



# **UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

### **TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO AUTOMOTRIZ**

#### **TEMA: ANÁLISIS DEL NIVEL DE OCTANAJE EN COMBUSTIBLES COMERCIALIZADOS EN ECUADOR Y SU REPERCUSIÓN EN EL DESEMPEÑO DEL MCI**

##### **AUTORES:**

**ARBOLEDA PASPUEL MICHAEL EDUARDO**

**HERNÁNDEZ MERA MARLON EDMUNDO**

**DIRECTOR: ING. JORGE LUIS MELO OBANDO, MSc.**

**IBARRA, 2023**

## CERTIFICADO

### ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR

En mi calidad de director del plan de trabajo de grado, previo a la obtención del título de Ingeniería Automotriz, nombrado por el Honorable Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas.

### CERTIFICO

Que una vez analizado el plan de grado cuyo título es "ANÁLISIS DEL NIVEL DE OCTANAJE EN COMBUSTIBLES COMERCIALIZADOS EN ECUADOR Y SU REPERCUSIÓN EN EL DESEMPEÑO DEL MCI" presentado por los señores: Arboleda Paspuel Michael Eduardo con número de cédula 100460669-3 y Hernández Mera Marlon Edmundo con número de cédula 040187172-8, doy fe que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a presentación pública y evaluación por parte de los señores integrantes del jurado examinador que se designe.

En la ciudad de Ibarra, a los 25 días del mes mayo del 2023

Atentamente



Ing. Jorge Luis Melo Obando, MSc  
DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADO



## UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

### AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

#### 1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b>	100460669-3		
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	Arboleda Paspuel Michael Eduardo		
<b>DIRECCIÓN:</b>	Ibarra – 13 de Abril y El Carmen		
<b>EMAIL:</b>	mearboledap@utn.edu.ec		
<b>TELÉFONO FIJO:</b>	0993469871	<b>TELÉFONO MÓVIL:</b>	0993469871

DATOS DE CONTACTO			
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b>	040187172-8		
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	Hernández Mera Marlon Edmundo		
<b>DIRECCIÓN:</b>	Ibarra – Ulpiano Navarro y Obispo Jesús Yerovi		
<b>EMAIL:</b>	mehernandezm@utn.edu.ec		
<b>TELÉFONO FIJO:</b>	0990471123	<b>TELÉFONO MÓVIL:</b>	0990471123


DATOS DE LA OBRA	
<b>TÍTULO:</b>	Análisis del nivel de octanaje en combustibles comercializados en Ecuador y su repercusión en el desempeño del MCI
<b>AUTOR (ES):</b>	Arboleda Paspuel Michael Eduardo Hernández Mera Marlon Edmundo
<b>FECHA: DD/MM/AAAA</b>	26/05/2023
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
<b>PROGRAMA:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
<b>TÍTULO POR EL QUE OPTA:</b>	INGENIERÍA AUTOMOTRIZ
<b>ASESOR /DIRECTOR:</b>	Ing. Jorge Luis Melo Obando, MSc

## 2. CONSTANCIAS

Los autores manifiestan que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que son ellos titulares de los derechos patrimoniales, por lo que asumen la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrán en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

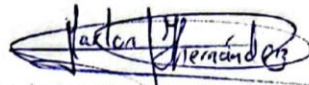
Ibarra, a los 26 días del mes de mayo del 2023.

### AUTORES:



Arboleda Paspuel Michael Eduardo

100460669-3



Hernández Merá Marlon Edmundo

040187172-8

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de grado se lo dedico a mis padres, abuelos y todas las personas de mi familia, quienes con sus consejos y el apoyo que me han brindado a lo largo de toda mi vida, han logrado guiarme por el camino correcto para convertirme en un buen profesional, pero más que nada en una persona de bien.

**Arboleda Paspuel Michael Eduardo**

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de grado se lo dedico a mi madre y hermanas las personas más importantes en mi vida, siendo un ejemplo de superación y coraje e invitarme a seguir sus pasos enseñándome que los objetivos mientras más grandes y lejanos se vean, la satisfacción al alcanzarlos será mayor.

A todas las personas que formaron parte en esta travesía universitaria, en especial a mis amigos ya que con sus consejos y el apoyo brindado por su parte han logrado motivarme a seguir hacia adelante y enseñarme el verdadero significado del compañerismo y la amistad al no dejarme atrás en los momentos que he tropezado.

**Hernández Mera Marlon Edmundo**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios por haberme brindado la sabiduría necesaria para poder afrontar la vida universitaria de la mejor manera y sobreponerme a cualquier contratiempo académico.

A mis padres, hermana, abuelos, tíos y primos quienes estuvieron presentes a largo de toda mi época universitaria apoyándome e inspirándome a mejorar y convertirme en un buen profesional, pero más que nada inculcándome los valores necesarios para convertirme en una buena persona.

A mis amigos, excelentes personas que he conocido en esta etapa de mi vida, con quienes he compartido grandes experiencias y sobre todo nos hemos apoyado en los momentos que más necesitamos para salir adelante y obtener nuestra meta de convertirnos en ingenieros para trabajar por el futuro de nuestro país.

Deseo expresar mis más sinceros agradecimientos a la Universidad Técnica del Norte, institución que me ha brindado sólidos conocimientos para desempeñarme en el campo profesional. Así como a todos y cada uno de los docentes de la carrera de Ingeniería Automotriz quienes con el paso del tiempo para mí se han convertido en un ejemplo a seguir.

**Arboleda Paspuel Michael Eduardo**



## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por brindarme la vida, sabiduría, fortaleza, valentía y coraje para afrontar cada reto que se han presentado a lo largo de mi vida personal y académica, los cuales me han hecho crecer y madurar convirtiéndome en una persona fuerte, respetuosa e inteligente con una gran mentalidad para seguir superándose.

A mi madre, Flor Hernández por su fuerza y coraje para sacarme adelante dándome esta gran oportunidad de cambiar el destino de mi vida, por su amor y amabilidad que siempre tuvo conmigo sin nunca enseñarme un indicio de debilidad de su parte mostrándome que cualquier objetivo por más grande que este sea, es fácil de alcanzar si se pone a Dios en primer lugar.

A mis tres Hermanas, Katty, Mayra y Patricia las chicas que me enseñaron a ser un chico ordenado, responsable con mis deberes y obligaciones desde que fui un niño hasta la actualidad, a ellas por enseñarme el valor del respeto hacia los que me rodean y darme el ejemplo de superación.

A mis amigos Michael, Christian y Danny por siempre estar a mi lado, que a pesar de las dificultades por mas grandes que fuesen, ellos siempre lo hacían ver fácil, por darme alegrías, soluciones y nunca dejarme solo en esta travesía universitaria, al compartirme sus conocimientos y regalarme su tiempo, por las anécdotas que se quedaron gravadas en esta bella etapa de mi vida.

Deseo expresar mis más sinceros agradecimientos a la Universidad Técnica del Norte y a la carrera de Ingeniería Automotriz por haberme brindado sólidos conocimientos para desempeñarme en el campo profesional.

Al ingeniero Andrés Cevallos, por encaminarnos en este trabajo de grado, a si mismo al ingeniero Jorge Melo siendo nuestro tutor, por acompañar y guiar el desarrollo de dicho proyecto hasta su culminación y a todos los docentes en general por brindarme todos sus conocimientos que me formaron para lograr ser un Ingeniero Automotriz.

**Hernández Mera Marlon Edmundo**



## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>ÍNDICE DE CONTENIDOS</b>	ix
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	xiii
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	xv
<b>ÍNDICE DE ECUACIONES</b>	xvi
<b>ÍNDICE DE ANEXOS</b>	xvii
<b>RESUMEN</b>	xviii
<b>ABSTRACT</b>	xix
<b>INTRODUCCIÓN</b>	xx
<b>CAPÍTULO I</b>	1
<b>1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</b>	1
1.1. Objetivos	1
1.1.1. Objetivo general	1
1.1.2. Objetivos específicos	1
1.2. Justificación	1
1.3. Alcance	2
1.4. Antecedentes	3
1.5. Planteamiento del problema	4
1.6. Situación actual	5
1.7. Motores de combustión interna de encendido provocado	6
1.7.1. Historia de los motores de combustión interna	6
1.7.2. Motor de combustión interna	7
1.7.3. Ciclo del motor de combustión interna a gasolina	7
1.7.4. Relación de compresión	11
1.8. Fundamentos de la combustión	12
1.8.1. Definición de combustión	12
1.8.2. Química de la combustión	12
1.8.3. Residuos de la combustión: gases contaminantes	13
1.8.4. Estequiometría	14
1.8.5. Fundamentos del dosado	14
1.9. Combustibles para la automoción: gasolina	15
1.9.1. Introducción y conceptos	15
1.9.1.1. Definición de gasolina	15
1.9.1.2. Volatilidad	16
1.9.1.3. Peso específico	16
1.9.1.4. Densidad	16
1.9.2. Capacidad antidetonante de la gasolina: octanaje	16
1.9.2.1. Índice de octano	16
1.9.2.2. Métodos de ensayo para determinación de octanaje	18
1.9.3. Gasolinas en el Ecuador	18
1.9.3.1. Gasolina Súper Premium	19
1.9.3.2. Gasolina Extra	20
1.9.3.3. Gasolina Eco-País	21
1.9.3.4. Gasolina Eco-Plus	21
1.9.4. Mejoradores del combustible	22
1.9.4.1. Aditivos para gasolina	22
1.9.4.2. Tipos de aditivos	22

1.10. Fenómeno del golpeteo	23
1.10.1. Definición del golpeteo	23
1.10.2. Retardo de encendido	24
1.10.3. Sensor de detonación	24
1.11. Normas y métodos empleados en el desarrollo de ensayos	25
1.11.1. Norma ISO 17025 – Competencia de los laboratorios de ensayo y calibración	25
1.11.2. Norma ISO 1585 – Vehículos de carretera -código de prueba del motor - potencia neta	25
1.11.3. Método ASTM D2699 - Método de prueba estándar para la investigación del número de octanos del combustible para motores de encendido por chispa	25
1.11.4. Norma NTE INEN 2204 - Límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres que emplean gasolina	26
<b>CAPÍTULO II</b>	<b>28</b>
<b>2. MATERIALES Y MÉTODOS</b>	<b>28</b>
2.1. Metodología de la investigación	28
2.1.1. Tipo de investigación	28
2.1.1.1. Investigación bibliográfica	28
2.1.1.2. Investigación tecnológica	28
2.1.2. Métodos	28
2.1.2.1. Analítico-sintético	28
2.1.2.2. Deductivo-inductivo	29
2.1.2.3. Experimental	29
2.2. Proceso metodológico	29
2.2.1. Descripción de variables y parámetros de estudio	30
2.2.2. Selección de aditivos elevadores de octanaje: caso estudio, ibarra	31
2.2.3. Determinación de muestras de combustibles y variantes con aditivos para ensayos	32
2.2.4. Descripción de vehículo para pruebas	33
2.2.5. Definición de equipos e instrumentos	34
2.2.5.1. Dinamómetro Dyno Vamag	34
2.2.5.2. Analizador de gases Brain Bee AGS-688	36
2.2.5.3. Tacómetro MGT – 300	37
2.2.5.4. Osciloscopio G-Scope 2	37
2.2.6. Diseño y planificación de la campaña experimental	39
2.2.6.1. Adquisición de gasolinas y aditivos	39
2.2.6.2. Preparación de muestras del combustible y procedimiento para medición de octano	40
2.2.6.3. Preparación del vehículo para pruebas	41
2.2.6.4. Procedimiento para determinación de potencia y par motor en el dinamómetro	41
2.2.6.5. Procedimiento para emisiones de gases	42
2.2.6.6. Procedimiento para pruebas en ruta del sensor Knock	42
<b>CAPÍTULO III</b>	<b>44</b>
<b>3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>44</b>
3.1. Análisis de la medición del índice de octanaje	44
3.1.1. Resultados de laboratorio	44
3.2. Análisis de potencia y par motor alcanzados por tipo de combustible y sus variantes con aditivos	45
3.2.1. Pruebas de potencia y par motor utilizando gasolina Extra	46

3.2.1.1. Pruebas de potencia	46
3.2.1.2. Pruebas de par motor	47
3.2.1.3. Curvas características	48
3.2.2. Pruebas de potencia y par motor utilizando gasolina Extra más aditivo 1	49
3.2.2.1. Pruebas de potencia	49
3.2.2.2. Pruebas de par motor	50
3.2.2.3. Curvas características	51
3.2.3. Pruebas de potencia y par motor utilizando gasolina Extra más aditivo 2	52
3.2.3.1. Pruebas de potencia	52
3.2.3.2. Pruebas de par motor	53
3.2.3.3. Curvas características	54
3.2.4. Pruebas de potencia y par motor utilizando gasolina Súper Premium	55
3.2.4.1. Pruebas de potencia	55
3.2.4.2. Pruebas de par motor	56
3.2.4.3. Curvas características	57
3.2.5. Comparación de resultados de potencia y par motor alcanzados por tipo de combustible	58
3.2.5.1. Comparación de potencia	58
3.2.5.2. Comparación de par motor	59
3.3. Análisis del efecto causado en los gases de escape por el uso de diferentes variantes de combustibles	60
3.3.1. Análisis de monóxido de carbono	61
3.3.1.1. Monóxido de carbono emanado con gasolina Extra vs Extra más aditivo 1	61
3.3.1.2. Monóxido de carbono emanado con gasolina Extra vs Extra más aditivo 2	61
3.3.1.3. Monóxido de carbono emanado con gasolina Extra vs Súper Premium	62
3.3.1.4. Comparación de resultados de Monóxido de Carbono	63
3.3.2. Análisis de dióxido de carbono	64
3.3.2.1. Dióxido de carbono emanado con gasolina Extra vs Extra más aditivo 1	64
3.3.2.2. Dióxido de carbono emanado con gasolina Extra vs Extra más aditivo 2	65
3.3.2.3. Dióxido de carbono emanado con gasolina Extra vs Súper Premium	65
3.3.2.4. Comparación de resultados de Dióxido de Carbono	66
3.3.3. Análisis de hidrocarburos	67
3.3.3.1. Hidrocarburos emanados con gasolina Extra vs Extra más aditivo 1	67
3.3.3.2. Hidrocarburos emanados con gasolina Extra vs Extra más aditivo 2	68
3.3.3.3. Hidrocarburos emanados con gasolina Extra vs Súper Premium	69
3.3.3.4. Comparación de resultados de Hidrocarburos	69
3.3.4. Análisis de concentración de oxígeno	71
3.3.4.1. Oxígeno emanado con gasolina Extra vs Extra más aditivo 1	71
3.3.4.2. Oxígeno emanado con gasolina Extra vs Extra más aditivo 2	71
3.3.4.3. Oxígeno emanado con gasolina Extra vs Súper Premium	72
3.3.4.4. Comparación de resultados de Oxígeno	73
3.3.5. Variación del factor lambda en función del combustible utilizado	74
3.3.5.1. Factor lambda obtenido con gasolina Extra vs Extra más aditivo 1	74
3.3.5.2. Factor lambda obtenido con gasolina Extra vs Extra más aditivo 2	75
3.3.5.3. Factor lambda obtenido con gasolina Extra vs Súper Premium	75
3.3.5.4. Comparación de resultados del factor Lambda	76
3.4. Análisis del comportamiento del sensor Knock producido por la variación de octanaje	77
3.4.1. Análisis del comportamiento del sensor Knock con gasolina Extra	78

