un 38.38% y un 26.65% más dióxido de carbono (CO₂) respectivamente que la gasolina Extra 85 RON en todo el rango de rpm; en la producción de monóxido de carbono (CO) la gasolina Eco-plus 89 RON produce un 17.05% menos, mientras que la gasolina Super 95 RON produce un 11.64% más que la gasolina Extra 85 RON; en cuanto a la formación de hidrocarburos (HC), Eco-plus 89 RON posee un incremento de 4.46% y Super 95 RON posee un decrecimiento de 79.28% en comparación a lo que produce la gasolina Extra 85 RON; Eco-plus 89 RON y Super 95 RON producen un 55.97% y 87.82% respectivamente menos óxidos de nitrógeno que lo que produce Extra 85 RON y por último Eco-plus 89 RON y Super 95 RON tienen un incremento de 315.82% y 47.14% de producción de oxígeno respectivamente frente a lo que produce la gasolina Extra 85 RON.

A continuación, se presentan cinco tablas que contienen el promedio de cada producto contaminante presente en la combustión a lo largo de todo el rango de rpm para las tres gasolinas empleadas en el estudio; de igual manera se presenta la gasolina que más y menos contamina. Cada tabla corresponde a un producto de la combustión (CO₂, CO, HC, NO_x, O₂).

Tabla 4-11: Contaminación promedio de dióxido de carbono a lo largo de todas las revoluciones por minuto (g/kwh)

RPM	Super 95 RON	Extra 85 RON	Eco-plus 89 RON	Contaminación máxima		Contaminación mínima	
1000	11,16	8,81	12,19	12,19	Eco-plus 89 RON	8,81	Extra 85 RON
1500							
2000							
2500							
3000							
3500							
4000							
4500							
5000							
5500							

Realizado por: Vera, D. & Arias, J., 2023.

Tabla 4-12: Contaminación promedio de monóxido de carbono a lo largo de todas las revoluciones por minuto en (g/kwh).

RPM	Super 95 RON	Extra 85 RON	Eco-plus 89 RON	Contaminación máxima		Contaminación mínima	
1000	0,84	0,75	0,62	0,84	Super 95 RON	0,62	Eco-plus 89 RON
1500							
2000							
2500							
3000							
3500							
4000							
4500							
5000							
5500							

Realizado por: Vera, D. & Arias, J., 2023.

Tabla 4-13: Contaminación promedio de hidrocarburos a lo largo de todas las revoluciones por minuto en (g/kwh)

RPM	Super 95 RON	Extra 85 RON	Eco-plus 89 RON	Contaminación máxima		Contaminación mínima	
1000	0,0020	0,0096	0,0100	0,0100	Eco-plus 89 RON	0,0020	Super 95 RON
1500							
2000							
2500							
3000							
3500							
4000							
4500							
5000							
5500							

Realizado por: Vera, D. & Arias, J., 2023.

Tabla 4-14: Contaminación promedio de óxidos de nitrógeno a lo largo de todas las revoluciones por minuto en (g/kwh)

RPM	Super 95 RON	Extra 85 RON	Eco-plus 89 RON	Contaminación máxima		Contaminación mínima	
1000	0,0046	0,0379	0,0167	0,0379	Extra 85 RON	0,0046	Super 95 RON
1500							
2000							
2500							
3000							
3500							
4000							
4500							
5000							
5500							

Realizado por: Vera, D. & Arias, J., 2023.

Tabla 4-15: Contaminación promedio de oxígeno a lo largo de todas las revoluciones por minuto en (g/kwh)

RPM	Super 95 RON	Extra 85 RON	Eco-plus 89 RON	Contaminación máxima		Contaminación mínima	
1000	0,08	0,05	0,22	0,22	Eco-plus 89 RON	0,05	Extra 85 RON
1500							
2000							
2500							
3000							
3500							
4000							
4500							
5000							
5500							

Realizado por: Vera, D. & Arias, J., 2023.

Por último, la tabla 16-4 muestra en un orden de menos a más la contaminación de las gasolinas en el rango de todas las revoluciones por minuto en cada agente producto de la combustión:

Tabla 4-16: Comparativa de menor a mayor gasolina contaminante en todo el rango de rpm con el 100% de carga aplicada.

	Menos contaminante	Contaminante medio	Mas contaminante
CO ₂	Extra 85 RON	Super 95 RON	Eco-plus 89 RON
CO	Eco-plus 89 RON	Extra 85 RON	Super 95 RON
HC	Super 95 RON	Extra 85 RON	Eco-plus 89 RON
NO _x	Super 95 RON	Eco-plus 89 RON	Extra 85 RON
O ₂	Extra 85 RON	Super 95 RON	Eco-plus 89 RON

Realizado por: Vera, D. & Arias, J., 2023.

Es así que acorde a los resultados plasmados en la tabla 16-4 se observa que para el 100% de carga en el dinamómetro, en la altura de 2700 msnm, el motor produce mayor contaminación al momento de emplear la gasolina Eco-plus 89 RON ya que como se muestra ocupa tres de los cinco lugares de mayor contaminación por cada gas producto de la combustión; mientras que por otro lado la gasolina super 95 RON y extra 85 RON presentan comportamientos similares; por lo tanto para el funcionamiento del motor empleado en el estudio la gasolina Eco-plus 89 RON tendría un impacto negativo en cuanto a la producción de emisiones contaminantes mientras que con el uso de gasolina super 95 RON y extra 85 RON su impacto sería menor.

Análisis comparativo con carga del 50% aplicada

A continuación, se presenta la tabla 17-4 en la que se observa la comparativa correspondiente al 50% de carga aplicada al dinamómetro; conforme las gráficas analizadas previamente se clasifican en tres categorías de igual forma (Alta contaminación, mediana contaminación, baja contaminación) de acuerdo al comportamiento de las gasolinas en bajas revoluciones que es en donde se observa de manera más notoria la diferencia que existe entre los diferentes agentes contaminantes producto de la combustión:

Tabla 4-17: Comparativa de contaminación de las tres gasolinas en cada contaminante a bajas rpm analizado con el 50% de carga.

	CO2	CO	HC	NOx	O2
Alta contaminación	Super 95 RON	Eco-plus 89 RON	Extra 85 RON	Super 95 RON	Super 95 RON
Mediana contaminación	Eco-plus 89 RON	Extra 85 RON	Eco-plus 89 RON	Extra 85 RON	Extra 85 RON
Baja contaminación	Extra 85 RON	Super 95 RON	Super 95 RON	Eco-plus 89 RON	Eco-plus 89 RON

Realizado por: Vera, D. & Arias, J., 2023.

De acuerdo con la tabla 17-4 presentada, la gasolina super 95 RON se repite la mayor cantidad de veces en la categoría de alta contaminación por lo cual se la considera como la gasolina que más contamina al 50% de carga en estas condiciones de estudio y en este tipo de motor. Por otro lado, se observa un predominio de la gasolina extra en la categoría de mediana contaminación y por último la gasolina Eco-plus se comporta de manera inestable teniendo presencia en las tres categorías, pero sin un predominio claro, por lo cual se puede considerar que posee contaminación en estas condiciones, pero en menores proporciones que la gasolina super, teniendo un comportamiento más acoplado a cómo se comporta la gasolina extra.

Previamente se presentan cinco tablas que contienen valores de emisiones clasificados en el orden de baja, mediana y alta rpm; dichos valores representan la cantidad en (g/kwh) que cada gasolina generó de cada producto presente en la combustión.

Tabla 4-18: Emisiones de dióxido de carbono a bajas, medianas y altas rpm.

CO2 (g/kwh)	Super 95 RON	Extra 85 RON	Eco-plus 89 RON	Contaminación máxima		Contaminación mínima	
	98,41	57,36	57,06	98,41	Super 95 RON	57,06	Eco-plus 89 RON
	13,81	12,60	10,93	13,81	Super 95 RON	10,93	Eco-plus 89 RON
	4,47	5,79	4,67	5,79	Extra 85 RON	4,47	Super 95 RON

Realizado por: Vera, D. & Arias, J., 2023.

Tabla 4-19: Emisiones de monóxido de carbono a bajas, medianas y altas rpm.

CO (g/kwh)	Super 95 RON	Extra 85 RON	Eco-plus 89 RON	Contaminación máxima		Contaminación mínima	
	2,07	4,79	5,35	5,35	Eco-plus 89 RON	2,07	Super 95 RON

	0,79	0,63	0,62	0,79	Super 95 RON	0,62	Eco-plus 89 RON
	0,32	0,30	0,24	0,32	Super 95 RON	0,24	Eco-plus 89 RON

Realizado por: Vera, D. & Arias, J., 2023..

Tabla 4-20: Emisiones de hidrocarburos a bajas, medianas y altas rpm.

HC (g/kwh)	Super 95 RON	Extra 85 RON	Eco-plus 89 RON	Contaminación máxima		Contaminación mínima	
	0,0548	0,2684	0,2254	0,2684	Extra 85 RON	0,0548	Super 95 RON
	0,0209	0,0155	0,0224	0,0224	Eco-plus 89 RON	0,0155	Extra 85 RON
	0,0119	0,0101	0,0040	0,0119	Super 95 RON	0,0040	Eco-plus 89 RON

Realizado por: Vera, D. & Arias, J., 2023..

Tabla 4-21: Emisiones de óxidos de nitrógeno a bajas, medianas y altas rpm.

NOx (g/kwh)	Super 95 RON	Extra 85 RON	Eco-plus 89 RON	Contaminación máxima		Contaminación mínima	
	0,3265	0,2739	0,0371	0,3265	Super 95 RON	0,0371	Eco-plus 89 RON
	0,1837	0,1452	0,0085	0,1837	Super 95 RON	0,0085	Eco-plus 89 RON
	0,0458	0,1122	0,0057	0,1122	Extra 85 RON	0,0057	Eco-plus 89 RON

Realizado por: Vera, D. & Arias, J., 2023..

Tabla 4-22: Emisiones de oxígeno a bajas, medianas y altas rpm.

O2 (g/kwh)	Super 95 RON	Extra 85 RON	Eco-plus 89 RON	Contaminación máxima		Contaminación mínima	
	3,23	3,29	1,87	3,29	Extra 85 RON	1,87	Eco-plus 89 RON
	0,49	0,36	0,21	0,49	Super 95 RON	0,21	Eco-plus 89 RON
	0,07	0,05	0,04	0,07	Super 95 RON	0,04	Eco-plus 89 RON

Realizado por: Vera, D. & Arias, J., 2023..

Posteriormente se presenta tabla 23-4 comparativa en la cual se analiza que gasolina contamina más de acuerdo con las revoluciones por minuto, es así que la tabla se ha dividido en baja, media y altas rpm en el eje de las ordenadas y los distintos gases contaminantes en el eje de las abscisas.

Tabla 4-23: Comparativa de contaminación en bajas, medias y altas rpm con el 50% de carga aplicada.

	CO₂	CO	HC	NO_x	O₂
Baja rpm (1000-2500)	Super 95 RON	Eco-plus 89 RON	Extra 85 RON	Super 95 RON	Extra 85 RON
Mediana rpm (3000-4000)	Super 95 RON	Super 95 RON	Eco-plus 89 RON	Super 95 RON	Super 95 RON
Alta rpm (4500-5500)	Extra 85 RON	Super 95 RON	Super 95 RON	Extra 85 RON	Super 95 RON

Realizado por: Vera, D. & Arias, J., 2023.

Conforme se muestra en la tabla 23-4 en bajas rpm se visualiza que la gasolina extra 85 RON y super 95 RON aparecen como las más contaminantes, mientras que la gasolina Eco-plus 89 RON, al aparecer tan solo en un indicador puede considerarse como la que menos contamina; en medianas rpm la gasolina que más contamina es la super 95 RON al ser protagonista en casi todos los indicadores; le sigue la gasolina Eco-plus 89 RON y al no aparecer la gasolina extra 85 RON se la considera como la que contamina en menores proporciones en este rango; por último en altas rpm la gasolina que más contamina vuelve a ser la super 95 RON, estando presente en tres de los cinco indicadores; seguida de la extra 89 RON que ocupa los dos indicadores restantes y al no aparecer Eco-plus 89 RON en este caso se considera que es la que menos emisiones contaminantes genera en este rango de revoluciones por minuto.

En la tabla 24-4 donde se expresa en porcentaje el grado de contaminación de cada gasolina tomando en cuenta el rango total de revoluciones por minuto; se toma como referencia a la gasolina extra puesto que es la de mayor consumo en el Ecuador, por lo que se obtiene lo siguiente:

Tabla 4-24: Porcentaje de contaminación respecto a la gasolina extra en el rango total de rpm con el 50% de carga aplicada

	Eco-plus 89 RON en comparación con Extra 85 RON	Super 95 RON en comparación con Extra 85 RON
CO₂	-3.35%	+57.59%
CO	+9.05%	-47.20%
HC	-14.73%	-72.38%
NO_x	-89.76%	+6.77%
O₂	-42.63%	+1.48%

Realizado por: Vera, D. & Arias, J., 2023..

Se observa en la tabla 24-4 que la gasolina ecoplus89 RON produce en promedio 3.35% menos de dióxido de carbono (CO₂) que la gasolina extra 85 RON y la gasolina super 95 RON produce un 57.59% de este producto de la combustión; En cuanto a producción de monóxido de carbono (CO) la gasolina Eco-plus 89 RON produce un 9.05% más, mientras que la gasolina extra produce 47.20% menos que lo que produce el motor empleando gasolina extra 85 RON; con gasolina Eco-plus 89 RON y super 95 RON se forma un 14.73% y 72.38% menos de hidrocarburos respectivamente que lo que se forma con gasolina extra 85 RON; los óxidos de nitrógeno (NO_x) con Eco-plus se tiene un 89.76% menos, mientras que con super 95 RON incrementa en 6.77% respecto a lo que se produce con gasolina extra 85 RON y por último la presencia de oxígeno se reduce en un 42.63% con gasolina Eco-plus 89 RON, mientras que con gasolina super 95 RON incrementa en 1.48% en comparación a lo que produce la gasolina extra 85 RON.

A continuación, se presentan cinco tablas que contienen el promedio de cada producto contaminante presente en la combustión a lo largo de todo el rango de rpm para las tres gasolinas empleadas en el estudio; de igual manera se presenta la gasolina que más y menos contamina. Cada tabla corresponde a un producto de la combustión (CO₂, CO, HC, NO_x, O₂).

Tabla 4-25: Contaminación promedio de dióxido de carbono a lo largo de todas las revoluciones por minuto (g/kwh).

RPM	Super 95 RON	Extra 85 RON	Eco-plus 89 RON	Contaminación máxima		Contaminación mínima	
1000	44,85	28,46	27,50	44,85	Super 95 RON	27,50	Eco-plus 89 RON
1500							
2000							
2500							
3000							
3500							
4000							
4500							
5000							
5500							

Realizado por: Vera, D. & Arias, J., 2023.

Tabla 4-26: Contaminación promedio de monóxido de carbono a lo largo de todas las revoluciones por minuto (g/kwh).

RPM	Super 95 RON	Extra 85 RON	Eco-plus 89 RON	Contaminación máxima		Contaminación mínima	
1000	1,16	2,20	2,40	2,40	Eco-plus 89 RON	1,16	Super 95 RON
1500							
2000							
2500							

3000							
3500							
4000							
4500							
5000							
5500							

Realizado por: Vera, D. & Arias, J., 2023.

Tabla 4-27: Contaminación promedio de hidrocarburos a lo largo de todas las revoluciones por minuto (g/kwh)

RPM	Super 95 RON	Extra 85 RON	Eco-plus 89 RON	Contaminación máxima		Contaminación mínima	
1000	0,032	0,115	0,098	0,115	Extra 85 RON	0,032	Super 95 RON
1500							
2000							
2500							
3000							
3500							
4000							
4500							
5000							
5500							

Realizado por: Vera, D. & Arias, J., 2023..

Tabla 4-28: Contaminación promedio de óxidos de nitrógeno a lo largo de todas las revoluciones por minuto (g/kwh)

RPM	Super 95 RON	Extra 85 RON	Eco-plus 89 RON	Contaminación máxima		Contaminación mínima	
1000	0,1995	0,1868	0,0191	0,1995	Super 95 RON	0,0191	Eco-plus 89 RON
1500							
2000							
2500							
3000							
3500							
4000							
4500							
5000							
5500							

Realizado por: Vera, D. & Arias, J., 2023..

Tabla 4-29: Contaminación promedio de oxígeno a lo largo de todas las revoluciones por minuto (g/kwh)

RPM	Super 95 RON	Extra 85 RON	Eco-plus 89 RON	Contaminación máxima		Contaminación mínima	
1000	1,46	1,44	0,82	1,46	Super 95 RON	0,82	Eco-plus 89 RON
1500							

2000							
2500							
3000							
3500							
4000							
4500							
5000							
5500							

Realizado por: Vera, D. & Arias, J., 2023..

Por último, la tabla 30-4 muestra en un orden de menos a más la contaminación de las gasolinas en el rango de todas las revoluciones por minuto en cada agente producto de la combustión:

Tabla 4-30: Comparativa de menor a mayor gasolina contaminante en todo el rango de rpm con el 100% de carga aplicada

	Menos contaminante	Media contaminante	Mas contaminante
CO2	Eco-plus 89 RON	Extra 85 RON	Super 95 RON
CO	Super 95 RON	Extra 85 RON	Eco-plus 89 RON
HC	Super 95 RON	Eco-plus 89 RON	Extra 85 RON
NOx	Eco-plus 89 RON	Extra 85 RON	Super 95 RON
O2	Eco-plus 89 RON	Extra 85 RON	Super 95 RON

Realizado por: Vera, D. & Arias, J., 2023.