3.4.2. Análisis del comportamiento del sensor Knock con gasolina Extra más aditivo 1	78
3.4.3. Análisis del comportamiento del sensor Knock con gasolina Extra más aditivo 2	79
3.4.4. Análisis del comportamiento del sensor Knock con gasolina Súper Premium	80
3.4.5. Comparación de resultados del comportamiento del sensor Knock	81
<b>CAPÍTULO IV</b>	<b>82</b>
<b>4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>82</b>
4.1. Conclusiones	82
4.2. Recomendaciones	83
<b>REFERENCIAS</b>	<b>85</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>88</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>TABLA NÚM</b>	<b>PÁGINA</b>
Tabla 1.1 Requisitos de la gasolina de 95 octanos (RON)	19
Tabla 1.2 Requisitos de la gasolina de 85 octanos (RON)	20
Tabla 1.3 Requisitos para gasolina con etanol anhidro carburante	21
Tabla 1.4 Requisitos de la gasolina de 89 octanos (RON)	21
Tabla 1.5 Límites máximos de emisiones permitidos para fuentes móviles terrestres que emplean gasolina. Marcha mínima	26
Tabla 2.1 Variables y parámetros de estudio	30
Tabla 2.2 Combustibles para ensayos	33
Tabla 2.3 Especificaciones técnicas Tiggo 2	34
Tabla 2.4 Especificaciones técnicas del Dyno Vamag	35
Tabla 2.5 Escalas de medición del Analizador de gases Brain Bee AGS-688	36
Tabla 2.6 Especificaciones técnicas del Osciloscopio G-SCOPE 2	38
Tabla 2.7 Dosis de aditivo evaluadas	40
Tabla 3.1 Resultados de nivel de octanaje obtenido mediante ensayo de laboratorio	44
Tabla 3.2 Potencia obtenida con gasolina Extra	46
Tabla 3.3 Par-motor usando gasolina Extra	47
Tabla 3.4 Potencia obtenida con gasolina Extra más aditivo 1	49
Tabla 3.5 Par motor usando aditivo 1 en gasolina Extra	50
Tabla 3.6 Potencia obtenida con gasolina Extra más aditivo 2	52
Tabla 3.7 Par motor usando aditivo 2 en gasolina Extra	53
Tabla 3.8 Potencia obtenida con gasolina Súper-Premium	55
Tabla 3.9 Par-motor usando mezcla de gasolina Extra y Súper Premium	56
Tabla 3.10 Diferencia en la concentración de CO usando combustible Extra vs Extra más aditivo 1	61
Tabla 3.11 Diferencia en la concentración de CO usando combustible Extra vs Extra más aditivo 2	62
Tabla 3.12 Diferencia en la concentración de CO usando combustible Extra vs Súper Premium	62
Tabla 3.13 Diferencia en la concentración de CO <sub>2</sub> usando gasolina Extra vs Extra más aditivo 1	64
Tabla 3.14 Diferencia en la concentración de CO <sub>2</sub> usando gasolina Extra vs Extra más aditivo 2	65
Tabla 3.15 Diferencia en la concentración de CO <sub>2</sub> usando gasolina Extra vs Extra más Súper Premium	66
Tabla 3.16 Diferencia en la concentración de HC usando gasolina Extra vs Extra más aditivo 1	68
Tabla 3.17 Diferencia en la concentración de HC usando gasolina Extra vs Extra más aditivo 2	68
Tabla 3.18 Diferencia en la concentración de HC usando gasolina Extra vs mezcla Extra más Súper Premium	69

Tabla 3.19 Diferencia en la concentración de O <sub>2</sub> usando Extra vs Extra más aditivo 1	71
Tabla 3.20 Diferencia en la concentración de O <sub>2</sub> usando Extra vs Extra más aditivo 2	72
Tabla 3.21 Diferencia en la concentración de O <sub>2</sub> usando Extra vs mezcla Extra más Súper Premium	72
Tabla 3.22 Resultados de factor lambda obtenido usando extra vs Extra más aditivo 1	74
Tabla 3.23 Resultados de factor lambda obtenido usando extra vs Extra más aditivo 2	75
Tabla 3.24 Diferencia en el factor lambda utilizando gasolina Extra vs Súper Premium	75

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA NÚM	PÁGINA
Figura 1.1 Fase de Admisión	8
Figura 1.2 Fase de Compresión	9
Figura 1.3 Fase de Explosión	9
Figura 1.4 Fase de Escape	10
Figura 1.5 Ciclo teórico vs ciclo real	11
Figura 1.6 Sensor de detonación KS	24
Figura 2.1 Flujograma del proceso metodológico	29
Figura 2.2 Marcas de elevadores de octanaje comercializadas en gasolineras de Ibarra	31
Figura 2.3 Promedio de ventas mensuales por aditivos	32
Figura 2.4 Vehículo para ensayos Chery Tiggo 2	33
Figura 2.5 Dinamómetro Dyno Vamag	35
Figura 2.6 Analizador de gases Brain Bee AGS-688	36
Figura 2.7 Tacómetro MGT – 300	37
Figura 2.8 Osciloscopio G-SCOPE-2	38
Figura 2.9 Flujograma del protocolo de pruebas	39
Figura 2.10 Ruta para prueba de comportamiento del sensor Knock	43
Figura 3.1 Pruebas de potencia utilizando Extra	46
Figura 3.2 Pruebas de par motor utilizando Extra	48
Figura 3.3 Curvas características de potencia y par motor usando Extra	48
Figura 3.4 Pruebas de potencia usando aditivo 1 en gasolina Extra	50
Figura 3.5 Prueba de par motor usando aditivo 1 en gasolina Extra	51
Figura 3.6 Curvas características de potencia y par motor utilizando Extra más aditivo 1	51
Figura 3.7 Pruebas de potencia usando aditivo 2 en gasolina Extra	53
Figura 3.8 Pruebas de par motor usando aditivo 2 en gasolina Extra	54
Figura 3.9 Curvas características de potencia y par motor utilizando Extra más aditivo 2	54
Figura 3.10 Pruebas de potencia usando gasolina Super Premium	56
Figura 3.11 Pruebas de par motor usando gasolina Súper Premium	57
Figura 3.12 Curvas características de potencia y par motor utilizando Súper Premium	57
Figura 3.13 Comparación de potencias utilizando diferentes combustibles	58
Figura 3.14 Comparación de par motor utilizando diferentes combustibles	59
Figura 3.15 Concentración de CO a diferentes revoluciones	63
Figura 3.16 Concentración de CO <sub>2</sub> a diferentes rpm	66
Figura 3.17 Concentración de HC	70
Figura 3.18 Concentración de Oxígeno	73
Figura 3.19 Factor Lambda a diferentes rpm	76
Figura 3.20 Comportamiento del sensor Knock con Extra	78
Figura 3.21 Comportamiento del sensor Knock con Extra más aditivo 1	79
Figura 3.22 Comportamiento del sensor Knock con Extra más aditivo 2	79
Figura 3.23 Comportamiento del sensor Knock – Súper Premium	80
Figura 3.24 Voltajes máximos obtenidos con cada tipo de combustible	81



## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>ECUACIÓN NÚM</b>		<b>PÁGINA</b>
[1.1]	Relación de compresión	11
[1.2]	Reacción química de la combustión	13
[3.1]	Estructura para la corrección de la potencia del motor	45
[3.2]	Factor de corrección	45

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>ANEXO NÚM</b>		<b>PÁGINA</b>
Anexo I.1.	Formato encuesta para selección de aditivos	88
Anexo I.2.	Resultados de la encuesta para selección de aditivos	89
Anexo II.1.	Muestras de combustibles	90
Anexo II.2.	Informe del nivel de Octanaje de las variantes de combustible	92
Anexo III.1.	Pruebas en el dinamómetro	93
Anexo III.2.	Resultados de par y potencia usando gasolina Extra	94
Anexo III.3.	Resultados de par y potencia usando el aditivo 1 en Extra	95
Anexo III.4.	Resultados de par y potencia usando el aditivo 2 en Extra	96
Anexo III.5.	Resultados de par y potencia usando gasolina Súper-Premium	97
Anexo IV.1.	Preparación del equipo analizador de gases	98
Anexo IV.2.	Conexión de la sonda para medición de gases	98
Anexo V.1.	Preparación de extensión de conexión para sensor Knock	99
Anexo V.2.	Conexión del sensor Knock al osciloscopio	99
Anexo V.3.	Evaluación del sensor Knock en ruta	100

## RESUMEN

El presente trabajo se realizó con la finalidad de determinar cómo influye el nivel de octanaje de los distintos combustibles comercializados en Ecuador, y sus variantes al hacer uso de ciertos aditivos en el rendimiento de un MCI. Se sabe que en la actualidad existe un fenómeno que se presenta en el motor al hacer uso de combustibles de mala calidad conocido como cascabeleo, el cual puede repercutir en daños a los componentes internos, además de, pérdida de par, potencia o incluso elevar los niveles de emisiones de gases contaminantes. Partiendo de esta premisa, lo primero fue seleccionar los aditivos comercializados en el mercado local dos de los cuales fueron utilizados para las pruebas. En total se utilizaron 4 variantes de combustibles: Extra, Extra con aditivo 1, Extra con aditivo 2 y Súper Premium, de las cuales se analizó el nivel de octanaje en un laboratorio con el método ASTM D2699. Una vez obtenidos los resultados se procedió hacer la prueba de rendimiento con respecto al par-motor y potencia que el vehículo reflejaba al hacer uso de cada variante de combustible, donde se pudo destacar que la gasolina Súper Premium arrojó el mayor resultado tanto de potencia como de par motor. Por su parte, el análisis de emisiones realizado también a cada variante de combustible se aplicó a tres distintos regímenes de revoluciones dando como resultados que al aplicar el aditivo 2 los valores de CO, CO<sub>2</sub>, HC, O<sub>2</sub> y lambda sufrieron una gran variación. Una vez se finalizó con el análisis de gases se procedió a determinar el cascabeleo con la ayuda de un osciloscopio que al conectarlo al sensor Knock, permitió determinar que este fenómeno se presentó con gran frecuencia y mucha amplitud al usar gasolina Extra a diferencia de la gasolina Súper-Premium donde las detonaciones eran imperceptibles.

## ABSTRACT

This work was carried out with the purpose of determining how the octane level of the different fuels commercialized in Ecuador and their variants influence the performance of an ICM when certain additives are used. It is known that currently there is a phenomenon that occurs in the engine when using poor quality fuels known as rattling, which can result in damage to internal components, in addition to loss of torque, power or even increase the levels of pollutant gas emissions. Based on this premise, the first step was to select the additives available in the local market, two of which were used for the tests. A total of 4 fuel variants were used: Extra, Extra with additive 1, Extra with additive 2 and Súper Premium, whose octane level was analyzed in a laboratory using the ASTM D2699 method. Once the results were obtained, the performance test was carried out with respect to the torque and power that the vehicle reflected when using each fuel variant, where it was found that the Súper Premium gasoline yielded the best results in terms of both power and torque. On the other hand, the emissions analysis also carried out for each fuel variant was applied to three different engine speeds, giving as a result that when additive 2 was applied, the values of CO, CO<sub>2</sub> HC, O<sub>2</sub> and lambda underwent a great variation. Once the gas analysis was completed, we proceeded to determine the rattling with the help of an oscilloscope when connected to the Knock sensor. It was determined that this phenomenon occurred with great frequency and amplitude when using Extra gasoline, as opposed to Súper Premium gasoline where the detonations were imperceptible.

## INTRODUCCIÓN

En los últimos tiempos, la tecnología de la industria automotriz ha avanzado a pasos agigantados, siendo el motor una de las principales unidades a innovar, pues en la actualidad con el fin de aprovechar la mayor cantidad de energía del combustible y reducir las emisiones éstos se han mejorado de tal forma que son capaces de alcanzar relaciones de compresión relativamente altas, en comparación a los de las décadas pasadas. Para ello se ha buscado mejorar el índice de octanaje del combustible, pues éste es el factor clave que le permite soportar las altas presiones y temperaturas que se generan dentro del cilindro, mientras que una gasolina de mala calidad no será capaz de soportar dichos fenómenos lo cual repercute en el denominado cascabeleo o detonaciones del combustible antes de que salte la chispa de la bujía, lo que puede generar daños a componentes del motor como pistones, bielas o cilindros.

Si bien la Normativa Técnica Ecuatoriana INEN 935 establece los niveles de octanaje para las gasolinas comercializadas en el Ecuador, estos estándares aún no son capaces de alcanzar la calidad ofertada por otros países latinoamericanos. Razón por la cual en el mercado local es común la demanda de ciertos aditivos que presumiblemente ayudan a mejorar las propiedades de las gasolinas que se comercializan en las estaciones de servicio.

En el presente trabajo de investigación se da a conocer los resultados de la influencia del nivel de octanaje de los combustibles comercializados en el Ecuador, así como ciertas variantes con aditivos, en el desempeño de un MCI. Partiendo de la determinación del índice de octano en los combustibles sometidos a prueba. Desde el punto de vista de rendimiento se analizan niveles de potencia y par motor alcanzados por un vehículo con una relación de compresión relativamente alta, las emisiones de gases contaminantes, y mediante el uso de un sensor de detonación con el que cuentan los nuevos modelos de vehículos, se determina la generación de vibraciones como consecuencia de las autoigniciones.

# CAPÍTULO I

## 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 1.1. OBJETIVOS

#### 1.1.1. OBJETIVO GENERAL

- Analizar el nivel de octanaje en combustibles comercializados en el Ecuador y su repercusión en el desempeño del MCI.

#### 1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Medir el nivel de octanaje de varios tipos de combustibles y mezclas comercializados en Ecuador.
- Evaluar el desempeño del MCI a diferentes niveles de octanaje.
- Valorar los niveles de emisiones de gases contaminantes del MCI sometido a varios tipos de gasolina.
- Analizar el efecto del octanaje en la generación de autoencendido en el MCI.

### 1.2. JUSTIFICACIÓN

En los últimos años la inconformidad de los conductores alrededor de todo el país ha ido creciendo debido a que se han presentado daños prematuros en los motores de los vehículos, esto se presume que se debe a la mala calidad de los combustibles, a raíz de lo cual la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables (ARCERNR) se ha pronunciado dando a conocer que se realizan pruebas semanales para verificar que el nivel de octanaje presente en las gasolinas Extra y Súper están cumpliendo con lo establecido en la Normativa Técnica Ecuatoriana INEN 935, no obstante existen diversas opiniones por parte de talleres encargados de la reparación de motores, quienes manifiestan que los daños

si se deben al nivel de octanaje, sumado a esto, se reportan pruebas realizadas con instrumentación accesible tales como medidores de octanaje portables los cuales indican que el número de octano presente en la gasolina está muy por debajo de la normativa nacional. Adicionalmente, el precio de los combustibles es un tema ligado a la inconformidad de los usuarios ya que, si bien estos costos son relativamente bajos en comparación con los demás países de la región, la calidad ofertada no se ve reflejada en su precio y no alcanza estándares internacionales (Sandoval, 2022, pág. 4).

La presente investigación busca responder a dichas problemáticas realizando pruebas en los combustibles para determinar el nivel de octanaje y mediante la experimentación se desea concluir qué tipo de combustible provoca menos emisiones de gases contaminantes, brinda mayor beneficio en par-motor y potencia y limita al máximo la cantidad de autoigniciones, para que de esta manera se pueda ayudar a cumplir con el cuarto eje del plan de desarrollo nacional 2021-2025 el cual hace referencia a la implementación de mejores prácticas ambientales con responsabilidad social y económica además de fomentar una producción y consumo sostenible.

### **1.3. ALCANCE**

Uno de los principales factores que repercute en la forma de medir la calidad de una gasolina es el octanaje, por ende, mediante el presente proyecto se pretende analizar el número de octanos de ciertos combustibles comercializados en el Ecuador, así como la influencia de los mismos en el motor del vehículo Chery Tiggo 2. El análisis estará centrado en someter a prueba las gasolinas comercializadas en la provincia de Imbabura, como son Extra y Súper Premium, debido a que son las más comunes en el norte del país, zona donde se llevará a cabo los diferentes ensayos. Adicionalmente, se incluyen al estudio dos variantes con aditivos, para verificar la creencia popular de que este tipo de composiciones ayudan a mejorar las propiedades de un combustible y por lo tanto el rendimiento del motor.

Las pruebas se llevarán a cabo mediante el uso de equipo especializado como medidores de octanaje para verificar el índice de octano de cada variante de combustible, un dinamómetro para registrar los niveles de potencia y par motor que el vehículo es capaz de alcanzar, un



analizador de gases para valorar los niveles de emisiones contaminantes emanados a diferentes revoluciones, y, mediante el uso de un osciloscopio analizar las vibraciones del motor provocadas por las autoigniciones de los combustibles, al interpretar las curvas generadas por las señales de voltaje emitidas por el sensor Knock.

#### **1.4. ANTECEDENTES**

La evolución en el área automotriz es un trabajo complicado, ya que el principio de funcionamiento básico de los motores de combustión interna se ha mantenido desde su invención, sin embargo, con el pasar de los años los ingenieros han modificado ciertas características de los motores con el objetivo de mejorar su eficiencia, siendo uno de ellos el índice de octanaje en el combustible.