Para este caso en particular conforme los datos plasmados en la tabla 30-4 en el 50% de carga aplicada, en una altura de 2700 msnm, el motor produce mayor cantidad de emisiones contaminantes empleando la gasolina super 95 RON a lo largo de todo el recorrido de rpm previo al corte de inyección por lo cual en este sentido se puede considerar que esta gasolina impacta negativamente; por otro lado la gasolina que menos contamina es la Eco-plus 89 RON predominando en tres de los cinco indicadores y la gasolina extra 85 RON hace que el motor produzca emisiones contaminantes en menor cantidad que la gasolina super 95 RON pero en mayor número que con gasolina Eco-plus 89 RON; por lo tanto en este porcentaje de carga el motor se comporta más afín con el medio ambiente utilizando la gasolina Eco-plus 89 RON.

Análisis del consumo de combustible con el 100% de carga aplicada

A continuación, se presenta una gráfica representativa en donde se puede observar cómo se comporta el motor cuando se encuentra al 100% de la carga en cuanto al consumo que este tiene con las tres gasolinas.

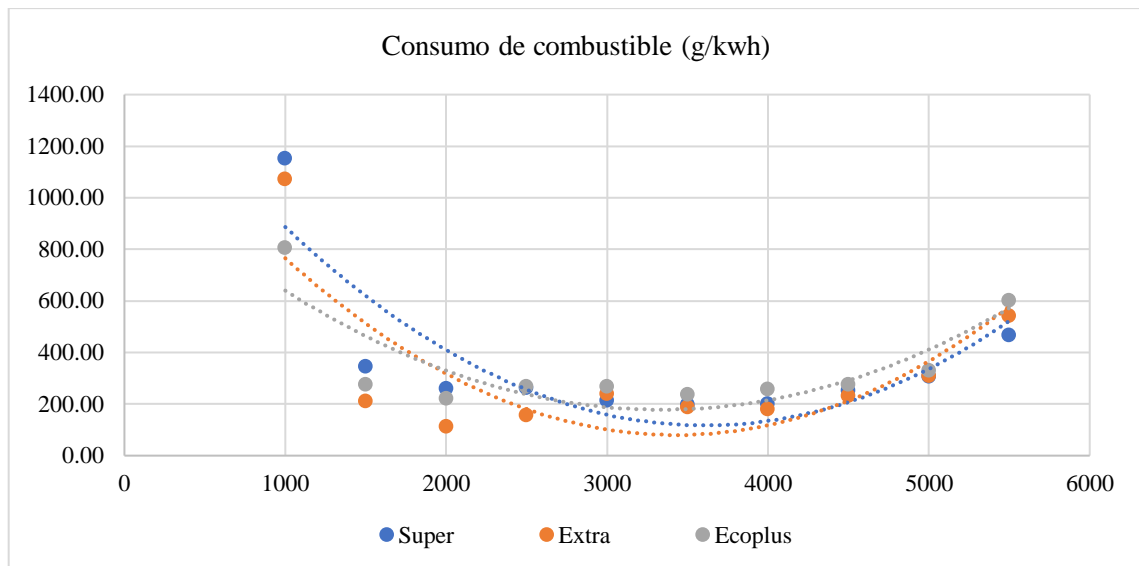


Ilustración 4-16: Consumo de combustible con cada combustible utilizado en el motor al 100% de carga aplicada

Realizado por: Vera, D. & Arias, J., 2023

En este caso se observa que las gráficas que corresponden a las diferentes gasolinas se comportan de manera diferente en cada rango de revoluciones por minuto, por lo cual se realizó un análisis en cada rango de rpm; en un inicio a 1000 rpm se observa que el motor obtiene mayor consumo de combustible cuando emplea la gasolina super 95 RON, le sigue la gasolina extra 85 RON, teniendo el consumo más bajo con la gasolina Eco-plus 89 RON; a medida que las revoluciones por minuto incrementan el consumo de las tres gasolinas desciende, sin embargo se puede observar que a 2000 rpm con gasolina super 95 RON el motor tiene el mayor consumo de combustible, en este punto la Eco-plus 89 RON incrementa el consumo y la extra 85 RON se posiciona como la gasolina que menor consumo provoca, siendo en este punto y el combustible que más bajo consumo provoca durante todo el rango de rpm; a 3000 rpm la tendencia sigue a la baja, pero en este caso la gasolina Eco-plus 89 RON es la de mayor consumo, seguido de la extra 85 RON y la super 95 RON presenta el menor consumo; en 4000 rpm la gasolina Eco-plus 89 RON sigue teniendo el mayor consumo, la gasolina super 95 RON posee un consumo inferior a su antecesora pero mayor a la gasolina extra 85 RON misma que se posiciona como la gasolina que menor consumo presenta en este punto; a las 5000 rpm la tendencia empieza a subir, siendo la extra 85 RON la que mayor consumo presenta, seguida de la super 95 RON y finalmente la Eco-plus 89 RON con el menor consumo de combustible, sin embargo cabe recalcar que las diferencias son mínimas por lo que conforme la gráfica se puede llegar a concluir que en este punto de análisis el consumo de los tres combustibles es casi idéntico; por último se observa que a 5500 rpm la tendencia incrementa y se puede apreciar que la gasolina Eco-plus 89 RON presenta el mayor consumo de combustible, posteriormente se encuentra la gasolina extra 85 RON y la gasolina super 95 RON siendo esta la que menor consumo de combustible presenta.

A continuación, se presenta la tabla 31-4 comparativa que permite determinar con cuál combustible el motor consume más en el rango de baja, mediana y alta rpm; las unidades se encuentran en (g/kwh):

Tabla 4-31: Comparativa de consumo de combustible a bajas, medianas y altas revoluciones por minuto al 100% de carga

	Super 95 RON	Extra 85 RON	Eco-plus 89 RON	Mayor consumo	Menor consumo
Baja rpm (1000-2500)	504.11	386.90	391.48	Super 95 RON	Extra 85 RON
Mediana rpm (3000-4000)	203.47	201.17	253.12	Eco-plus 89 RON	Extra 85 RON
Alta rpm (4500-5500)	340.92	360.50	401.67	Eco-plus 89 RON	Super 95 RON

Realizado por: Vera, D. & Arias, J., 2023..

Conforme la información mostrada en la tabla 31-4 se observa que a bajas rpm en el rango de 1000 a 2500, la gasolina super 95 RON provoca un mayor consumo de combustible con un valor de 504.11 g/kwh, mientras que la extra 85 RON es la gasolina que menor consumo provoca en el motor con un valor de 391.48 g/kwh; en el rango de medianas revoluciones de 3000 a 4000 rpm la gasolina Eco-plus 89 RON con un valor de 253.12 g/kwh es la que provoca mayor consumo de combustible y la gasolina extra 85 RON es la que menor consumo presenta con un valor de 201.17 g/kwh y por último en altas revoluciones por minuto en el rango de 4500 a 5500 rpm la gasolina Eco-plus 89 RON con un valor de 401.67 g/kwh presenta el mayor consumo de combustible, mientras que la gasolina super 95 RON con un valor de 340.92 g/kwh provoca el menor consumo de combustible.

Posteriormente en la tabla 32-4 se presenta una comparativa en porcentaje el consumo de combustible de cada gasolina tomando en cuenta el rango total de revoluciones por minuto; se toma como referencia a la gasolina extra puesto que es la de mayor consumo en el Ecuador, por lo que se obtiene lo siguiente:

Tabla 4-32: Comparativa en porcentaje del consumo de combustible en el rango total de revoluciones por minuto al 100% de carga

Gasolina	Consumo de combustible (g/kwh)	Comparativa con la gasolina Extra 85 RON
Eco-plus 89 RON	353.03	+9.21%
Super 95 RON	364.95	+12.89%

Realizado por: Vera, D. & Arias, J., 2023..

De acuerdo a lo expuesto en la tabla 32-4 la gasolina Eco-plus 89 RON provoca alrededor de 9.21% más de consumo de combustible, mientras que la gasolina super 95 RON provoca alrededor de 12.89% más de consumo de combustible de lo que provoca la gasolina Extra 85 RON en las mismas condiciones y en los mismos rangos de revoluciones por minuto.