En este sentido se puede resaltar por ejemplo que hace 50 años el índice de octanaje no se tenía muy presente ya que los primeros motores tenían una relación de compresión de alrededor de 7 a 1, una relación bastante baja si se lo compara con estándares actuales, donde con dicho nivel de compresión bastaban 65 octanos del combustible para su correcto funcionamiento, sin embargo, estos factores sumados a la poca tecnología aplicada derivaban en un alto nivel de contaminación (Druet & Vera, 2017, pág. 3).

Con el pasar del tiempo ciertas directivas internacionales como la California Air Resources Board de Estados Unidos decidieron reducir el nivel de contaminación lo que se traduce en buscar nuevas tecnologías aplicables al motor de encendido provocado, así los motores fueron adaptando nuevos componentes permitiendo el aumento de la relación de compresión, en este punto es donde entra en juego el nivel de octanaje ya que este indica la característica del combustible para soportar presiones altas sin que suceda la auto ignición.

A los fabricantes de vehículos en aquellos tiempos se les presentó un gran problema llamado cascabeleo el cual apareció cuando las relaciones de compresión empezaron a aumentar hasta alcanzar valores actuales de 9,5 a 1 o superiores, este fenómeno se presentaba gracias al combustible de bajo octanaje que no podía soportar relaciones relativamente altas.

Wang et al. (2015) expone que, en la carrera de compresión dentro del cilindro, el combustible se autoinicia por efecto de una presión excesiva debido a su mala calidad creando ondas expansivas segundos antes de que salte la chispa. A continuación, durante el encendido de la mezcla en el tiempo de explosión también se generan ondas las cuales entran en conflicto con las del primer fenómeno y al viajar en sentido contrario su choque produce vibraciones conocido como cascabeleo. (pág. 13)

En el año de 1992, apareció el platino, la plata y el plomo como componentes que permitían subir el nivel de octanaje en los combustibles y con ellos la solución para el cascabeleo, en ese entonces el tetraetilo de plomo (TEL) fue la solución y muchas refinerías lo usaron para aumentar la calidad de su combustible, pero en 1970 sus consecuencias con el medio ambiente y usuarios empezaron hacerse visibles haciendo que se limite su uso y se busquen nuevas alternativas antidetonantes (Druet & Vera, 2017, pág. 3).

## **1.5. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Con el pasar del tiempo, la tecnología de los motores ha ido avanzando por lo que actualmente se necesita combustibles de alta calidad para alcanzar un nivel óptimo de rendimiento. Esto se puede evidenciar ya que varios años atrás los motores alcanzaban relaciones de compresión de 7 a 1 y en la actualidad se llega hasta valores de 13 a 1.

Adicionalmente, en el país según la NTE INEN 935 en su Décima Primera Revisión de 2021 exige combustibles con niveles de octanaje de 95 para Súper Premium y 85 en Extra y Eco-país, que son valores relativamente bajos si se comparan con niveles de octanaje de las gasolinas comercializadas en otros países de Latinoamérica.

Las altas compresiones que alcanzan los motores de hoy en día necesitan de un octanaje más elevado en el combustible, pues de lo contrario se produce el autoencendido al interior del cilindro justo antes de lo requerido, lo cual genera ondas expansivas, instantes después se produce el salto de chispa necesario para que el pistón realice su tiempo de trabajo, en este punto, existe un conflicto entre estas ondas provocando ruido y vibraciones denominado como cascabeleo, dicho fenómeno puede provocar daños severos, como fragmentación del

anillo del pistón, bielas dobladas, daños en las válvulas, rotura del electrodo de bujía (Wang et al., 2015, pág. 5).

Se analizará el nivel de octanaje en algunos combustibles y verificará si cumplen con lo especificado en las normas con el uso de un medidor de octanaje, además se pretende hacer mezclas con ciertos aditivos y comprobar en un MCI los efectos que estas variantes producen, ya sea vibraciones a través de un sensor de detonación (Knock), emisiones con un analizador de gases, además de la potencia y par-motor con la ayuda de un dinamómetro.

## **1.6. SITUACIÓN ACTUAL**

Actualmente existen motores con una mayor relación de compresión los cuales requieren un combustible que soporte presiones muy elevadas.

En Ecuador según la NTE INEN 935 en su Décima Primera Revisión de 2021, se ha logrado obtener combustible con un nivel de 95 octanos en Súper Premium y 85 en Extra. Estos niveles eran considerados buenos hasta hace un tiempo, pero conforme el mercado automotriz avanza con sus nuevas tecnologías se requieren niveles más altos de octanaje y combustible de mejor calidad, ya que mientras más alto sea el octanaje, el combustible tiene mayor resistencia a auto inflamarse dentro del pistón en el tiempo de compresión.

Ahora dichos combustibles tienen un nivel de octanaje relativamente bajo a nivel regional y para verificar esto se presenta una comparativa realizada por Petroecuador entre los precios y niveles de octanaje de algunos países de Latinoamérica, tomando como referencia que el precio actual es de \$2,55 por galón en Extra de 85 octanos y \$4,6 en Súper Premium de 95 octanos. Así, se indica que, por ejemplo, la gasolina de 93 octanos en Colombia se vende en \$ 5,03 el galón, en Chile se vende en \$ 5,41, mientras en EE. UU. el galón tiene un valor de \$ 6,64. Entre tanto, la gasolina de 95 octanos en Perú cuesta \$ 6,70 y en Brasil la de 97 octanos se expende en \$ 5,78. En Europa, los precios del combustible sobrepasan los \$ 8,00 (El Universo, 2022, pág. 3).

Entre tanto, la gasolina regular de Ecuador (\$ 2,55) también tiene un precio módico en comparación con los otros de la región. Hay precios más bajos como los de Colombia y

Bolivia, que la comercializan en \$ 2,38 y \$ 2,06, respectivamente, según los datos del portal Global Petrol Prices. También hay precios más altos como los de Argentina de \$ 4,01 y El Salvador \$ 4,31, según el mismo portal informativo.

## **1.7. MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA DE ENCENDIDO PROVOCADO**

### **1.7.1. HISTORIA DE LOS MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA**

Un motor de combustión interna se considera como la evolución de la máquina de vapor. Dicho motor tiene la capacidad de transformar la energía térmica de la combustión de una mezcla aire-combustible a energía mecánica o movimiento.

En el año de 1860 el ingeniero Étienne Lenoir construyó el primer motor de combustión interna, éste tan solo tenía una eficiencia del 3%, es decir solo aprovechaba esta pequeña cantidad de energía del total producida por la combustión. Para el año 1876 varias mejoras fueron integradas por Nikolaus Otto haciendo que el motor funcione con un ciclo de cuatro tiempos, el cual integraba pistones alternativos y la mezcla era encendida por una chispa externa.

Ya en 1878 el primer motor de dos tiempos aparece gracias al escocés Dugald Clerk, y 7 años después en 1885 el alemán Wilhelm Maybach desarrolla y presenta el primer montaje de un motor a gasolina de alta velocidad sobre un vehículo de dos ruedas, lo que actualmente se conoce como motocicleta. Un año más tarde en 1886 Karl Benz patenta el primer automóvil, el cual consistía en un triciclo de chasis tubular propulsado por un motor mono cilíndrico dispuesto de forma horizontal y que alcanzaba una potencia de  $2/3$  CV a 250 rpm (Llamas, 2017, pág. 1).

De esta manera empezó la reproducción de este motor que hasta la actualidad se denomina de ciclo Otto gracias a su fundador, aunque también se les conoce como motor de gasolina.

### **1.7.2. MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA**

El motor de combustión interna está diseñado para transformar la energía térmica obtenida de la quema de hidrocarburos a energía mecánica, dicho proceso se lleva a cabo al interior de la cámara de combustión donde una mezcla aire-combustible es comprimida y encendida mediante la aportación de calor por medio de un agente externo, esto genera una elevada presión y expansión de los gases los cuales son capaces de accionar un mecanismo denominado biela manivela donde se empuja el pistón accionando el cigüeñal generando movimiento circular (Escobar & Vaca, 2010, pág. 2).

A lo largo de su historia estos motores mantienen el mismo principio de funcionamiento, sin embargo, con el pasar de los años se ha desarrollado su tecnología al implementar una gestión electrónica con el uso de sensores y actuadores, así como el estudio en ciencia de materiales, con lo que se ha obtenido una mayor eficiencia.

Existen principalmente cuatro tipos de motores de combustión interna: el motor de ciclo Otto, ciclo Diésel, motor rotativo y turbina de combustión.

Por otra parte, en la industria automotriz se han desarrollado tres tipos de motores de combustión interna, estos se diferencian por el tipo de combustible utilizado para su funcionamiento entre ellos: gasolina, diésel y GLP (gas licuado de petróleo).

### **1.7.3. CICLO DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA A GASOLINA**

El motor de ciclo Otto es uno de los más utilizados en la actualidad para vehículos, una característica de éstos es que es de cuatro tiempos, esto quiere decir que en un ciclo completo el pistón pasa por cuatro fases: admisión, compresión, expansión y escape.

Un ciclo operativo se define como la sucesión de operaciones realizadas en el interior de un cilindro, las cuales se repiten periódicamente, en este sentido se dice que un motor es de cuatro tiempos cuando en un ciclo se cumple con cuatro carreras del pistón (Salinas, 2007, pág. 25).

A continuación, se describe cada fase del ciclo operativo teórico de un motor Otto de encendido por chispa.

#### Fase de Admisión

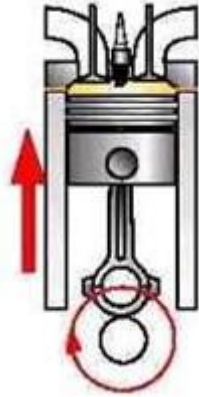
Se da cuando el pistón se desplaza del punto muerto superior (PMS) hasta el punto muerto inferior (PMI) al mismo tiempo que la válvula de admisión se abre, generándose un vacío al interior del cilindro, esto hace que la mezcla aire-combustible ingrese. Cuando el pistón se encuentra en el punto muerto inferior la válvula de admisión se cierra, y hasta este punto el cigüeñal ha dado un giro de  $180^\circ$  (media vuelta) como se muestra en la **Figura 1.1**.



**Figura 1.1** Fase de Admisión  
(Mecánica Automotriz, 2016)

#### Fase de Compresión

En esta fase las válvulas de admisión como de escape se encuentran totalmente selladas, el pistón comienza su ascenso desde el punto muerto inferior (PMI) hacia el punto muerto superior (PMS) comprimiendo la mezcla aire-combustible en una cavidad donde se alojará el volumen mínimo conocida como cámara de compresión, dando otro giro de  $180^\circ$  y completando así un giro completo de  $360^\circ$  como se muestra en la **Figura 1.2**.

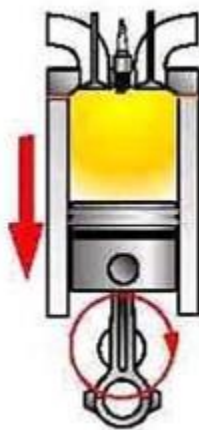


**Figura 1.2** Fase de Compresión  
(Mecánica Automotriz, 2016)

### Fase de Explosión

Este ciclo se da cuando el pistón alcanza el punto muerto superior (PMS) y la mezcla se encuentra comprimida dentro de la cámara, momento en el que se genera el salto de chispa por parte de la bujía provocando que ésta se inflame.

Esta combustión sucede a alta velocidad, con lo cual se produce un incremento brusco de temperatura y presión, a partir de este instante el pistón empieza su carrera de descenso del punto muerto superior (PMS) hacia el punto muerto inferior (PMI) provocando que el cigüeñal gire otros 180°.



**Figura 1.3** Fase de Explosión  
(Mecánica Automotriz, 2016)

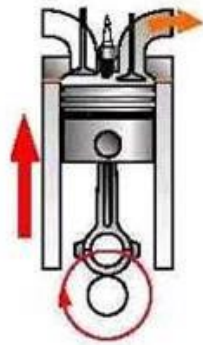


Como se muestra en la **Figura 1.3**, en esta fase del ciclo, es el único momento que se aprovecha la energía térmica brindada por el combustible para transformarlo en energía mecánica.

#### Fase de Escape

Como se muestra en la **Figura 1.4**, una vez completo el tiempo de trabajo, el pistón empieza a subir una vez más, a la vez que la válvula de escape inicia su apertura para que los gases quemados salgan hacia el exterior, provocando que el cigüeñal gire otra media vuelta, completando el ciclo, cabe mencionar que en el próximo descenso del pistón comenzará nuevamente el tiempo de admisión.

Por cada ciclo el pistón subirá y bajará dos veces, es decir, realiza cuatro carreras, mientras que el cigüeñal dará dos giros.

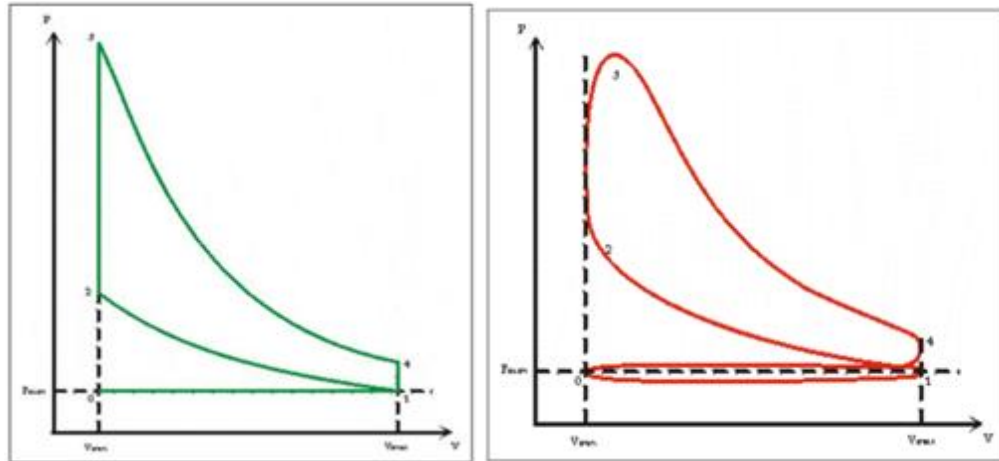


**Figura 1.4** Fase de Escape  
(Mecánica Automotriz, 2016)

En la práctica el comportamiento de un motor durante sus ciclos operativos reales no se reproduce con la exactitud de un ciclo teórico debido a que existen factores externos que influyen y reducen su eficiencia considerablemente, por ejemplo: la mezcla no tiene la capacidad de ingresar al cilindro instantáneamente, el llenado de los cilindros no es perfecto y está relacionado con la presión atmosférica y se presentan pérdidas por fricción (Arias, 2006, pág. 44).

Por lo tanto, para mejorar la eficiencia de un motor real se lleva a cabo ciertas modificaciones mecánicas que permitan un buen desempeño, por ejemplo: se modifica el tiempo de apertura y cierre de las válvulas de admisión y escape, la explosión de la mezcla aire-combustible no

es instantánea, por lo que en altas revoluciones del motor es necesario que exista una variación o avance del momento en que se produce la chispa. En la **Figura 1.5** se presentan las gráficas representativas del ciclo otto teórico y el real.



**Figura 1.5** Ciclo teórico vs ciclo real  
(Rafael Morales & Guzmán Hernández, 2014)

#### 1.7.4. RELACIÓN DE COMPRESIÓN

Se denomina relación de compresión al cociente que existe entre el volumen del cilindro cuando el pistón se encuentra en el PMI y el de la cámara de compresión, que es el volumen que ocupan los gases cuando el pistón alcanza el PMS. De esta manera, (Alonso Pérez, 2009, pág. 129) en su libro “Técnicas del automóvil. MOTORES” describe a la relación de compresión con la fórmula de la ecuación [1.1].

$$\rho = \frac{V+v}{v} \quad [1.1]$$

Donde:

$\rho$  : relación de compresión

$V$  : cilindrada

$v$  : volumen de la cámara de compresión

Con el pasar de los años la relación de compresión se ha incrementado, por lo que, actualmente existen motores que alcanzan valores de 10,5:1, los cuales tienen como ventajas un mayor desarrollo de potencia al mismo tiempo que reducen el consumo de combustible,

pues se consigue una mejor mezcla de aire-gasolina, que al inflamarse provoca que se libere más energía térmica.

## **1.8. FUNDAMENTOS DE LA COMBUSTIÓN**

### **1.8.1. DEFINICIÓN DE COMBUSTIÓN**

La combustión es una reacción química de oxidación con desprendimiento de calor, es relativamente rápida y se produce entre dos elementos:

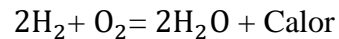
Combustible, que puede tratarse de un sólido (carbón, madera, etc.), un líquido (Gasolina, nafta, etc.) o un gas (natural, propano, etc.) y el comburente, oxígeno. Además debe existir lo que se denomina energía de activación que es el elemento encargado de desencadenar la reacción de combustión generalmente se la obtiene mediante una chispa eléctrica entre dos electrodos, tren de chispa, etc. La rapidez e integridad de reacción de combustión o incineración dependen exclusivamente de la afinidad que presenten el elemento combustible con el oxígeno por esta razón el carbono e hidrógeno son elementos sumamente importantes que se encuentran presentes en los combustibles dando cumplimiento a este requisito (García, 2001, pág. 3).

### **1.8.2. QUÍMICA DE LA COMBUSTIÓN**

El oxígeno es denominado el comburente universal, por esta razón se usa aire debido a que está compuesto por, 21% de Oxígeno ( $O_2$ ) y 79% de Nitrógeno ( $N_2$ ).

Los combustibles independientemente de que estos sean sólidos, líquidos o gaseosos se componen básicamente de, Carbono (C) e Hidrógeno (H) además de presentar otros como Azufre (S), humedad ( $H_2O$ ), Cenizas, etc.

Analizando la combustión desde el punto de vista de los componentes principales (C, H) las reacciones se expresan como:



Para la práctica, un combustible puede definirse como  $C_xH_y$  donde se da lugar a la reacción química de la combustión, representada mediante la ecuación [1.2].



Donde:

$C_xH_y$ : expresión general de un combustible

$O_2$  : oxígeno

$CO_2$ : dióxido de carbono

$H_2O$ : agua

### 1.8.3. RESIDUOS DE LA COMBUSTIÓN: GASES CONTAMINANTES

En los últimos años la tecnología en el control de emisiones de gases contaminantes ha evolucionado en gran manera, esto debido a que los efectos de estos residuos causan daños notables al ecosistema en general y esto se ve reflejado con el fenómeno del calentamiento global y efecto invernadero, producto de ello la industria automotriz se ha visto obligada a producir vehículos que tengan un bajo índice de emisiones y de esta forma ayudar con el cuidado del medio ambiente. Es importante tener en cuenta cuales son los gases residuales que son expulsados por un MCI después de la combustión, de igual forma se debe saber cuáles son las normativas y límites que rigen en el país para tener datos cuantitativos con la finalidad de comparar y determinar con qué tipo de combustible se obtienen menos emisiones (Pérez, 2018, pág. 23).

Entre los gases contaminantes emanados por un MCI están: monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), Hidrocarburos (HC), óxido de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>).

#### 1.8.4. ESTEQUIOMETRÍA

La estequiometria de una combustión está basada en las reacciones másicas y volumétricas entre los reactivos y el producto, para ello se determina dos aspectos principales:

- Aire necesario para la combustión
- Producto de la combustión y su composición

Para predecir los resultados es importante referirse a un proceso ideal el cual dependerá de pocos parámetros, sencillamente de la naturaleza de la combustión. Para definir este proceso ideal se deben considerar los tipos de combustión que pueden presentarse.

- Combustión completa: Este tipo de combustión se obtiene gracias a la oxidación total de los elementos denominados como combustible.
- Combustión incompleta: En este caso se obtiene residuos de la combustión ya que los componentes del combustible no logran oxidarse por completo, dando como resultado los que se denomina como inquemados siendo los más importantes el CO y H<sub>2</sub> de la misma manera puede haber presencia de residuos de carbono, combustible, etc.
- Combustión estequiométrica: Este tipo de combustión se obtiene gracias a la reacción de proporciones exactas entre el combustible y el oxígeno donde se produce una oxidación total dando como resultado vapor de agua, dióxido de azufre y dióxido de carbono.

#### 1.8.5. FUNDAMENTOS DEL DOSADO

Este es el cociente que existe entre una masa de combustible y una masa de aire en una reacción estequiométrica.

Arias (2006) en su libro “Manual de Automóviles” define a la mezcla como “Dosado estequiométrico”, refiriéndose al “Dosado” como la expresión de una mezcla, mientras que “estequiométrico” alude a las proporciones químicas exactas de la relación de combustión (pág. 550).

Dicha mezcla estequiométrica tiene un valor de 14,7 partes de aire por 1 parte de gasolina, es decir, que para consumir 1 kilogramo de combustible es necesario 14,7 kilogramos de una masa de aire.

Convencionalmente la inyección de combustible se genera en el colector de admisión donde se mezcla con aire fresco justo antes de que ingrese al cilindro, a diferencia de los motores con sistema de inyección directa, donde el combustible es entregado directamente a la cámara de combustión. En cualquier caso, se tiene lo que se denomina mariposa de aceleración que permite regular el paso del aire, aclarando que la magnitud del trabajo realizado en la fase de explosión en el pistón depende de la cantidad de aire suministrado para lograr una relación adecuada de mezcla y obtener una combustión homogénea.

Tanto aire como combustible deben ingresar en proporción exacta haciendo referencia al valor de lambda igual a uno denominada como relación estequiométrica.

## **1.9. COMBUSTIBLES PARA LA AUTOMOCIÓN: GASOLINA**

### **1.9.1. INTRODUCCIÓN Y CONCEPTOS**

#### **1.9.1.1. Definición de gasolina**

La gasolina como principal derivado del petróleo se define como una composición de carbono, hidrógeno, oxígeno, azufre, nitrógeno y trazas metales, que se utiliza como combustible para sistemas de combustión interna. Por su parte la gasolina comercial que es expendida en estaciones de servicio destinada para su uso en vehículos es obtenida tras varios procesos de refinación donde se añaden aditivos oxigenadores para mejorar sus propiedades (Mares & Pérez, 2013, pág. 16).

Este tipo de combustible es ampliamente utilizado alrededor del mundo gracias a que almacena grandes cantidades de energía calorífica que puede ser aprovechada al transformarla en otro tipo de energía.

### **1.9.1.2. Volatilidad**

Es la propiedad que tiene un combustible para vaporizarse con facilidad, es decir pasar de líquido a gaseoso sin problemas, ésta afecta directamente a la economía, manejabilidad, facilidad de arranque del vehículo, de igual forma a la seguridad de éste al almacenarse y transportarse. Así mismo, la volatilidad de un combustible varía directamente dependiendo de los factores climáticos y de geografía ya sea la altura, temperatura y humedad, entendiendo que según las necesidades se diseña la forma de almacenamiento de este producto (Enkalada & Ñauta, 2010, pág. 4).

### **1.9.1.3. Peso específico**

El peso específico es una relación que existe entre el peso de una sustancia y su volumen ocupado en el espacio, en este caso el peso específico relativo de una gasolina comercial es de alrededor de  $0,730 - 0,760 \text{ g/cm}^3$ .

### **1.9.1.4. Densidad**

Esta característica de la gasolina indica la cantidad en masa por unidad de volumen, es decir, permite determinar si está compuesta con sustancias ligeras o pesadas. Este tipo de combustible posee una densidad de alrededor de  $720 \text{ g/L}$ .

## **1.9.2. CAPACIDAD ANTIDETONANTE DE LA GASOLINA: OCTANAJE**

### **1.9.2.1. Índice de octano**

El índice o nivel de octanaje da una referencia de la resistencia que tiene la gasolina al fenómeno de la autoignición, es decir, que a mayor número de octanos el combustible tendrá una alta resistencia a inflamarse, de la misma manera permite soportar una mayor relación de compresión, por lo tanto, la potencia de un motor con una misma cilindrada aumenta.



Un bajo índice de octanaje es causante del cascabeleo y puede repercutir en forma de daños severos al motor a corto o largo plazo, las fallas que se presentan generalmente son: rotura de bielas, perforación en los cilindros y válvulas dobladas, todo esto debido al pistoneo descontrolado sin embargo, el elemento que más daño recibe es el pistón ya que la detonación puede erosionar o picar la superficie superior de este componente, también se puede fracturar el área donde residen los anillos de compresión y lubricación, por otra parte, este fenómeno puede ser causante de un consumo extremo de combustible además de inestabilidad al acelerar.

En el pasado se logró incrementar el nivel de octanaje de las gasolinas mediante el uso de aditivos como el tetraetilo de plomo, el cual actualmente está prohibido debido a los efectos contaminantes que provoca. Arias (2006) afirma que “la proporción de este aditivo era mínima, menos de un centímetro cúbico por litro de gasolina, pero suficiente para causar varios efectos” (pág. 420).

Entre sus repercusiones están:

- Incremento de la resistencia del combustible a auto inflamarse, lo que sumado al progreso de la forma de las cámaras de combustión permitía elevar la relación de compresión.
- Mezclado en menor proporción con otros aditivos etilénicos permitían disminuir los efectos corrosivos sobre metales calientes.
- El plomo provoca que los gases de escape resulten nocivos para la salud.

La calidad antidetonante de la gasolina se da por un combustible de control compuesto de iso-octano y heptano, estos son dos hidrocarburos que tienen distintas propiedades anti-golpeteo.

Si el combustible final tiene las mismas cualidades anti-golpeteo que una mezcla 80% de iso-octano y 20% de heptano, este combustible se le conocerá como de 80 octanos, debido a que el iso-octano está clasificado en 100 y el heptano en 0.

### **1.9.2.2. Métodos de ensayo para determinación de octanaje**

Según Castillo (2008) “la propiedad antidetonante de una gasolina se puede determinar por dos métodos: RON y MON” (pág. 19).

- Research Octane Number (RON, por sus siglas en inglés), permite determinar la capacidad antidetonante del combustible a bajas revoluciones, al comparar el golpeteo producido por la gasolina sometida a prueba con respecto al golpeteo que produce otra sustancia tomada como referencia.
- Motor Octane Number (MON, por sus siglas en inglés) se relaciona específicamente al comportamiento antidetonante del combustible en el motor a altas velocidades.

Una vez realizados ambos métodos de ensayo, el número o índice de octano que se reporta como capacidad antidetonante de la gasolina es el promedio de los valores determinados anteriormente.

### **1.9.3. GASOLINAS EN EL ECUADOR**

Según la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2341 (2003) se define a la gasolina natural como una mezcla de hidrocarburos relativamente volátiles la cual debe estar libre de agua, sedimentos y material sólido, que se utiliza como combustible en motores de combustión interna de encendido por chispa (pág. 5).

La calidad de la gasolina se mide en función de la capacidad antidetonante, es decir la resistencia del combustible para auto inflamarse antes del salto de chispa al interior del cilindro, que se conoce como índice de octano o nivel de octanaje. En Ecuador se comercializan tres tipos de gasolinas las cuales se describen a continuación.

### 1.9.3.1. Gasolina Súper Premium

Según la NORMA NTE INEN 935 la gasolina de 95 octanos denominada como Súper Premium que comenzó su comercialización en el Ecuador a partir del 12 de septiembre de 2022 ensayada de acuerdo con las normas correspondientes debe cumplir con los requisitos establecidos en la **Tabla 1.1**.

**Tabla 1.1** Requisitos de la gasolina de 95 octanos (RON)

Requisitos	Unidad	Mínimo	Máximo
Número de octano Research (RON)	--	95	--
Destilación: 10%	°C	--	70
50%	°C	77	121
90%	°C	--	190
Punto final	°C	--	220
Residuo de destilación	%	--	2
Temperatura para la relación vapor/líquido igual a 20	°C	56	--
Presión de vapor	kPa	--	60
Corrosión a la lámina de cobre (3 h a 50°C)	--	--	1
Contenido de gomas	mg/100 mL	--	4
Contenido de azufre	%	--	0,0300
Contenido de aromáticos	%	--	35
Contenido de benceno	%	--	2
Contenido de olefinas	%	--	25
Estabilidad de la oxidación	min	240	--
Contenido de plomo	mg/L	--	1
Contenido de manganeso	mg/L	--	1
Contenido de hierro	mg/L	--	1

(INEN NTE 935, 2021, pág. 8)

### 1.9.3.2. Gasolina Extra

Según la NORMA NTE INEN 935 la gasolina de 85 octanos denominada como Extra ensayada de acuerdo con las normas correspondientes, debe cumplir con los requisitos establecidos en la **Tabla 1.2**.

**Tabla 1.2** Requisitos de la gasolina de 85 octanos (RON)

Requisitos	Unidad	Mínimo	Máximo
Número de octano Research (RON)	--	85	--
Destilación: 10%	°C	--	70
50%	°C	77	121
90%	°C	--	189
Punto final de ebullición	°C	--	220
Residuo de destilación	%	--	2
Temperatura para la relación vapor/líquido igual a 20	°C	56	--
Presión de vapor	kPa	--	60
Corrosión a la lámina de cobre (3 h a 50°C)	--	--	1
Contenido de gomas	mg/100 mL	--	3
Contenido de azufre	%	--	0,065
Contenido de aromáticos	%	--	30
Contenido de benceno	%	--	1
Contenido de olefinas	%	--	18
Estabilidad de la oxidación	min	240	--
Contenido de plomo	mg/L	--	1
Contenido de manganeso	mg/L	--	1
Contenido de hierro	mg/L	--	1

(INEN NTE 935, 2021, pág. 5)

### 1.9.3.3. Gasolina Eco-País

En el Ecuador la gasolina Eco-País se define como un biocombustible compuesto de 5% de bioetanol (proveniente de la caña de azúcar) y el restante 95% de gasolina base, el cual posee el mismo nivel de octanaje que la gasolina Extra (85 octanos). Su comercialización tuvo inicio en 2010 en Guayaquil como parte de un plan piloto que tenía por objetivo reducir las emisiones de carbono al ambiente (Pérez, 2018, pág. 26).

Actualmente este tipo de gasolina se distribuye a nivel nacional de las provincias de Guayas, Santa Elena, Los Ríos, El Oro, Manabí, Esmeraldas, Loja, Zamora Chinchipe y Azuay. Los requisitos para la gasolina Eco-País se exponen en la **Tabla 1.3**.

**Tabla 1.3** Requisitos para gasolina con etanol anhidro carburante

Requisito	Unidad	Mínimo	Máximo
Temperatura para que la relación Vapor/líquido igual a 20	°C	63	--
Presión de vapor	kPa	--	67
Contenido de oxígeno con adición de etanol anhidro hasta 10 %	%	--	3,7

(INEN NTE 935, 2021, pág. 3)

### 1.9.3.4. Gasolina Eco-Plus

Según la NORMA NTE INEN 935 la gasolina de 89 octanos denominada como Eco-Plus ensayada de acuerdo con las normas correspondientes, debe cumplir con los requisitos establecidos en la **Tabla 1.4**.

**Tabla 1.4** Requisitos de la gasolina de 89 octanos (RON)

Requisitos	Unidad	Mínimo	Máximo
Número de octano Research (RON)	--	89	--
Destilación: 10%	°C	--	70
50%	°C	77	121
90%	°C	--	190

**Tabla 1.4** Requisitos de la gasolina de 89 octanos (RON) (**Continuación...**)

Punto final de ebullición	°C	--	220
Residuo de destilación	%	--	2
Temperatura para la relación vapor/líquido igual a 20	°C	56	--
Presión de vapor	kPa	--	60
Corrosión a la lámina de cobre (3 h a 50°C)	--	--	1
Contenido de gomas	mg/100 mL	--	3
Contenido de azufre	%	--	0,0650
Contenido de aromáticos	%	--	35
Contenido de benceno	%	--	1
Contenido de olefinas	%	--	25
Estabilidad de la oxidación	min	240	--
Contenido de plomo	mg/L	--	1
Contenido de manganeso	mg/L	--	1
Contenido de hierro	mg/L	--	1

(INEN NTE 935, 2021, pág. 4)

#### 1.9.4. MEJORADORES DEL COMBUSTIBLE

##### 1.9.4.1. Aditivos para gasolina

Los aditivos son compuestos químicos que se mezclan con el combustible del vehículo para incrementar sus propiedades, estos pueden ser de distintos tipos, caracterizándose por ayudar en la mejora de la combustión, limpieza o lubricación de inyectores, así como evitar la corrosión al interior del motor.