Seguidamente en la tabla 33-4 se muestra el consumo de combustible que provoca cada gasolina en el motor; el consumo engloba todos los rangos de revoluciones por minuto involucrados en el análisis desde 1000 hasta 5500 rpm; las unidades se encuentran en (g/kwh):

Tabla 4-33: Consumo de combustible provocado en el motor con cada gasolina a lo largo de todas las revoluciones por minuto al 100% de carga

RPM	Super 95 RON	Extra 85 RON	Eco-plus 89 RON	Consumo máximo	Consumo mínimo
1000	364.96	323.26	353.03	Super 95 RON	Extra 85 RON
2000					
3000					
4000					
5000					
5500					

Realizado por: Vera, D. & Arias, J., 2023..

De acuerdo con la tabla 33-4 con el 100% de carga, a una altura de 2700 msnm en este motor, la gasolina que provoca mayor consumo de combustible es la super 95 RON con un valor promedio de 364.96 g/kwh; mientras que por otra parte la gasolina Extra 85 RON provoca el menor consumo de combustible en el motor con un valor de 323.26 g/kwh, siendo finalmente la gasolina Eco-plus 89 RON la que posee un valor intermedio de consumo. Por lo tanto, para lograr una mayor economía de combustible el motor debe emplear gasolina extra 85 RON, ya que la gasolina super 95 RON y Eco-plus 89 RON rinden de manera menos eficiente.

Análisis del consumo de combustible con el 50% de carga

En la gráfica se exhibe el comportamiento de cada una de las gasolinas en cuanto al consumo de combustible con 50% de carga aplicada en el dinamómetro en el rango de revoluciones comprendido para el estudio que va desde 1000 a 5500 rpm.

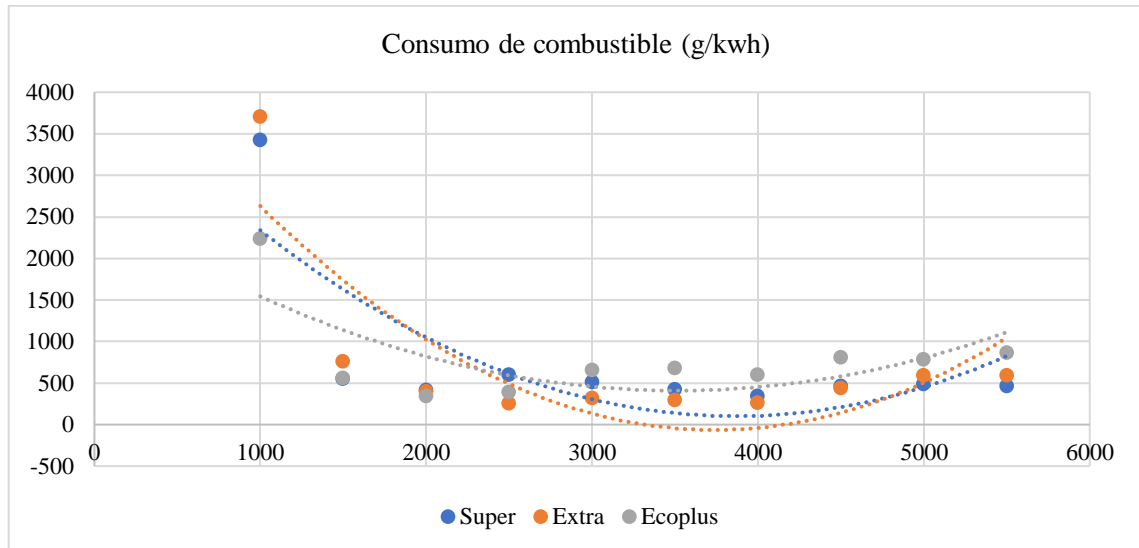


Ilustración 4-17: Consumo de combustible con cada combustible utilizado en el motor al 50% de carga aplicada

Realizado por: Vera, D. & Arias, J., 2023

Como se puede apreciar las gráficas de las tres gasolinas se comportan de manera irregular a lo largo de las rpm, por lo que es preciso realizar un análisis puntual, es así que en 1000 rpm se observa que la gasolina extra 85 RON presenta el mayor consumo de combustible, por debajo se encuentra la gasolina super 95 RON que tiene valores superiores a la gasolina Eco-plus 89 RON, siendo esta la que menor consumo de combustible presenta; a las 2000 rpm el consumo de combustible experimenta una caída en las tres gasolinas coincidiendo casi en el mismo punto, sin embargo se puede observar que el consumo es mínimamente mayor con la gasolina extra 85 RON y mínimamente inferior con gasolina Eco-plus 89 RON; en 3000 rpm la gasolina Eco-plus 89 RON, experimenta un crecimiento y en este punto es la gasolina que más consumo genera, le sigue la gasolina super 95 y la extra 85 RON es la que menor consumo de combustible genera en este punto; la gasolina Eco-plus 89 RON sigue siendo la que mayor consumo de combustible provoca a 4000 rpm, seguida de la gasolina super 95 RON y la extra 85 RON, convirtiéndose nuevamente en la que menor consumo de combustible genera; en 5000 rpm la tendencia empieza a subir, la gasolina Eco-plus 89 RON sigue siendo la de mayor consumo de combustible, posteriormente se encuentra la gasolina extra 85 RON y a la cola se encuentra la gasolina super 95 RON siendo esta la gasolina que menor consumo de combustible provoca en el motor; por

último en el punto de 5500 rpm la tendencia se mantiene, con la gasolina Eco-plus 89 RON como la que más consumo de combustible provoca, seguida de la gasolina extra 85 RON y finalmente la gasolina super 95 RON como la que menos consumo de combustible provoca en el motor.

A continuación, se presenta la tabla 34-4 comparativa que permite determinar con cuál combustible el motor consume más en el rango de baja, mediana y alta rpm; las unidades se encuentran en (g/kwh):

Tabla 4-34: Comparativa de consumo de combustible a bajas, medianas y altas revoluciones por minuto al 50% de carga

	Super 95 RON	Extra 85 RON	Eco-plus 89 RON	Consumo máximo	Consumo mínimo
Baja rpm (1000- 2500)	1245.99	1281.46	882.76	Extra 85 RON	Eco-plus 89 RON
Mediana rpm (3000-4000)	424.30	291.14	644.88	Eco-plus 89 RON	Extra 85 RON
Alta rpm (4500- 5500)	469.93	541.48	816.49	Eco-plus 89 RON	Super 95 RON

Realizado por: Vera, D. & Arias, J., 2023..

Conforme se aprecia en la tabla 34-4 en bajas revoluciones por minuto de 1000 a 2500 rpm, en promedio la gasolina que mayor consumo de combustible provoca es la extra 85 RON, mientras que la Eco-plus 89 RON corresponde a la de menor consumo de combustible; a medianas revoluciones comprendidas entre 3000 y 4000 rpm, la gasolina Eco-plus 89 RON es la que mayor consumo de combustible provoca en el motor, mientras que la gasolina extra 85 RON, es la responsable del menor consumo provocado en el motor; por último en altas revoluciones por minuto, comprendido entre 4500 y 5500 rpm la gasolina Eco-plus 89 RON y super 95 RON corresponden al mayor y menor consumo de combustible respectivamente.

Posteriormente en la tabla 35-4 se presenta una comparativa en porcentaje el consumo de combustible de cada gasolina tomando en cuenta el rango total de revoluciones por minuto; se toma como referencia a la gasolina extra puesto que es la de mayor consumo en el Ecuador, por lo que se obtiene lo siguiente:

Tabla 4-35: Comparativa en porcentaje del consumo de combustible en el rango total de revoluciones por minuto al 50% de carga

Gasolina	Consumo de combustible (g/kwh)	Comparativa con la gasolina Extra 85 RON
Eco-plus 89 RON	791.51	+3.82%
Super 95 RON	766.67	+0.56%

Realizado por: Vera, D. & Arias, J., 2023..

La información que proporciona la tabla 35-4 expresa que la gasolina Eco-plus 89 RON provoca un consumo de combustible 3.82% mayor al que provoca la gasolina Extra 85 RON al ser utilizada en el motor; por otro lado, la gasolina super 95 RON provoca 0.56% más consumo de combustible que lo provocado por la gasolina extra 85 RON en las mismas condiciones para todos los casos.

Para finalizar en la tabla 36-4 se muestra el consumo de combustible que provoca cada gasolina en el motor; el consumo engloba todos los rangos de revoluciones por minuto involucrados en el análisis desde 1000 hasta 5500 rpm; las unidades se encuentran en (g/kwh):

Tabla 4-36: Consumo de combustible provocado en el motor con cada gasolina a lo largo de todas las revoluciones por minuto al 50% de carga

RPM	Super 95 RON	Extra 85 RON	Eco-plus 89 RON	Consumo máximo	Consumo mínimo
1000	766.67	762.37	791.51	Eco-plus 89 RON	Extra 85 RON
2000					
3000					
4000					
5000					
5500					

Realizado por: Vera, D. & Arias, J., 2023..