##### 1.9.4.2. Tipos de aditivos

- Elevadores de octanaje

Ayudan sumándole puntos al octanaje de la gasolina. En un principio se usaba principalmente el Plomo como compuesto principal para dicho efecto, pero, debido al alto nivel de contaminación que resultaba, su uso ha sido restringido. Sin embargo, con el tiempo se han estudiado otras alternativas dando un buen resultado los aromáticos que en sencillas palabras son moléculas de combustible que contienen benceno. Dichos componentes mejoran el octanaje y de la misma manera la alta densidad energética de las moléculas del combustible. (Becerra, 2016, pág. 6)

- Oxigenadores

Contienen oxígeno como parte de su estructura química. Se encargan de modernizar el consumo de combustible y amplificar la potencia reduciendo la formación de monóxido de carbono y hollín que se genera durante el proceso de combustión.

- Detergentes

Son aditivos que sirven como detergentes para todo el sistema de inyección enriqueciendo la pulverización del combustible evitando la formación de sedimentos ya que limpia todos los componentes por donde fluye el combustible.

- Colorantes

Ayuda a prevenir el engaño de venta de combustibles de menor valor ya que lo pigmentan de una tonalidad precisa dependiendo de su calidad.

## **1.10. FENÓMENO DEL GOLPETEO**

### **1.10.1. DEFINICIÓN DEL GOLPETEO**

El “golpeteo” en la rama automotriz es el resultado de una combustión generada en un momento incorrecto dentro del cilindro. La mezcla aire-combustible se comprime y debe soportar un punto máximo de presión hasta el tiempo en el que salta la chispa de la bujía lo que produce su ignición violenta. La física explica que toda mezcla gaseosa al comprimirse aumenta su temperatura y esto es lo que sucede dentro de los cilindros del motor. El golpeteo se presenta cuando la temperatura alcanzada debido a la compresión es excesiva en diferentes

puntos de la cámara generando una autoignición prematura con milésimas de segundos antes del salto se chispa, esto genera ondas que viajan en sentidos diferente y chocan generando el ruido conocido como golpeteo (Clopatofsky, 2009, pág. 1).

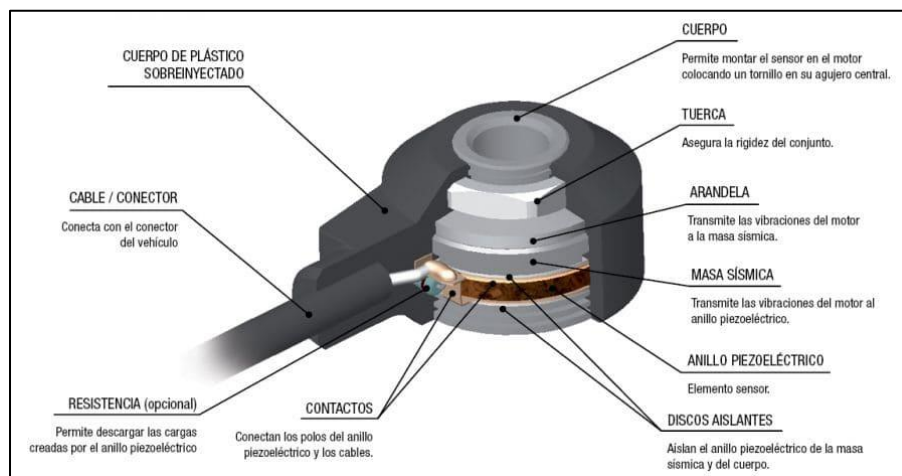
### 1.10.2. RETARDO DE ENCENDIDO

Generalmente al detectarse una detonación dentro del motor, la ECU está programada para retardar en milisegundos la ignición a través de la chispa de la bujía, esto con la intención de disminuir el efecto producido por la autoinflamación, sin embargo, un retraso de chispa se traduce como pérdida de eficiencia debido a que el tiempo de expansión se da con una pérdida de presión.

### 1.10.3. SENSOR DE DETONACIÓN

Tiene consigo un componente piezoeléctrico es decir que genera su propio voltaje por lo que no recibe alimentación. Dicho componente al deformarse ya sea por la acción de la presión o vibración genera un voltaje (AC) en la escala de milivoltios, funcionando de manera similar a un micrófono, capta el ruido de detonaciones dentro del cilindro y lo envía hacia la ECU en forma de variaciones eléctricas, este sensor generalmente se encuentra a un lado del monoblock entre los cilindros dos y tres (Cruz, 2015, pág. 29).

Las partes que conforman un sensor de detonación se detallan en la **Figura 1.6**.



**Figura 1.6** Sensor de detonación KS  
(Ingeniería y Mecánica Automotriz, 2020)



## **1.11. NORMAS Y MÉTODOS EMPLEADOS EN EL DESARROLLO DE ENSAYOS**

### **1.11.1. NORMA ISO 17025 – COMPETENCIA DE LOS LABORATORIOS DE ENSAYO Y CALIBRACIÓN**

Es de importancia mencionar que los ensayos respecto al análisis de octanaje se realizaron en un laboratorio el cual está certificado bajo la Norma ISO 17025 que está orientada a guiar los laboratorios en la administración de calidad, tratando temas como la competencia técnica del personal del laboratorio, la ética y profesionalismo del mismo, el hecho de realizar ensayos muy bien definidos, procesos de calibración, y la entrega de informes de ensayos certificados, su principal objetivo es garantizar la competencia técnica, y fiabilidad de los datos y resultados obtenidos (ISO/IEC 17025, 2018, pág. 10).

### **1.11.2. NORMA ISO 1585 – VEHÍCULOS DE CARRETERA -CÓDIGO DE PRUEBA DEL MOTOR - POTENCIA NETA**

La Norma ISO 1585 presenta un método diseñado para someter a prueba los motores diseñados para vehículos, donde se determina las curvas de par-motor, potencia y consumo específico de combustible a plena carga en función de las revoluciones del motor. Teniendo en cuenta que las pruebas pueden ser realizadas en distintas zonas geográficas, para estandarizar los resultados, propone el uso de factores de corrección aplicables a los valores obtenidos en los ensayos (ISO 1585, 2020, pág. 7).

### **1.11.3. MÉTODO ASTM D2699 - MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA INVESTIGACIÓN DEL NÚMERO DE OCTANOS DEL COMBUSTIBLE PARA MOTORES DE ENCENDIDO POR CHISPA**

El método ASTM D2699 determina cuantitativamente el índice de auto ignición del combustible líquido que se usa en motores de encendido provocado en términos R.O.N., también se incluyen los combustibles que contengan hasta un 25 % V/V de etanol. La muestra de combustible se prueba en un motor mono cilíndrico carburado, con un ciclo de cuatro

tiempos y una relación de compresión variable. Al realizar el análisis la intensidad de detonación K.I, de la muestra es comparada con una o varias mezclas de PRF (combustible de referencia principal). El nivel R.O.N de la mezcla PRF que coincida con el K.I. de la muestra y a si se establece la medición del R.O.N.

La R.O.N es una escala que va desde 0 a 120 octanos, sin embargo, el método aplicado cubre un rango de trabajo desde 40 hasta 120 R.O.N. teniendo en cuenta que los típicos combustibles que se usan en motores de encendido provocado manejan un rango de 88 hasta 101 no existe ningún inconveniente (ASTM D2699, 2021, pág. 3).

#### **1.11.4. NORMA NTE INEN 2204 - LÍMITES PERMITIDOS DE EMISIONES PRODUCIDAS POR FUENTES MÓVILES TERRESTRES QUE EMPLEAN GASOLINA**

En la Normativa Técnica Ecuatoriana INEN 2204 en su tercera página establece los límites de emisiones de gases permitidos para vehículos que se movilizan únicamente con el empleo de gasolina.

La **Tabla 1.5** presenta los límites máximos establecidos para vehículos que utilizan gasolina en función del año de fabricación del modelo y la altitud sobre el nivel del mar. Cabe resaltar que estos valores se establecen para la marcha mínima o ralentí del vehículo, es decir se evalúa en una prueba estática.

**Tabla 1.5** Límites máximos de emisiones permitidos para fuentes móviles terrestres que emplean gasolina. Marcha mínima

Año modelo	% CO <sup>a</sup>		ppm HC <sup>a</sup>	
	0 – 1500 <sup>b</sup>	1500 -3000 <sup>b</sup>	0-1500 <sup>b</sup>	1500 – 3000 <sup>b</sup>
2000 y posteriores	1	1	200	200
1990 a 1999	3,5	4,5	650	750
1989 y anteriores	5,5	6,5	1000	1200
<sup>a</sup> Volumen <sup>b</sup> Altitud = metros sobre el nivel del mar				

(NTE INEN 2204, 2017, pág. 3)

Para el desarrollo del presente trabajo de investigación se toma en consideración la Resolución No. 025-ANT-DIR-2019 así como su Anexo I referente al instructivo para la revisión técnica vehicular donde se establece el proceso de medición de gases de escape en dos parámetros, bajas revoluciones o “ralentí” según su fabricante siendo este valor no mayor a las 1 200 rpm, y altas al alcanzar un rango de  $2\ 500 \pm 50$  revoluciones considerado como velocidad crucero. (Males, 2019, pág. 19)

Cabe resaltar que los límites de emisiones para estos dos casos son los ya señalados en la **Tabla 1.5.**

## **CAPÍTULO II**

### **2. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **2.1. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

##### **2.1.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN**

###### **2.1.1.1. Investigación bibliográfica**

Este tipo de investigación es aplicable para proyectos cuyos procesos se han desarrollado y ejecutado de tal manera que sustentan su contenido con información verídica la cual se puede encontrar en libros, revistas, artículos de revista, tesis de doctorado, tesis de pregrado, internet y otras fuentes.

###### **2.1.1.2. Investigación tecnológica**

Consiste en la búsqueda y fomentación del conocimiento que puede ser útil para la resolución de inconvenientes en el campo tecnológico, y así lograr un desarrollo para la sociedad, mejorando procesos activos o convencionales dando una respuesta a un problema concreto.

##### **2.1.2. MÉTODOS**

###### **2.1.2.1. Analítico-sintético**

El método analítico permite un estudio detallado de la información teórica como de sus resultados los cuales son obtenidos en el proceso de experimentación y a través de la aplicación del método sintético se busca elaborar resúmenes, cuadros o esquemas que faciliten la comprensión de la investigación.

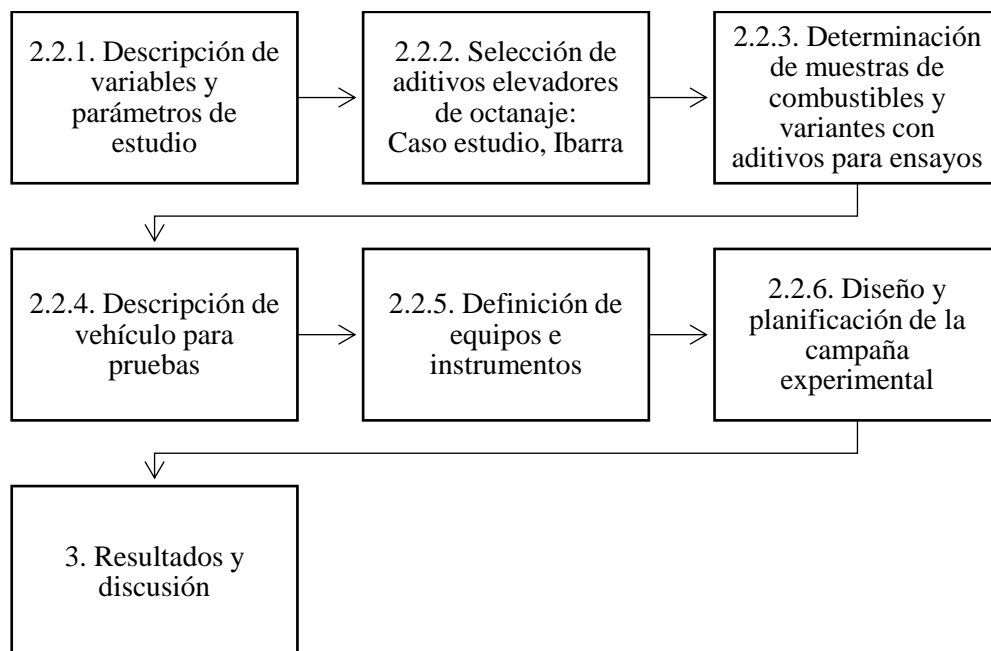
### 2.1.2.2. Deductivo-inductivo

El método deductivo consiste en llegar a una conclusión en base a lo lógico para obtener algún resultado con afirmaciones que se dan por verdaderas partiendo de leyes, normas y procedimientos relacionados a la investigación, mientras que se hace uso del proceso inductivo para la presentación de resultados con los que se extrae ideas de carácter general, emisión de argumentos y conclusiones de la investigación.

### 2.1.2.3. Experimental

La aplicación de este método se da con la finalidad de seguir un proceso sistemático, tecnológico y científico en la evaluación del vehículo en un dinamómetro, del análisis de gases de escape y la evaluación de muestras de combustible a usarse en la experimentación: procesos que no se llevan a cabo en un laboratorio como tal, pero si en un taller automotriz que se considera como un área adecuada para dicha experimentación.

## 2.2. PROCESO METODOLÓGICO



**Figura 2.1** Flujograma del proceso metodológico

La **Figura 2.1** muestra el flujograma del proceso metodológico, donde se resumen los pasos que se llevaron a cabo para desarrollar el presente trabajo de investigación, el cual inicia con la descripción de variables y parámetros de estudio que se tomaron como guías para la presentación de resultados y facilitar la comprensión del lector. Como siguiente paso, se describe la metodología utilizada para seleccionar los aditivos que se incorporaron a las gasolinas para su respectivo análisis.

Una vez seleccionadas todas las muestras de combustibles y sus variantes con aditivos se describe el vehículo en el cual se realizó los diferentes ensayos de par, potencia, emisiones de gases y efecto de autoignición, así mismo se describen todos los instrumentos que se utilizaron para determinar dichos parámetros.

Finalmente se describe el proceso para realizar cada uno de los ensayos, así como la obtención de resultados con su respectiva tabulación y análisis.

### 2.2.1. DESCRIPCIÓN DE VARIABLES Y PARÁMETROS DE ESTUDIO

En la **Tabla 2.1** se describe las variables y parámetros de estudio que se toman en cuenta para el desarrollo de los ensayos. Cabe aclarar que las unidades de medida que se indican en la tabla se utilizarán a lo largo de todo el trabajo para facilitar la comprensión del lector.

**Tabla 2.1** Variables y parámetros de estudio

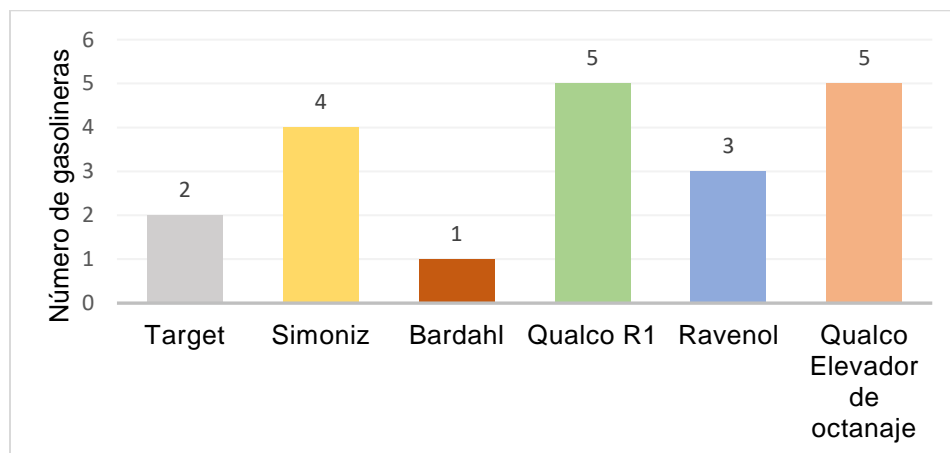
Variable	Unidad de medida	Instrumento
Octanaje	RON	Octanómetro
Potencia	HP	Dinamómetro
Par	Nm	
CO	% vol	Analizador de gases
CO <sub>2</sub>	% vol	
HC	ppm vol	
O <sub>2</sub>	% vol	
Λ	--	
Señal del Sensor Knock	mV	Osciloscopio: 1Hz

### 2.2.2. SELECCIÓN DE ADITIVOS ELEVADORES DE OCTANAJE: CASO ESTUDIO, IBARRA

Para la selección de aditivos se realizó una encuesta, la cual fue respondida por el personal de las gasolineras de la ciudad de Ibarra. Esto permitió determinar las marcas y los tipos de aditivos de combustible que tienen una mayor demanda en el mercado local. La encuesta incluyó las siguientes tres preguntas:

- ¿Se comercializa aditivos para combustible en esta gasolinera?
- En la siguiente lista seleccione, ¿Cuál es la marca de aditivo que se oferta?
- ¿Cuál es el valor estimado de ventas mensuales de la/las marcas seleccionadas?