De acuerdo con la tabla 36-4 con el 50% de carga, a una altura de 2700 msnm en este motor, la gasolina que provoca mayor consumo de combustible es Eco-plus 89 RON con un valor promedio de 791.51 g/kwh; mientras que la gasolina que menor consumo de combustible provoca es extra 85 RON con un valor promedio de 762.37 g/kwh; la gasolina super 95 RON posee un consumo intermedio; por lo tanto la gasolina que se optimiza de mejor manera es extra 95 RON, mientras que el motor requiere de mayor cantidad de super 95 RON y Eco-plus 89 RON para funcionar en igualdad de condiciones.

4.5. Realizar un estudio comparativo del rendimiento específico de combustible del motor con diferentes octanajes

Al realizar este estudio, la regresión te permite modelar la relación entre una variable independiente (en este caso, el octanaje) y una variable dependiente (consumo). A continuación, se muestran los resultados obtenidos con el análisis estadístico de ANOVA por medio del programa MINITAB versión 19.1, con el fin de comparar los parámetros que son afectados directamente con el octanaje de la gasolina, aplicando los RPM en la varianza de 50% y 100% de carga en operación de consumo específico de combustible. Los datos son tomados de la tabla 11-4 a continuación:

Tabla 4-37: Información del factor

Factor	Tipo	Niveles	Valores
RPM	Fijo	10	1000; 1500; 2000; 2500; 3000; 3500; 4000; 4500;5000; 5500
RON	Fijo	3	95; 89; 85

Fuente: minitab, 2019

Realizado por: Vera, D. & Arias, J., 2023..

Del análisis de varianza el consumo de combustible específico de la tabla proporcionada por Minitab teniendo en cuenta los criterios de confiabilidad de 0,95 y una significación del 0,05 por lo que se observa factores de la rpm y octanaje; Los grados de libertad me indican la información que está disponible para el estudio, suma de cuadrados, cuadrados medios, valor de Fisher y probabilidad

Tabla 4-38: Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
RPM	9	455376	50597	3,94	0,001
RON	2	79257	39629	3,09	0,055
Error	48	616252	12839		
Falta de ajuste	18	93311	5184	0,3	0,995
Error puro	30	522940	17431		
Total	59	1150885			

Fuente: minitab, 2019

Realizado por: Vera., D, & Arias. J, 2023.

Por consiguiente, para validar la hipótesis, se debe extraer el valor de Fisher adquirido a través de los factores de la investigación dando como resultados de rendimiento específico de combustible, para aceptar o rechazar la hipótesis nulas y alternativa, en la tabla de distribución de Fisher de

0,05 en los anexo A los grados de libertad corresponden al numerador y el error experimental es el denominador con la F rendimiento.

Tabla 4-39: Valores de críticos de Fisher y Prueba

Factores	GL Numerador	GL Denominador	F Tabla	F rendimiento
RPM	9	48	2,23	3,94
RON	2		3,19	3,09

Fuente: minitab, 2019

Realizado por: Vera., D. & Arias. J., 2023.

Aplicando interpolación simple para encontrar los valores críticos de F tabla 23-4 para cada factor y comparando con la F rendimiento específico, se puede identificar que los valores de RPM Y RON, puesto a que F rendimiento es mayor a F tabla se acepta la hipótesis nula, porque se encuentra en el intervalo de 95 % de confiabilidad

Tabla 4-40: Valor de F para cada factor comparado con la F de rendimiento específico.

F tabla $\alpha=0,05$	F rendimiento específico	Decisión
3,19 >	3,09	Hip. Nula

Fuente: minitab, 2019

Realizado por: Vera, D. & Arias, J., 2023.

En consecuencia, conviene distinguir que la hipótesis alterativa se acepta a partir de análisis ANOVA junto con la distribución F de Fisher con los factores de RPM Y RON, teniendo como enunciado de:

- El índice de octanaje de la gasolina no modifica el rendimiento específico de combustible en un motor de combustión interna 1600cc a 2700 msnm.

Mapas de consumo específico de combustible

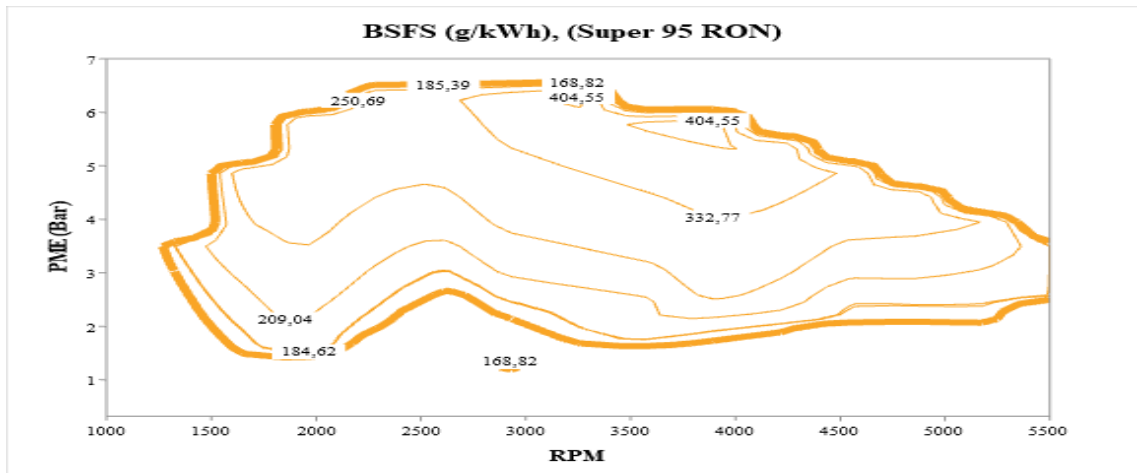


Ilustración 4-18: Gráficos de contornos de la gasolina de 95 octanos

Realizado por: Vera, D. & Arias, J., 2023.

En la Ilustración 18-4, que corresponde a la gasolina de 95 octanos, se destaca que la PME máxima es de 6,5 Bares, y esto se traduce en un consumo específico de combustible de 168,82 g/kWh. Este nivel de eficiencia se encuentra en un rango de RPM que va desde las 2000 hasta las 3500 RPM. Dentro de este intervalo, el motor puede funcionar de manera eficiente sin necesidad de aumentar la presión media efectiva.

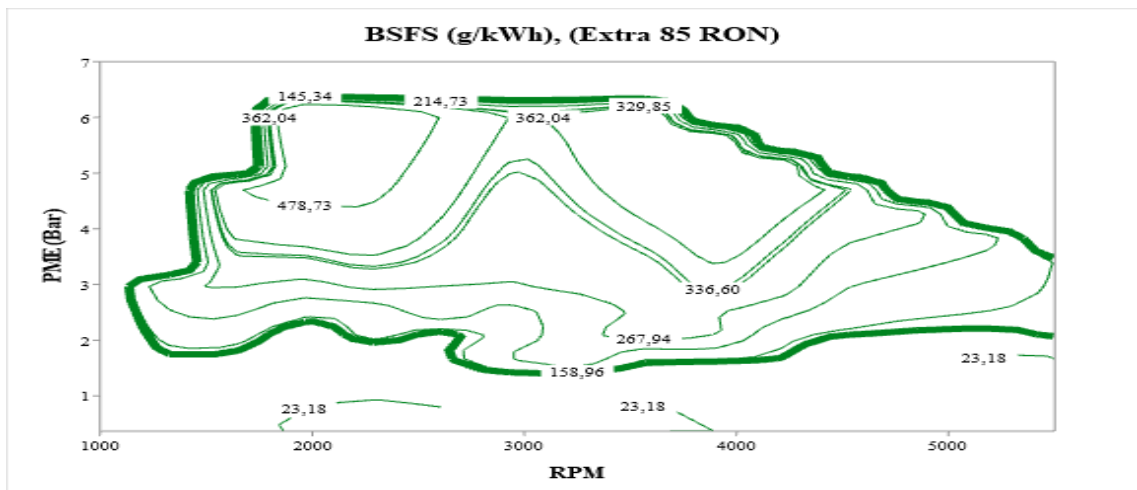


Ilustración 4-19: Gráficos de contornos de la gasolina de 85 octanos

Realizado por: Vera, D. & Arias, 2023.

En la Ilustración 4-19, que representa la gasolina de 85 octanos, se observa un menor consumo específico de combustible, con un valor de 145,34 g/kWh, alcanzando una presión media efectiva máxima de 6,3 Bares. En este mapa, se identifican dos regiones de consumo máximo en las zonas de operación a 2000 y 3500 RPM.

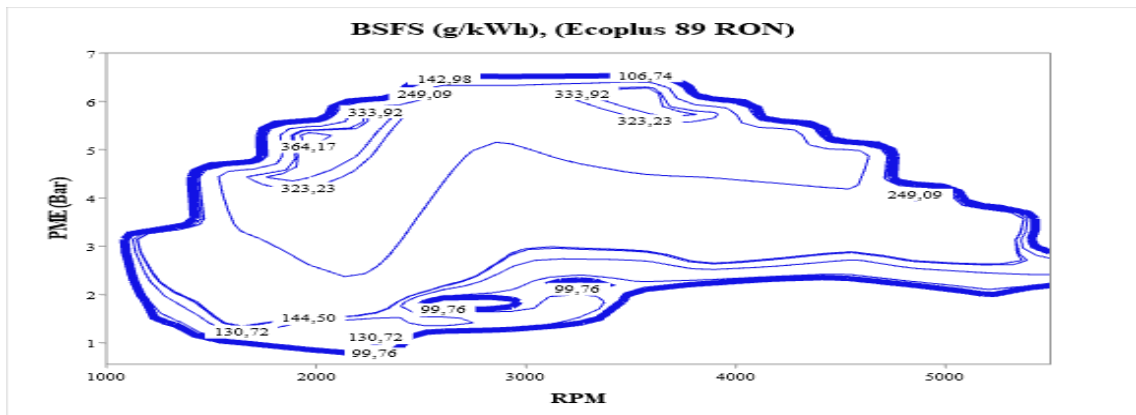


Ilustración 4-20: Gráficos de contornos de la gasolina de 89 octanos.

Realizado por: Vera, D. & Arias, J., 2023.

La Ilustración 20-4, que corresponde a la gasolina de 89 octanos, muestra que la máxima presión media efectiva de 6,5 Bares se logra en el rango de 3000 a 4000 RPM, manteniéndose en una zona de 142,98 g/kWh. Este comportamiento es similar al de la gasolina extra, con dos regiones de máximo consumo específico a 2000 y 3500 RPM.

En la siguiente tabla, se compararon las propiedades de tres tipos de gasolina: Super Premium (95 RON), Eco Plus (95 RON) y Extra (89 RON). Se realizaron pruebas de presión media efectiva (PME) y potencia en tres puntos de revoluciones por minuto (rpm): 1500, 3500 y 5500.

Tabla 4-41: Comparativa de regiones de los tres mapas de consumo específico de combustible.

Combustible	1500 rpm			3500 rpm			5500 rpm		
	PM E (Bar)	Pot. (kW)	CFS (g/kWh)	PM E (Bar)	Pot. (kW)	CFS (g/kWh)	PM E (Bar)	Pot. (kW)	CFS (g/kWh)
95 RON	4,8	9,7	343,7	6,5	30,7	197,2	3,6	26,5	465,6
89 RON	4,7	9,4	274,2	6,5	30,5	236,0	2,9	21,2	601,1
85 RON	4,8	9,7	209,1	6,3	29,6	186,5	3,5	25,7	540,7

Fuente: minitab, 2019

Realizado por: Vera, D. & Arias, J., 2023.

Los resultados mostraron que el combustible Super Premium (95 RON) tiene la mayor PME y potencia generada a bajas, media y altas revoluciones. La de mayor rendimiento de combustible

es la Extra de (85 RON), siendo la gasolina Eco-plus de un comportamiento medio a los dos combustibles de mayor popularidad en el país

CONCLUSIONES

El estudio llevó a cabo para medir las curvas de torque y potencia en un motor Chevrolet Aveo 1.6 litros utilizando un dinamómetro de rodillos y comparándolo con el equipo AVL, ha revelado una diferencia significativa del 24.80% en los datos. Esta discrepancia resalta la importancia de corregir los datos y la necesidad de considerar factores como la norma de corrección y las condiciones de prueba, como la altitud y el envejecimiento del equipo. La corrección de datos, especialmente en la potencia, muestra un buen ajuste ($R^2 = 0.8889$), pero el torque presenta una mayor dispersión en las mediciones ($R^2 = 0.6255$).

Las diferencias en la potencia máxima entre las gasolinas son relativamente pequeñas pero notables. La gasolina Súper Premium produce la potencia máxima más alta, con 41,54 HP a 4500 RPM, mientras que la Eco-plus tiene una potencia máxima de 41,23 HP que se desarrolla antes a 4000 RPM, siendo ligeramente menor que la Súper, pero aun así superior a la Extra. La gasolina de 85 octanos (Extra) proporciona la potencia máxima más baja, con 41.01 HP a 4500 RPM. La diferencia porcentual con respecto a la Extra es mayor en la Súper, con un 1,29%, seguida de la Eco-plus con un 0,55%.

Los resultados indican que tanto la gasolina Eco-plus como la Super muestran un par máximo ligeramente superior al de la Extra. El par máximo de la gasolina Eco-plus es de 54,3 Nm a 3000 RPM, seguido de la Super con un par máximo de 54,2 Nm a 3500 RPM, con una diferencia de tan solo 0,129 % con relación a la gasolina Extra, que Presenta un par de 54,1 Nm a 3500 RPM, siendo la opción más económica del mercado.

En el estudio sobre emisiones contaminantes se logró determinar que con el 100% de carga aplicada con el dinamómetro de motor, la gasolina Eco-plus 89 RON produce el mayor número de emisiones en todo el rango de revoluciones por minuto (rpm).

Dicha gasolina registró los valores más altos en tres de los cinco productos de la combustión analizados (CO₂, HC y O₂).

Por otra parte, la gasolina Extra 85 RON y Super 95 RON obtuvieron valores similares en cuanto a producción de emisiones pero inferiores a los obtenidos con gasolina Eco-plus 89 RON en igualdad de condiciones de estudio, dando como resultado que ambas gasolinas contaminan de manera similar.

El estudio realizado respecto a emisiones contaminantes con el 50% de carga aplicada en el dinamómetro de motores determinó que la gasolina más contaminante fue super 95 RON,

teniendo los valores más altos en tres de los cinco productos de la combustión analizados (CO₂, NO_x, O₂). En estas condiciones de análisis la gasolina Eco-plus 89 RON obtuvo los valores más bajos en tres de los cinco parámetros evaluados (CO₂, NO_x, O₂).

Es así que en el análisis de emisiones con el 100 y 50% de carga, se determinó que la gasolina Eco-plus 89 RON y Super 95 RON fueron las que generaron mayor contaminación respectivamente; por lo tanto de acuerdo a lo analizado el octanaje no estaría directamente relacionado con las emisiones contaminantes ya que los resultados no tuvieron concordancia con el nivel de octanaje de cada combustible.

En el análisis de consumo de combustible realizado con 100% de carga en el dinamómetro de motores y durante todo el rango de revoluciones por minuto, se determinó que la gasolina Super 95 RON, provocó el mayor consumo de combustible en el motor con un valor promedio de 364.96 g/kwh; 13% más del consumo registrado con Extra 85 RON, misma que fue la que menor consumo registró con un valor promedio de 323.26 g/kwh.

En el análisis realizado en cuanto al consumo de combustible con 50% de carga aplicada en el dinamómetro de motores y durante todo el rango de revoluciones por minuto, se determinó que la gasolina Eco-plus 89 RON provocó el mayor consumo de combustible en el motor, con un valor promedio de 791.51 g/kwh; 4% más del consumo registrado con Extra 85 RON, misma que fue la que menor consumo registró con un valor promedio de 762.37 g/kwh.

Referente al análisis de combustible realizado se pudo determinar resultados distintos en cuanto al 100 % y 50% de carga aplicada en el dinamómetro; siendo Super 95 RON y Eco-plus 89 RON las que mayor consumo de combustible registraron respectivamente y la gasolina Extra 85 RON, resultó ser la que menor consumo de combustible registró en ambas condiciones de análisis: por lo tanto el octanaje no se relaciona con el consumo de combustible.

Al llevar a cabo el estudio estadístico comparativo aplicando ANOVA y considerando los criterios de confiabilidad, los resultados indican que no hay evidencia significativa para afirmar que el octanaje de la gasolina tiene un impacto significativo en el rendimiento específico de combustible de un motor 1600 cc operando a una altitud de 2745 m.s.n.m. Los valores de Fisher del rendimiento para el factor de octanaje no superan los valores críticos de Fisher tabla, lo que respalda la aceptación de la hipótesis nula.

Al comparara los mapas de consumo específico de combustible se identifica que, en general, el rendimiento de los motores de combustión interna está estrechamente relacionado con las RPM y

la presión media efectiva (PME). La gasolina de 95 octanos demuestra un mayor rendimiento a altas revoluciones. La de mayor rendimiento de combustible de 85 octanos, siendo la gasolina Eco-plus 89 octanos de un comportamiento medio a los dos combustibles de mayor popularidad en el país

RECOMENDACIONES

Basado en los resultados y conclusiones obtenidas del estudio del efecto del octanaje sobre el desempeño y las emisiones del motor de combustión interna, se proponen las siguientes recomendaciones:

Se recomienda la implementación de un proceso de calibración y verificación periódica de ambos equipos de medición. Esto es esencial para asegurar mediciones precisas y coherentes en futuros estudios y pruebas de vehículos.