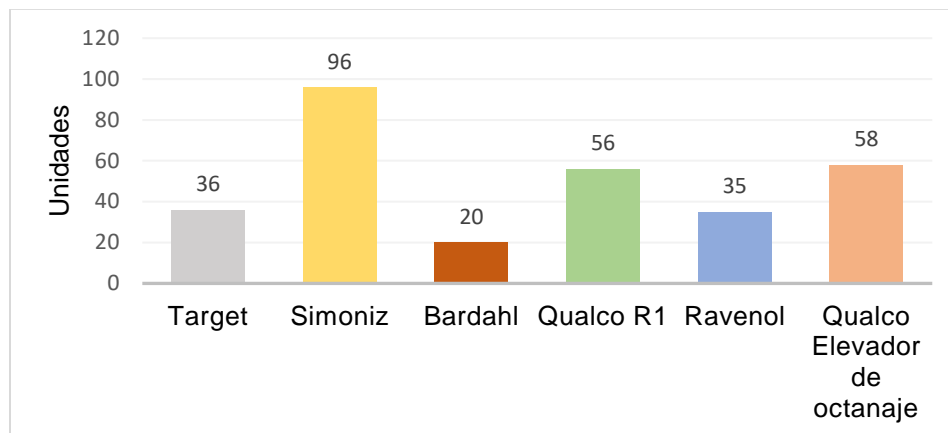
Luego de procesar la información se logró determinar que los tipos de elevadores de octanaje con mayor oferta en las estaciones de servicio de la ciudad de Ibarra son: Qualco elevador de octanaje, Qualco R1 y Simoniz.



**Figura 2.2** Marcas de elevadores de octanaje comercializadas en gasolineras de Ibarra

En la **Figura 2.2** se muestra los 6 tipos de elevadores de octanaje comercializados en las estaciones de servicio de la ciudad de Ibarra siendo Qualco R1 y Qualco elevador de octanaje los de mayor demanda sin embargo el producto Qualco R1 además de ser un elevador de octanaje es un limpiador de inyectores, de ahí que, este no fue considerado como parte de los ensayos.

Por otra parte, con la pregunta número tres se determinó el promedio de ventas mensuales de las diferentes marcas de aditivos para seleccionar los elevadores de octanaje que se usaron en los ensayos.



**Figura 2.3** Promedio de ventas mensuales por aditivos

Como se muestra en la **Figura 2.3** los aditivos con mayor demanda en la ciudad de Ibarra son: Qualco elevador de octanaje y Simoniz con 58 y 96 unidades comercializadas por mes respectivamente.

### **2.2.3. DETERMINACIÓN DE MUESTRAS DE COMBUSTIBLES Y VARIANTES CON ADITIVOS PARA ENSAYOS**

En el presente estudio, las muestras de los tipos de combustible y sus variantes (productos mejoradores de octanaje) fueron determinadas bajo tres criterios. En primer lugar, debido a que en la provincia de Imbabura solo se comercializan gasolina Extra y Súper Premium, únicamente estos dos tipos de gasolina fueron los utilizados para los ensayos. En segundo lugar, basados en la encuesta realizada se seleccionaron los dos aditivos elevadores de octanaje más comercializados: Qualco y Simoniz. En tercer lugar, las combinaciones posibles de tipos de combustibles con aditivos fueron establecidas basados en las especificaciones técnicas de los productos. **La Tabla 2.2** muestra las cinco combinaciones de muestras que se determinaron para este estudio.



**Tabla 2.2** Combustibles para ensayos

<b>Gasolinas</b>	Extra
	Súper Premium
<b>Variantes con aditivos</b>	Extra más elevador de octanaje “aditivo 1”
	Extra más elevador de octanaje “aditivo 2”

Cabe aclarar que los aditivos Qualco y Simoniz para la continuación del presente trabajo se denominarán aditivo 1 y aditivo 2 respectivamente.

#### 2.2.4. DESCRIPCIÓN DE VEHÍCULO PARA PRUEBAS

Debido a las diferentes condiciones de los ensayos se seleccionó un vehículo con características particulares como por ejemplo elevada relación de compresión, que cuente con un sensor Knock para la detección de igniciones y que requiera de un combustible con elevado nivel de octanaje.



**Figura 2.4** Vehículo para ensayos Chery Tiggo 2

En la **Figura 2.4** se presenta el vehículo de marca Chery modelo Tiggo 2 que fue seleccionado para el desarrollo de los ensayos, de esta manera en la **Tabla 2.3** se detallan las características técnicas de este auto evidenciando que cumple con los requerimientos necesarios.

**Tabla 2.3** Especificaciones técnicas Tiggo 2

<b>Características</b>	<b>Valor</b>
Tipo de vehículo	Tracción delantera 4 x 2, dirección de rueda delantera, motor delantero, cinco puertas, cinco asientos, cuerpo con soporte de carga, conducción a la izquierda.
Modelo de motor	SQRD4G15 Vertical, 4 cilindros en línea, refrigerado por agua, 4 tiempos, árbol de levas en cabeza simple
Diámetro del cilindro (mm)	77,4
Carrera del pistón (mm)	79,52
Cilindrada (cm <sup>3</sup> )	1497
Relación de compresión	11,4 : 1
Potencia máxima (HP)	104,6
Velocidad de potencia máxima (rpm)	6 000
Torque máximo (Nm)	135
Velocidad de torque máximo (rpm)	2 750
Tipo de suministro de combustible	Inyección de gasolina electrónica secuencial multipunto.
Tipo de combustible	Gasolina sin plomo con un número de octano de 91 o más
Tanque de combustible	Plástico de 50 L
Bomba de combustible	Bomba de combustible eléctrica

(Cherry Automobile Co. Ltd., 2021, pág. 389)

## **2.2.5. DEFINICIÓN DE EQUIPOS E INSTRUMENTOS**

### **2.2.5.1. Dinamómetro Dyno Vamag**

Dyno Vamag es un dinamómetro de chasis el cual permite medir la potencia y par motor que produce un automóvil sobre los neumáticos, para ello se coloca las ruedas motrices del vehículo sobre sus rodillos y se da marcha al motor simulando pruebas de aceleración.



**Figura 2.5** Dinamómetro Dyno Vamag

En la **Figura 2.5** se presenta el dinamómetro de chasis el cual es capaz de representar las variables medidas en forma de gráficas dando como resultado una lectura aproximada al valor que se obtiene en condiciones de trabajo reales. **La Tabla 2.4** proporciona las características a las que trabaja el dinamómetro.

**Tabla 2.4** Especificaciones técnicas del Dyno Vamag

<b>Parámetros</b>	<b>Unidades</b>
Potencia Máxima	400 hp
Torque	1 500Nm
Voltaje de suministro	220-400 V Ac(1-3/N/PE)
Frecuencia	50-60 Hz
Corriente nominal	16 amp
Masa	1 200 kg
Dimensiones	3 070x870x310 h mm
Presión del circuito de aire comprimido	6 bar
Diámetro del rodillo	240 mm
Ancho del rodillo	600 mm
Velocidad Máxima	180 km/h

(Vamag, 2017, pág. 4)

### 2.2.5.2. Analizador de gases Brain Bee AGS-688

Este equipo es capaz de analizar los porcentajes de concentración de los gases de escape emanados por un motor de combustión interna (MCI).



**Figura 2.6** Analizador de gases Brain Bee AGS-688

En la **Figura 2.6** se muestra el analizador Brain Bee AGS-688 de gases el cual puede ser utilizado para determinar el funcionamiento del motor en función de los niveles de gases detectados. En este caso se realizó la medición de CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, HC y factor Lambda ( $\lambda$ ), en la **Tabla 2.5** se detallan tanto las escalas como las unidades de medida del equipo.

**Tabla 2.5** Escalas de medición del Analizador de gases Brain Bee AGS-688

Parámetro	Escala	Unidad
CO	0 – 9,99	% vol
CO <sub>2</sub>	0 – 19,9	% vol
HC	0 – 9,999	ppm
O <sub>2</sub>	0 – 25	% vol
$\Lambda$	0,5 – 5,0	---
Revoluciones	300 – 9 990	Min <sup>-1</sup>
Temperatura de aceite	20 – 150	°C

(Globaltech E. , 2017, pág. 3)

### 2.2.5.3. Tacómetro MGT – 300

Se utilizó este equipo en conjunto con el analizador de los gases Brain Bee AGS-688 para determinar las revoluciones del motor en las que se tomó la medida de las concentraciones de gases emanados por el motor.



**Figura 2.7** Tacómetro MGT – 300

La **Figura 2.4** muestra el tacómetro MGT-300 y en su pantalla digital el número de revoluciones del motor.

Este equipo funciona a través de un sensor de golpe, el cual puede ser ubicado en la tapa del motor y mediante terminales tipo lagarto se proporciona energía directamente de la batería del vehículo.

### 2.2.5.4. Osciloscopio G-Scope 2

El G-Scope 2 que es un osciloscopio de dos canales y 100 MHz el cual está diseñado específicamente para componentes automotrices, es decir, mide señales de sensores, actuadores, red can, entre otros.



**Figura 2.8** Osciloscopio G-SCOPE-2

La **Figura 2.5** muestra el Osciloscopio G-SCOPE-2 el cual cuenta con un sistema de funcionamiento muy amigable e intuitivo, donde el usuario debe conectar los terminales del equipo a cualquier elemento requerido y podrá observar en su pantalla la gráfica generada perteneciente a dicho componente.

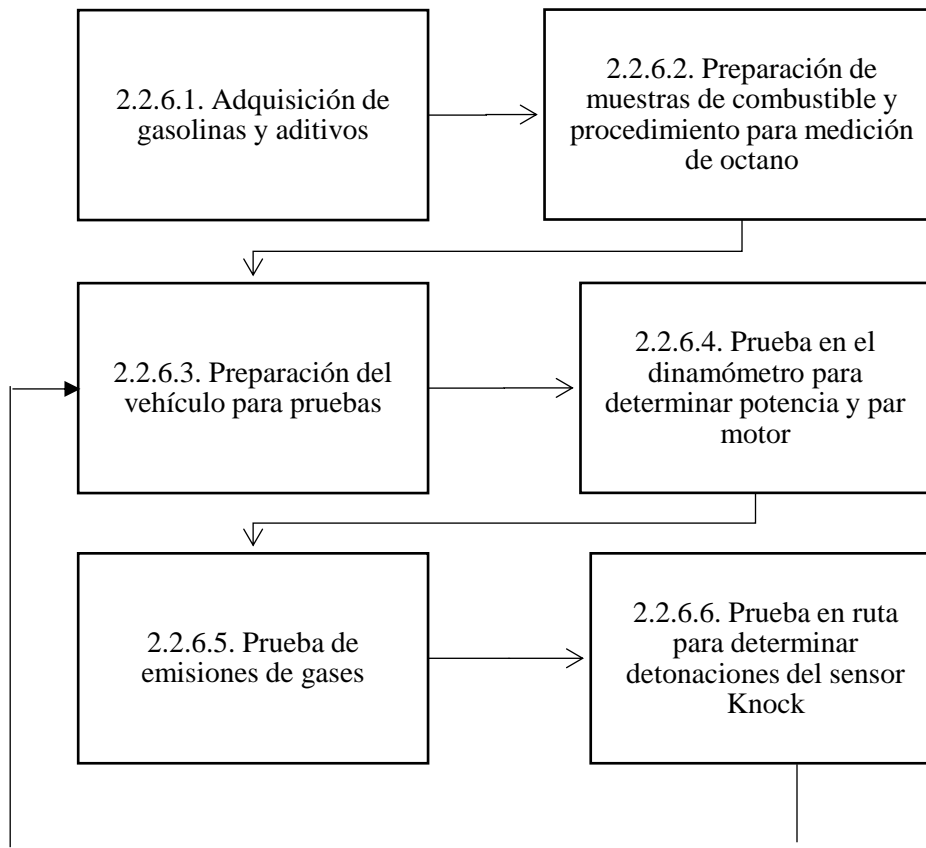
En el presente trabajo se realizó la conexión de los terminales del osciloscopio a los cables de masa y señal sensor Knock donde se pudo verificar el comportamiento y las vibraciones causadas por los diferentes tipos de combustibles en sus respectivas gráficas gracias a las características de trabajo del osciloscopio que se detallan en la **Tabla 2.6**.

**Tabla 2.6** Especificaciones técnicas del Osciloscopio G-SCOPE 2

Canales analógicos	2
Ancho de banda	100 MHz
Canales	2
Frecuencia de muestreo (Max)	1 G Sa/S
Profundidad de memoria	28 Mpts
Tasa de captura de forma de onda	80 000 wfm/s
Filtro de ancho de banda	20 MHz, paso alto, paso bajo
Interfaz	Wi-Fi, LAN, HDMI, USB, GND, DC, Tigger
Pantalla	8" TFC LCD 800*600 píxeles, resolución de pantalla 14, 10 cuadrículas.
Dimensión	250 200*55 mm

(Globaltech, 2016, pág. 2)

## 2.2.6. DISEÑO Y PLANIFICACIÓN DE LA CAMPAÑA EXPERIMENTAL



**Figura 2.9** Flujograma del protocolo de pruebas

En la **Figura 2.9** se describe a manera de resumen los pasos que se siguió para realizar los ensayos con cada muestra de combustible, partiendo por la adquisición de combustibles y aditivos, la preparación de las muestras de combustible y el vehículo, así como también la descripción del proceso que se llevó a cabo para desarrollar cada una de las pruebas.

### 2.2.6.1. Adquisición de gasolinas y aditivos

Para el desarrollo del presente trabajo de investigación se recolectó dos tipos de gasolina: Extra y Súper Premium combustibles que fueron adquiridos en las estaciones de servicio de la ciudad de Ibarra, así como también los aditivos elevadores de octanaje, que como se mencionó en la sección 2.2.2., se resolvió por utilizar los denominados Aditivo 1 y Aditivo 2 debido a su elevada demanda en el mercado local.

Referente a las cantidades de aditivo utilizadas para los ensayos se basó en la información proporcionada por el fabricante, misma que se encuentra detallada en la etiqueta del producto, la **Tabla 2.7** muestra la dosis de aditivo adecuada según la capacidad del tanque del vehículo y su respectiva proporción a un litro de combustible para el análisis de octanaje.

**Tabla 2.7** Dosis de aditivo evaluadas

<b>Tipo de Aditivo</b>	<b>Capacidad del tanque</b>	<b>Cantidad de aditivo por tanque</b>	<b>Dosis de Aditivo para 1 L de gasolina</b>
Aditivo 1	50 L = 13.29 gal	103.90 ml	2.64 ml
Aditivo 2	50 L = 13.29 gal	158.33 ml	3.145 ml

#### **2.2.6.2. Preparación de muestras del combustible y procedimiento para medición de octano**

El análisis de octanaje de cada muestra de combustible se realizó a través del octanómetro de la Escuela Politécnica Nacional, cuyo laboratorio se rige bajo la Norma ISO 17025 y emplea el método ASTM D2699 para garantizar la veracidad de los resultados.

A continuación, se describe el proceso de preparación de los combustibles que fueron analizados.

- Cada muestra de combustible se separó en recipientes de un litro, cada uno con su respectiva etiqueta para diferenciación.
- Para las proporciones de aditivos utilizados en las variantes de combustibles se utilizó las relaciones detalladas en la **Tabla 2.7**.
- Los combustibles fueron transportados hacia el laboratorio tomando en cuenta las recomendaciones dictadas por el personal encargado de realizar el análisis con el fin de evitar posibles errores a causa de variaciones de temperatura o evaporación.
- Los resultados fueron enviados siete días posteriores a la fecha de entrega.



### **2.2.6.3. Preparación del vehículo para pruebas**

A continuación, se describe el proceso a seguir para limpiar y purgar el sistema de alimentación de combustible y procurar el uso únicamente de la gasolina deseada en cada prueba

- Estacionar el vehículo y retirar el asiento posterior para acceder a la bomba de combustible y extraerla.
- Extraer el exceso de combustible que haya quedado en el tanque
- Colocar la bomba de combustible y conectarla dejando libre la cañería del retorno para purgar el sistema.
- Una vez limpio el tanque y purgado el sistema, se abastece el tanque con el combustible destinado para las pruebas.

### **2.2.6.4. Procedimiento para determinación de potencia y par motor en el dinamómetro**

Para la obtención de la potencia y par motor que brinda el vehículo con cada muestra de combustible se procedió de la siguiente manera:

- Se montó el vehículo sobre los rodillos del dinamómetro y se ajustó las bandas de seguridad.
- Descendió el elevador dejando a los neumáticos reposados directamente sobre los rodillos.
- En el software del Dyno Vamag se introdujo los datos del vehículo.
- Se calibró la relación de marchas y su transmisión de tal forma que sea 1:1 llevando al vehículo hasta las 4 000 rpm.
- Una vez calibrado se esperó hasta que el vehículo se encuentre en reposo.
- Lo siguiente fue poner el vehículo en marcha.
- Se aceleró el motor haciendo canjes de marcha tal como se indica en la pantalla del equipo, procurando llegar al 4to cambio antes de que el indicador llegue el punto límite.

- Una vez completados los cambios se aceleró el vehículo hasta alcanzar las 5 000 rpm.
- Se liberó el pedal del acelerador neutralizando la caja de cambios de tal forma que el vehículo reduzca el régimen de giro de las ruedas hasta detenerse.
- Cuando el vehículo estuvo en reposo, se esperó de 2 a 3 minutos para realizar la siguiente prueba.

El resultado de la medición se presenta en la pantalla del equipo. El operador puede analizar los resultados obtenidos según las revoluciones del motor concerniente a potencia, par motor, potencia a las ruedas, potencia disipada y número de revoluciones máximas.

#### **2.2.6.5. Procedimiento para emisiones de gases**

Para determinar los porcentajes de concentración de los gases de escape, el proceso se describe a continuación:

- Se encendió el equipo Brain Bee AGS-688 y se esperó a que se calibre automáticamente y alcance su temperatura de trabajo.
- Se procedió a limpiar la sonda y colocarla en el tubo de escape.
- Con ayuda del MGT-300 se llevó el vehículo al régimen de revoluciones deseado.
- Una vez obtenidos los datos se retiró la sonda para su limpieza y posteriormente repetir la prueba.
- Para obtener datos más confiables se realizó 3 lecturas por cada régimen asignado.

Los regímenes asignados para esta evaluación con cada tipo de combustible fueron: Ralentí 850 rpm, 2 500 rpm y 3 500 rpm.

#### **2.2.6.6. Procedimiento para pruebas en ruta del sensor Knock**

Debido a que un vehículo acelerado en modo estacionario no refleja una evidencia clara del cascabeleo ocasionado por la mala calidad del combustible, en esta prueba se optó por generar una ruta para evaluar el comportamiento del sensor Knock. Las pruebas fueron



## CAPÍTULO III

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. ANÁLISIS DE LA MEDICIÓN DEL ÍNDICE DE OCTANAJE

##### 3.1.1. RESULTADOS DE LABORATORIO

Como se mencionó en la sección 2.2.6.2 el análisis del nivel de octanaje de los combustibles y sus variantes con aditivos se realizó mediante una prueba de laboratorio cuyos resultados se presentan en la **Tabla 3.1**.

**Tabla 3.1** Resultados de nivel de octanaje obtenido mediante ensayo de laboratorio

Muestra de combustible	Método de ensayo	Temperatura °C	Octanaje
Extra	ASTM D2699	18	85
Extra más aditivo 1	ASTM D2699	18	86,3
Extra más aditivo 2	ASTM D2699	18	83,3
Súper Premium	ASTM D2699	18	94,6

Una vez obtenidos los resultados del laboratorio, cuyos análisis fueron realizados todos a 18°C, se puede apreciar que el nivel más alto de octanaje lo presenta la gasolina Súper Premium con un valor de 96,4, a diferencia de la gasolina Extra la cual tiene un índice de 85 octanos. Sin embargo, al aplicar los aditivos en Extra se aprecia una variación en dicho índice de la siguiente manera: con el aditivo 1 se eleva hasta 86,3 octanos, mientras que con el aditivo 2 el valor disminuye a 83,3.

### 3.2. ANÁLISIS DE POTENCIA Y PAR MOTOR ALCANZADOS POR TIPO DE COMBUSTIBLE Y SUS VARIANTES CON ADITIVOS

Para obtener los datos de potencia y par motor fue necesario el uso del dinamómetro Dyno Vamag que se describió en la sección 2.2.5.1, el cual se encuentra en el taller Automotriz de la Universidad Técnica del Norte, lugar donde se desarrollaron las pruebas, siendo la gasolina Extra, Extra más aditivo 1, Extra más aditivo 2 y gasolina Súper Premium los combustibles utilizados en el vehículo Chery Tiggo-2 para llevar a cabo la experimentación.

Es importante mencionar que una vez realizadas las pruebas se debe aplicar un factor de corrección a la potencia y par motor medidos debido a la altura de la ciudad en la que se desarrolló los ensayos, pues existe una variación en la presión y temperatura ambiente que pueden influir en los valores de los registrados por el dinamómetro, por lo que se utilizó la ecuación [3.1] que bajo la Norma ISO 1585 establece la estructura para la medición de la potencia del motor.

$$P_0 = \alpha_a * P \text{ (kW)} \quad [3.1]$$

Donde:

$P_0$ : potencia corregida

$P$ : potencia medida

$\alpha_a$ : factor de corrección

En este sentido, es pertinente aclarar los datos de donde se obtiene el factor de corrección aplicable para este estudio mediante la ecuación [3.2].

$$\alpha_a = A^{1,2} \times B^{0,5} \quad [3.2]$$

Donde:

A: relación obtenida de dividir 99 para la presión barométrica

B: relación de la temperatura ambiente sobre 298

### 3.2.1. PRUEBAS DE POTENCIA Y PAR MOTOR UTILIZANDO GASOLINA EXTRA

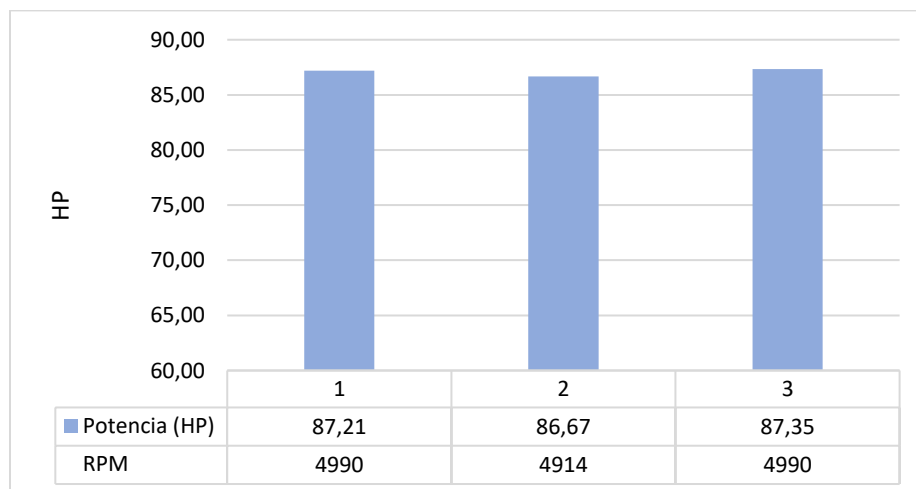
#### 3.2.1.1. Pruebas de potencia

En la **Tabla 3.2** se presentan los resultados de potencia máxima alcanzada en tres pruebas realizadas en el dinamómetro en función de la velocidad y revoluciones por minuto, así como también el promedio de las mismas, resultados que fueron obtenidos tras utilizar gasolina Extra como combustible.

**Tabla 3.2** Potencia obtenida con gasolina Extra

Nº de prueba	Velocidad (km/h)	Potencia (HP)	RPM
1	131	87,21	4 990
2	129	86,67	4 914
3	131	87,35	4 990
<b>Promedio</b>	<b>130</b>	<b>87,08</b>	<b>4 965</b>

Los resultados obtenidos, una vez que se aplicó el factor de corrección, son: en la primera prueba se obtuvo una potencia de 87,21 hp@4 990 rpm, en la segunda prueba se puede observar una potencia de 86,67 hp@4 914 rpm siendo esta la potencia más baja de las tres, para finalizar en la tercera prueba se muestra una potencia máxima de 87,35 hp@4 990 rpm teniendo como resultado una potencia promedio de 87,08 hp@4 965 rpm.



**Figura 3.1** Pruebas de potencia utilizando Extra

En la **Figura 3.1** se presenta mediante una gráfica de barras los valores de potencia alcanzados con su respectivo régimen de revoluciones para cada una de las pruebas, donde se evidencia que se logró obtener la máxima potencia en la prueba número 3 con un valor de 87,35 HP.

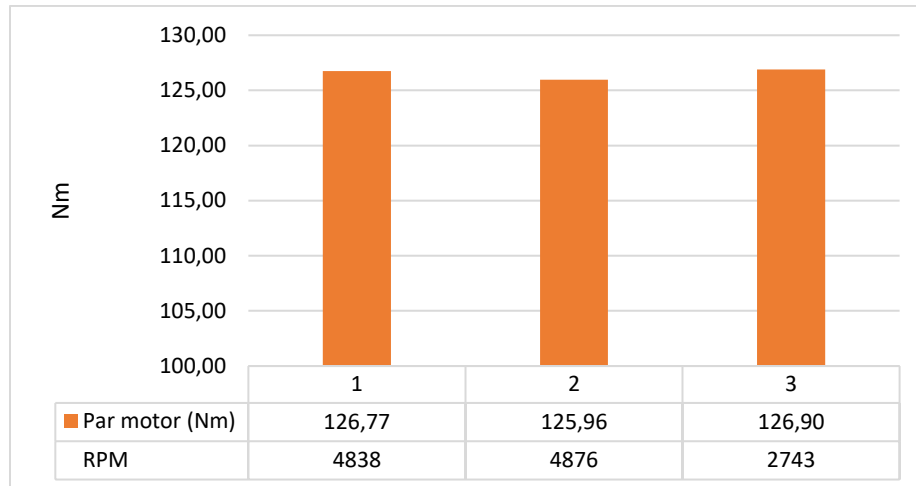
### 3.2.1.2. Pruebas de par motor

En la **Tabla 3.3** se plasman los resultados obtenidos en el dinamómetro de chasis, respecto al par motor y revoluciones por minuto respectivas a las tres pruebas llevadas a cabo haciendo el uso de gasolina Extra, de la misma forma se detallan los valores promediados de los parámetros antes indicados.

**Tabla 3.3** Par-motor usando gasolina Extra

Nº de prueba	Velocidad (km/h)	Par motor (Nm)	RPM
1	127	126,77	4 838
2	128	125,96	4 876
3	72	126,90	2 743
<b>Promedio</b>	<b>109,00</b>	<b>126,54</b>	<b>4 152</b>

Se puede apreciar que en la primera prueba se alcanzó un valor de par motor de 126,77 Nm@4 838 rpm, en la segunda prueba se obtuvo un valor de 125,96 Nm@4 876 rpm siendo el valor más bajo de los tres registrados, finalmente en la prueba número tres se registra un valor de 126,90 Nm@2 743 rpm siendo el valor más alto de todas. El promedio obtenido de estas pruebas fue de 126,54 Nm@4 152 rpm.

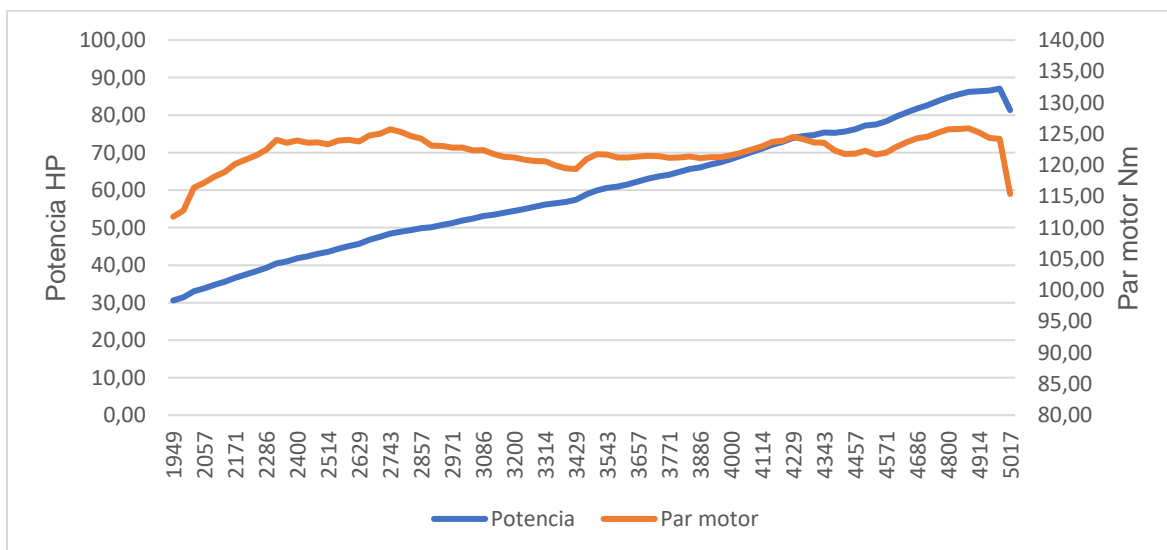


**Figura 3.2** Pruebas de par motor utilizando Extra

En la **Figura 3.2** se presenta un diagrama de barras que muestra los valores de par motor alcanzado en función de las revoluciones por minuto en cada prueba al hacer uso de combustible Extra, de igual forma se puede analizar en que el valor más alto de par fue de 126,90 Nm@2 743 rpm en la tercera prueba.

### 3.2.1.3. Curvas características

Las curvas características muestran los valores de potencia en HP y par motor en Nm alcanzados por el vehículo Chery Tiggo 2 en función de las revoluciones por minuto durante la ejecución de las pruebas en el dinamómetro.



**Figura 3.3** Curvas características de potencia y par motor usando Extra



En la **Figura 3.3** se presentan las curvas características de potencia y par motor de los promedios obtenidos de las tres pruebas realizadas con gasolina Extra como combustible, donde se puede apreciar que los valores máximos alcanzados son de 87,08 hp@4 965 rpm en potencia y 126,90 Nm@2 743 rpm para su máximo par.

### **3.2.2. PRUEBAS DE POTENCIA Y PAR MOTOR UTILIZANDO GASOLINA EXTRA MÁS ADITIVO 1**

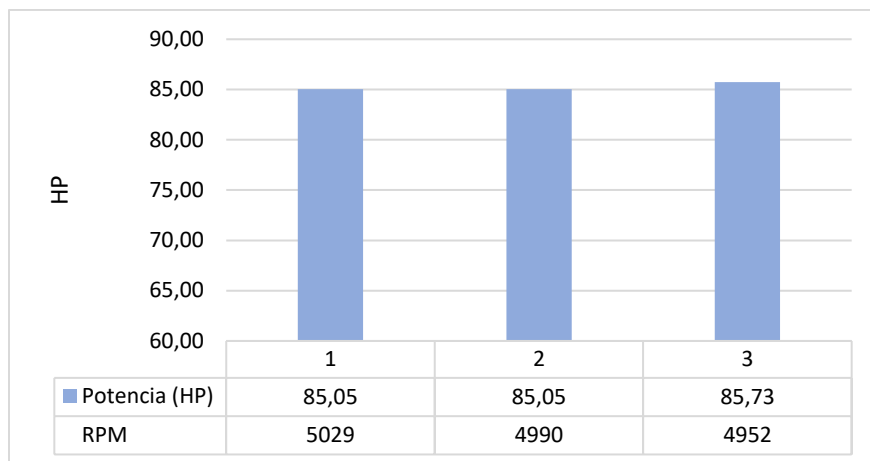
#### **3.2.2.1. Pruebas de potencia**

En la **Tabla 3.4** se indican los resultados de la potencia máxima obtenida en función de las revoluciones y la velocidad, estos datos fueron obtenidos tras realizar tres pruebas en el dinamómetro usando gasolina Extra más aditivo 1. Así mismo se representan los promedios correspondientes a los parámetros antes indicados.