Dado que tu investigación ha arrojado resultados interesantes pero pequeñas diferencias, se recomienda que otros investigadores continúen estudiando y evaluando el impacto de diferentes tipos de gasolina en una variedad de condiciones y vehículos. Esto podría proporcionar información adicional y más completa sobre las implicaciones del combustible en el rendimiento del motor.

Evaluar los diferentes motores, extendiendo el estudio para abarcar diferentes tipos de motores de combustión interna, y así entender cómo las variaciones en el octanaje afectan diferentes tipos de motores.

Selección adecuada de gasolina, lo cual generan significativo en el desempeño y las emisiones del motor. En el estudio se recomienda profundizar la composición química vs trabajo mecánico del motor en cada tipo de gasolina empleada, y la influencia de las emisiones en el medio ambiente.

Realizar un estudio con gasolina Eco-plus 89 RON a diferentes altitudes sobre el nivel de mar para profundizar en el análisis del comportamiento de esta gasolina en cuanto a emisiones contaminantes y consumo de combustible

BIBLIOGRAFÍA

1. **AGUIAR ZUMBA, K.J. y ROJANO HERRERA, D.J.** Análisis comparativo de dos estrategias para la medición de consumo de combustible y validación de las mismas en un dinamómetro [en línea]. 2021. Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. [consulta: 19 mayo 2023]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/15382>.
2. **ANDRÉS LÓPEZ, F.T.B.P.B.R.D.B.** Metodología para inferir el mapa de desempeño y el consumo de combustible de un motor de combustión interna alternativo. Universidad del Azuay [en línea], 2022, vol. 5, [consulta: 4 octubre 2023]. Disponible en: http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2631-26542022000100043#B13.
3. **CALDERÓN ORELLANA MARIO FERNANDO.** IDENTIFICACIÓN DEL FALLO DE LOS INYECTORES DE UN MEC MEDIANTE EL ANÁLISIS DE LAS SEÑALES DE LOS SENSORES CKP Y CMP UTILIZANDO RNA. [en línea]. 2022, Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana. [consulta: 22 mayo 2023]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/23661/1/UPS-CT010144.pdf>.
4. **CARRERAS, R., FLOREZ, J., CALLEJON, I., CARRERA, X., BALSELLS, D., BONET, O., ESPADA, I., FORNS, S., ISIDRO, L., MIRET, T., SANCHEZ, D., SERRANO, A., SOLDEVILLA, X., VILLA, J., COSTA, R., FORCADELL, C. y CASANOVAS.** Motores alternativos de combustión interna [en línea]. 2005. Primera. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña. [consulta: 14 mayo 2023]. vol. 1. ISBN 84-8301-818-5. Disponible en: https://www.academia.edu/13386319/Motores_alternativos_de_combusti%C3%B3n_interna.
5. **COLIN R. FERGUSON ALLAN T. KIRKPATRICK.** Internal Combustion Engines Applied Thermosciences. Third Edition. Colorado: 2016. vol. 1. ISBN 978-1-118-53331-4.
6. **CONNER NICK.** Qué es el ciclo de Otto - pV, diagrama de Ts - definición. [en línea]. 2020. [consulta: 14 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.thermal-engineering.org/es/que-es-el-ciclo-de-otto-pv-diagrama-de-ts-definicion/>.
7. **DARQUEA, D.G.P.** Estudio de emisiones contaminantes utilizando combustibles locales. INNOVA Research Journal [en línea], 2018, vol. 3, no. 3, [consulta: 18 mayo 2023]. DOI 10.33890/innova. v3.n3.2018.635. Disponible en: <https://revistas.uide.edu.ec/index.php/innova/article/view/635>.
8. **DYNO DYNAMICS.** Dynotech 2WD - Dinámica Dyno. [en línea], 2023. [consulta: 19 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.dyno.com.au/dynotech/dynotech-2wd>.

9. **EP PETROECUADOR.** Precios de venta en terminales para las comercializadoras calificadas y autorizadas a nivel nacional. [en línea]. 2023, [consulta: 19 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.eppetroecuador.ec/wp-content/uploads/downloads/2023/05/ESTRUCTURA-DE-PRECIOS-SEGMENTO-AUTOMOTRIZ-Y-OTROS-MAYO-2023.pdf>.
10. EP Petroecuador socializó el plan piloto para la implementación de las nuevas gasolinas Eco Plus 89 octanos y Súper Premium 95 octanos – EP PETROECUADOR. [en línea], 2022. [consulta: 19 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.eppetroecuador.ec/?p=14160>.
11. **GODOY GUDIÑO DANIEL ALEJANDRO y VILLAMARIN FLORES SANTIAGO FIDEL.** CONSTRUCCIÓN DE UNA MAQUETA DE SIMULACIÓN DE SENSORES Y ACTUADORES AUTOMOTRICES DEL SISTEMA DE INYECCIÓN OBD 1 DEL MOTOR A GASOLINA DEL CORSA WIND 2001. [en línea]. IBARRA. 2016. Universidad Técnica del Norte. [consulta: 22 mayo 2023]. Disponible en: <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/7414/1/04%20MAUT%20005%20T RABAJO%20GRADO.pdf>.
12. **HEYWOOD, J.** Internal Combustion Engine Fundamentals 2E [en línea]. 2018. Segunda. S.l. [consulta: 18 mayo 2023]. ISBN 1260116115. Disponible en: https://books.google.com/books/about/Internal_Combustion_Engine_Fundamentals.html?hl=es&id=OmJUDwAAQBAJ.
13. **HOTTINGER BRÜEL & KJAER GMBH, Dyno Dynamics | HBM.** [en línea]. [consulta: 19 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.hbm.com/es/4004/dyno-dynamics/>.
14. **ISO 1585:1992 - Vehículos de carretera.** Código de prueba del motor. Potencia neta. [en línea], 1992. [consulta: 4 octubre 2023]. Disponible en: <https://www.iso.org/standard/6179.html>.
15. **IVÁN PATRICIO CUSANGUÁ AREVALO y CARLOS FABIÁN ASQUI CALERO,** «Reacondicionamiento del dinamómetro ingeniería automotriz de la Epoch para la obtención de curvas de torque, potencia y consumo de combustible de manera digital» [en línea]. Riobamba: 2021 ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO. [consulta: 15 mayo 2023]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/16007>.
16. **JONATHAN PATRICIO FONSECA ROSALES y JUNIOR DAVID GRANIZO REVELO.** ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS CURVAS DE TORQUE Y POTENCIA OBTENIDAS POR EL SENSOR AVL Y EL DINAMÓMETRO [en línea]. 2022. Riobamba: 2022 ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE

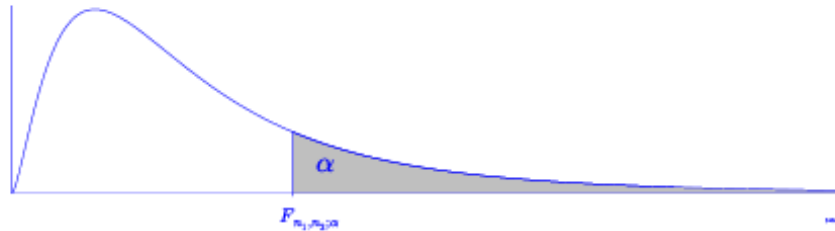
- CHIMBORAZO. [consulta: 15 mayo 2023]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/17992>.
17. **LLANES CEDEÑO, E.A., ROCHA-HOYOS, J.C., PERALTA ZURITA, D.B. y LEGUÍSAMO MILLA, J.C.** Evaluación de emisiones de gases en un vehículo liviano a gasolina en condiciones de altura. Caso de estudio Quito, Ecuador. 2018. Enfoque UTE, vol. 9, no. 2, ISSN 1390-9363. DOI 10.29019/ENFOQUEUTE.V9N2.201.
 18. **LOOR MIÑO, C.A. y LOOR MIÑO, C.A.** Estudio y análisis de curvas de eficiencia y desempeño del chevrolet aveo emotion 2015 con motor 1.6l usando combustible super. [en línea], 2016 pp. 45. Guayaquil: Universidad Internacional del Ecuador. [consulta: 15 mayo 2023]. Disponible en: <https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/1012>.
 19. **LÓPEZ SÁNCHEZ, J.J., SALVADOR RUBÍO, F.J., NOVELLA ROSA, R. y GARCÍA MARTÍNEZ, A.** Cuestiones y problemas resueltos de motores de combustión interna alternativos. S.l.: s.n. ISBN 978-84-9048-052-6.
 20. **MINISTRO, A. 9, 1d. C.** Corresponde a la Función Ejecutiva la formulación de la política de hidrocarburos. 2022 [en línea], vol. 6, [consulta: 19 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.eppetroecuador.ec/wp-content/uploads/downloads/2022/06/PPT-NUEVAS-GASOLINAS.pdf>.
 21. **MUJTABA, M.A., KALAM, A., MASJUKI, H.H., GUL, M., AHMED, W., SOUDAGAR, M.E.M. y RAZZAQ, L.** Comparative investigation of the suitability of fuel properties of oxygenated biofuels in internal combustion engines. Advancement in Oxygenated Fuels for Sustainable Development, DOI 10.1016/B978-0-323-90875-7.00010-1.
 22. Normalización [en línea]. 2017. S.l.: s.n. [consulta: 4 octubre 2023]. Disponible en: <https://apps.normalizacion.gob.ec/descarga/index.php/buscar>.
 23. **PAYRI, F. y DESANTES, J.M.** Motores de combustión interna alternativos [en línea]. Valencia: Editorial Reverté, S. A., 2011, pp. 8-152 [consulta: 13 mayo 2023]. vol. 1. ISBN 9788483637050. Disponible en: www.reverte.com.
 24. **RICARDO GARCÍA.** Combustión y combustibles - 01C22 01 COMBUSTION COMBUSTION Y COMBUSTIBLES Ricardo García San José. - Studocu [en línea]. 2001. San José.: s.n. [consulta: 17 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.studocu.com/pe/document/universidad-tecnologica-del-peru/la-definicion-como-estrategia-argumentativa/combustion-y-combustibles/21648303>.
 25. **ROCÍO B. MAYORGA-PONCEA, K.S.-P.M.-A.D.S.-V. dy U.I.M.-V.** Vista de Cuadro comparativo “Estadística inferencial y descriptiva”. [en línea], vol. 8, no. 16, [consulta: 19 mayo 2023]. Disponible en: <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/ICSA/article/view/5806/7202>.
 26. **RUDOLF PISCHINGER.** Engine Indicating. Graz: 2002.

27. **TAIPE-DEFAZ, V.A., LLANES-CEDENO, E.A., MORALES-BAYETERO, C.F. y CHECA-RAMÍREZ, A.E.** Evaluation of an experimental induced ignition engine under different gasoline. Ingenius [en línea], vol. 2021, no. 26, pp. 17-29, [consulta: 5 mayo 2023]. ISSN 1390-860X. DOI 10.17163/INGS.N26.2021.02. Disponible en: <https://ingenius.ups.edu.ec/index.php/ingenius/article/view/26.2021.02/5132>.
28. **VARGAS PROAÑO, A.S. y POZO BALSECA, J.L.** Análisis comparativo entre las curvas de torque, potencia y consumo específico de un motor Chevrolet Aveo 1.6l al realizarle una modificación de cilindrada [en línea]. S.l.: s.n. [consulta: 18 mayo 2023]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/16028>.
29. **ŽAGLINSKIS, J., VĖGNERIS, R., RIMKUS, A., RAPALIS, P. y MELAIKA, M.** Research into the influence of turbocharger system leakage on the parameters of the external work of 1.9 tdi diesel engine. Mokslas – Lietuvos ateitis / Science – Future of Lithuania [en línea], 2013, vol. 5, no. 5, [consulta: 19 mayo 2023]. ISSN 2029-2252. DOI 10.3846/MLA.2013.86. Disponible en: <https://journals.vilniustech.lt/index.php/MLA/article/view/3963>.

ANEXOS

ANEXO A: VALORES CRÍTICOS DE LA DISTRIBUCIÓN F (0,5)

DISTRIBUCIÓN F $\alpha = 0.05$



Ejemplo: para $n_1 = 5$, $n_2 = 10$ y $\alpha = 0.05$, $F_{5,10;0.05} = 3.326$, significa que $P(F_{5,10} > 3.326) = 0.05$.

n_2	n_1															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	16	18	20	24
1	161.4	199.5	215.7	224.6	230.2	234.0	236.8	238.9	240.5	241.9	243.9	245.9	246.5	247.3	248.0	249.1
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.41	19.43	19.43	19.44	19.45	19.45
3	10.13	9.552	9.277	9.117	9.013	8.941	8.887	8.845	8.812	8.786	8.745	8.703	8.692	8.675	8.660	8.639
4	7.709	6.944	6.591	6.388	6.256	6.163	6.094	6.041	5.999	5.964	5.912	5.858	5.844	5.821	5.803	5.774
5	6.608	5.786	5.409	5.192	5.050	4.950	4.876	4.818	4.772	4.735	4.678	4.619	4.604	4.579	4.558	4.527
6	5.987	5.143	4.757	4.534	4.387	4.284	4.207	4.147	4.099	4.060	4.000	3.938	3.922	3.896	3.874	3.841
7	5.591	4.737	4.347	4.120	3.972	3.866	3.787	3.726	3.677	3.637	3.575	3.511	3.494	3.467	3.445	3.410
8	5.318	4.459	4.066	3.838	3.687	3.581	3.500	3.438	3.388	3.347	3.284	3.218	3.202	3.173	3.150	3.115
9	5.117	4.256	3.863	3.633	3.482	3.374	3.293	3.230	3.179	3.137	3.073	3.006	2.989	2.960	2.936	2.900
10	4.965	4.103	3.708	3.478	3.326	3.217	3.135	3.072	3.020	2.978	2.913	2.845	2.828	2.798	2.774	2.737
11	4.844	3.982	3.587	3.357	3.204	3.095	3.012	2.948	2.896	2.854	2.788	2.719	2.701	2.671	2.646	2.609
12	4.747	3.885	3.490	3.259	3.106	2.996	2.913	2.849	2.796	2.753	2.687	2.617	2.599	2.568	2.544	2.505
13	4.667	3.806	3.411	3.179	3.025	2.915	2.832	2.767	2.714	2.671	2.604	2.533	2.515	2.484	2.459	2.420
14	4.600	3.739	3.344	3.112	2.958	2.848	2.764	2.699	2.646	2.602	2.534	2.463	2.445	2.413	2.388	2.349
15	4.543	3.682	3.287	3.056	2.901	2.790	2.707	2.641	2.588	2.544	2.475	2.403	2.385	2.353	2.328	2.288
16	4.494	3.634	3.239	3.007	2.852	2.741	2.657	2.591	2.538	2.494	2.425	2.352	2.333	2.302	2.276	2.235
17	4.451	3.592	3.197	2.965	2.810	2.699	2.614	2.548	2.494	2.450	2.381	2.308	2.289	2.257	2.230	2.190
18	4.414	3.555	3.160	2.928	2.773	2.661	2.577	2.510	2.456	2.412	2.342	2.269	2.250	2.217	2.191	2.150
19	4.381	3.522	3.127	2.895	2.740	2.628	2.544	2.477	2.423	2.378	2.308	2.234	2.215	2.182	2.155	2.114
20	4.351	3.493	3.098	2.866	2.711	2.599	2.514	2.447	2.393	2.348	2.278	2.203	2.184	2.151	2.124	2.082
21	4.325	3.467	3.072	2.840	2.685	2.573	2.488	2.420	2.366	2.321	2.250	2.176	2.156	2.123	2.096	2.054
22	4.301	3.443	3.049	2.817	2.661	2.549	2.464	2.397	2.342	2.297	2.226	2.151	2.131	2.098	2.071	2.028
23	4.279	3.422	3.028	2.796	2.640	2.528	2.442	2.375	2.320	2.275	2.204	2.128	2.109	2.075	2.048	2.005
24	4.260	3.403	3.009	2.776	2.621	2.508	2.423	2.355	2.300	2.255	2.183	2.108	2.088	2.054	2.027	1.984
25	4.242	3.385	2.991	2.759	2.603	2.490	2.405	2.337	2.282	2.236	2.165	2.089	2.069	2.035	2.007	1.964
26	4.225	3.369	2.975	2.743	2.587	2.474	2.388	2.321	2.265	2.220	2.148	2.072	2.052	2.018	1.990	1.946
27	4.210	3.354	2.960	2.728	2.572	2.459	2.373	2.305	2.250	2.204	2.132	2.056	2.036	2.002	1.974	1.930
28	4.196	3.340	2.947	2.714	2.558	2.445	2.359	2.291	2.236	2.190	2.118	2.041	2.021	1.987	1.959	1.915
29	4.183	3.328	2.934	2.701	2.545	2.432	2.346	2.278	2.223	2.177	2.104	2.027	2.007	1.973	1.945	1.901
30	4.171	3.316	2.922	2.690	2.534	2.421	2.334	2.266	2.211	2.165	2.092	2.015	1.995	1.960	1.932	1.887
35	4.121	3.267	2.874	2.641	2.485	2.372	2.285	2.217	2.161	2.114	2.041	1.963	1.942	1.907	1.878	1.833