**Tabla 3.4** Potencia obtenida con gasolina Extra más aditivo 1

<b>Nº de prueba</b>	<b>Velocidad (km/h)</b>	<b>Potencia (HP)</b>	<b>RPM</b>
1	132	85,05	5 029
2	131	85,05	4 990
3	130	85,73	4 952
<b>Promedio</b>	<b>131</b>	<b>85,28</b>	<b>4 990</b>

Los resultados de potencia obtenidos con el uso de gasolina Extra más aditivo 1 son: en la primera prueba se alcanzó una potencia de 85,05 hp@5 029 rpm, en la prueba número dos se reflejó la potencia más baja obtenida de 85,05 hp@4 990 rpm, finalmente en la tercera prueba se evidencia la potencia más alta de las tres siendo de 85,73 hp@4 952 rpm, con estos datos se obtuvo un promedio general de 85,28 hp@4 990 rpm.



**Figura 3.4** Pruebas de potencia usando aditivo 1 en gasolina Extra

A través del diagrama de barras de la **Figura 3.4** se representa la potencia obtenida en función de las revoluciones por minuto de cada prueba, se puede observar cual fue la máxima potencia registrada al hacer uso del aditivo 1 en el combustible Extra, siendo de 85,73 HP en la prueba número 3.

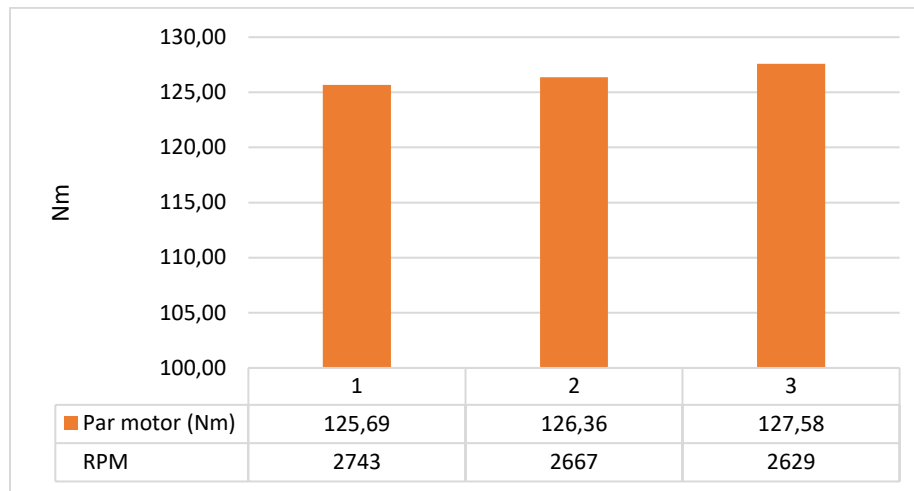
### 3.2.2.2. Pruebas de par motor

En la **Tabla 3.5** se presentan los resultados de las tres pruebas realizadas al vehículo con el fin de obtener el par motor máximo al aplicar el aditivo 1 en gasolina Extra, además se muestra un promedio general de los datos obtenidos.

**Tabla 3.5** Par motor usando aditivo 1 en gasolina Extra

Nº de prueba	Velocidad (km/h)	Par motor (Nm)	RPM
1	72	125,69	2 743
2	70	126,36	2 667
3	69	127,58	2 629
<b>Promedio</b>	<b>70</b>	<b>126,54</b>	<b>2 680</b>

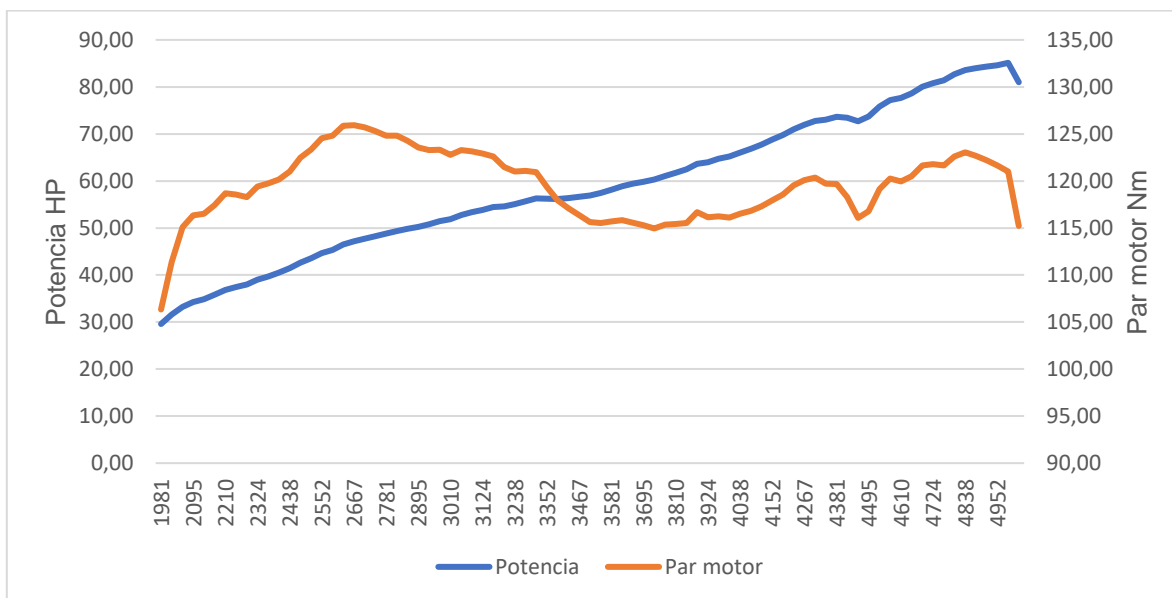
El par motor alcanzado en cada una de las pruebas son: en la prueba número uno se alcanzó el par más bajo de 125,69 Nm@2 743 rpm, en la segunda prueba se reflejan 126,36 Nm@2 667 rpm, para la tercera prueba se registró el máximo par con 127,58 Nm@2 629 rpm, finalmente se obtuvo un promedio de 126,54 Nm@2 680 rpm.



**Figura 3.5** Prueba de par motor usando aditivo 1 en gasolina Extra

En la **Figura 3.5** se presenta un diagrama de barras donde se indican los valores de par motor en función de las revoluciones por minuto que fueron alcanzados por el vehículo en cada prueba al hacer uso de un aditivo 1 gasolina Extra, de igual forma se puede analizar que en la tercera prueba se encuentra el valor más alto, siendo de 127,58 Nm @ 2 629 rpm.

### 3.2.2.3. Curvas características



**Figura 3.6** Curvas características de potencia y par motor utilizando Extra más aditivo 1

En la **Figura 3.6** se presentan las curvas características de potencia y par motor de los promedios obtenidos en las tres pruebas realizadas con el vehículo Chery Tiggo-2 donde se puede observar cómo varían estos parámetros en función de las revoluciones que alcanza el motor al utilizar el aditivo 1 en gasolina Extra. Aquí se puede notar que el valor máximo alcanzado en potencia es de 85,73 HP@4 952 rpm y un par máximo de 127,58 Nm @ 2 629 rpm.

### 3.2.3. PRUEBAS DE POTENCIA Y PAR MOTOR UTILIZANDO GASOLINA EXTRA MÁS ADITIVO 2

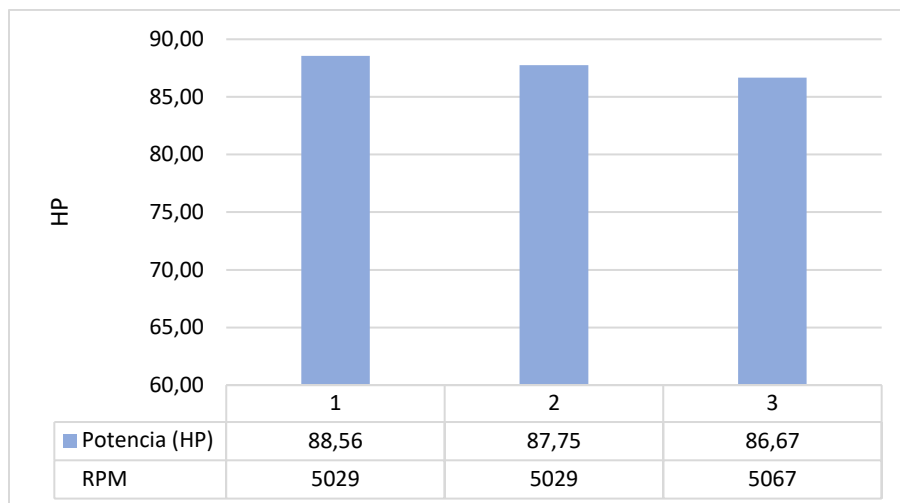
#### 3.2.3.1. Pruebas de potencia

En la **Tabla 3.6** se presentan los máximos valores de potencia que se alcanzó en las tres pruebas realizadas con el vehículo en el dinamómetro al hacer uso de gasolina Extra con la proporción respectiva del aditivo 2. Así mismo, se muestra el promedio de estos valores.

**Tabla 3.6** Potencia obtenida con gasolina Extra más aditivo 2

Nº de prueba	Velocidad (km/h)	Potencia (HP)	RPM
1	132	88,56	5 029
2	132	87,75	5 029
3	133	86,67	5 067
<b>Promedio</b>	<b>132</b>	<b>87,66</b>	<b>5 042</b>

Los resultados de potencia que se obtuvo al hacer uso del aditivo 2 en gasolina Extra fueron: en la prueba número uno se alcanzó la potencia más alta registrada con 88,56 hp@5 029 rpm, por otra parte, el valor más bajo de potencia se registró en la segunda prueba con 87,75 hp@5 029 rpm, mientras que en la prueba número tres se consiguió un valor de 86,67 hp@5 067 rpm, finalmente se promedia un valor de 87,66 hp@5 042 rpm.



**Figura 3.7** Pruebas de potencia usando aditivo 2 en gasolina Extra

En la **Figura 3.7** se puede observar la representación gráfica de los valores alcanzados en las tres pruebas realizadas, donde se plasma la máxima potencia obtenida en función de las revoluciones por minuto de cada una al utilizar combustible Extra más aditivo 2. De igual manera se puede evidenciar que en la primera evaluación se logró la máxima potencia siendo de 88,56 HP.

### 3.2.3.2. Pruebas de par motor

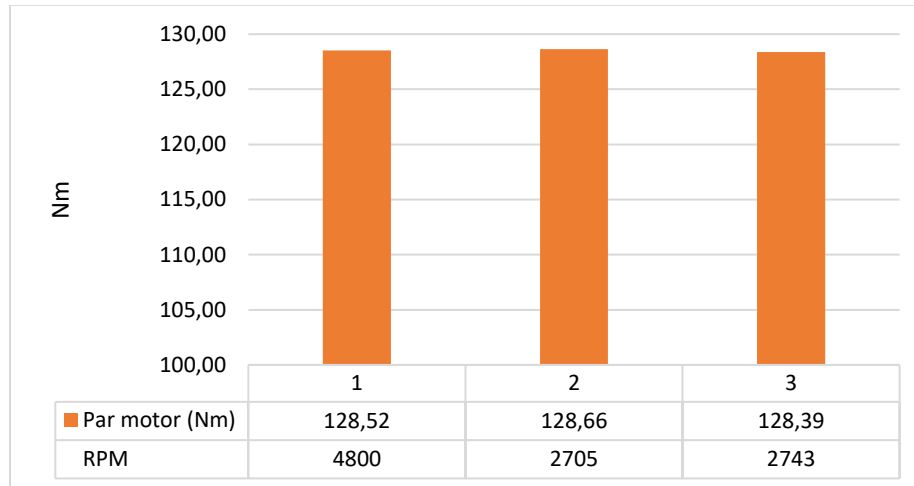
En la **Tabla 3.7** se plasman los resultados obtenidos en el dinamómetro de chasis, respecto al par motor y revoluciones por minuto de las tres pruebas realizadas al vehículo haciendo uso del aditivo 2 en gasolina Extra, de la misma forma se detallan los valores promediados de los parámetros antes indicados.

**Tabla 3.7** Par motor usando aditivo 2 en gasolina Extra

Nº de prueba	Velocidad (km/h)	Par motor (Nm)	RPM
1	126	128,52	4800
2	71	128,66	2705
3	72	128,39	2743
<b>Promedio</b>	<b>90</b>	<b>128,52</b>	<b>3416</b>

Los resultados obtenidos de las tres pruebas realizadas en el dinamómetro con el vehículo Chery Tiggo-2 fueron: en el primer caso se registró un par de 128,52 Nm@4 800 rpm siendo

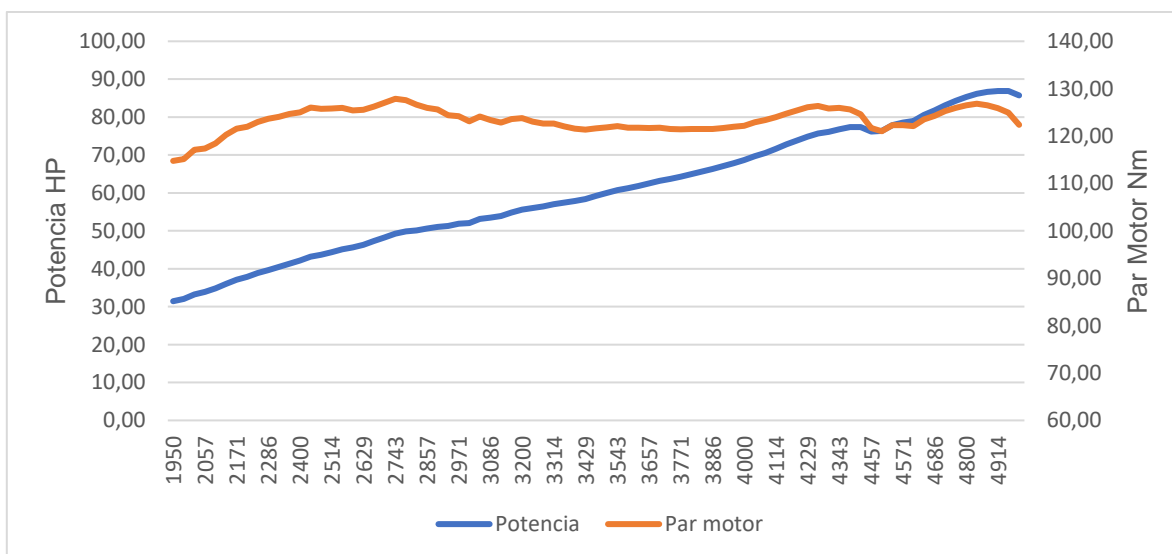
el valor más bajo, para la segunda prueba se obtuvo 128,66 Nm@2 705 rpm destacando como el par motor más alto, mientras que en el tercer ensayo se alcanzó 128,39 Nm@2 743 rpm, finalmente se registra un promedio de 128,52 Nm@3 416 rpm.



**Figura 3.8** Pruebas de par motor usando aditivo 2 en gasolina Extra

En la **Figura 3.8** se presenta un diagrama de barras donde se representa el máximo par motor alcanzado por el vehículo en cada prueba al hacer uso del aditivo 2 en gasolina Extra, de igual forma se pudo evidenciar que en la prueba número 2 se encuentra el valor más alto, siendo de 128,66 Nm@ 2 705 rpm.

### 3.2.3.3. Curvas características



**Figura 3.9** Curvas características de potencia y par motor utilizando Extra más aditivo 2

En la **Figura 3.9** se presentan las curvas características de potencia y par motor de los promedios obtenidos de las tres pruebas realizadas con el vehículo Chery Tiggo-2 donde se representa gráficamente el trabajo realizado por el motor a diferentes regímenes usando un aditivo 2 en gasolina Extra.

En las curvas características se aprecia que al hacer uso de un aditivo 2 en el combustible Extra el vehículo puede alcanzar una potencia máxima de 88,56 hp@5 029 rpm y un par-motor de 128,66 Nm@ 2 705 rpm.

### 3.2.4. PRUEBAS DE POTENCIA Y PAR MOTOR UTILIZANDO GASOLINA SÚPER PREMIUM

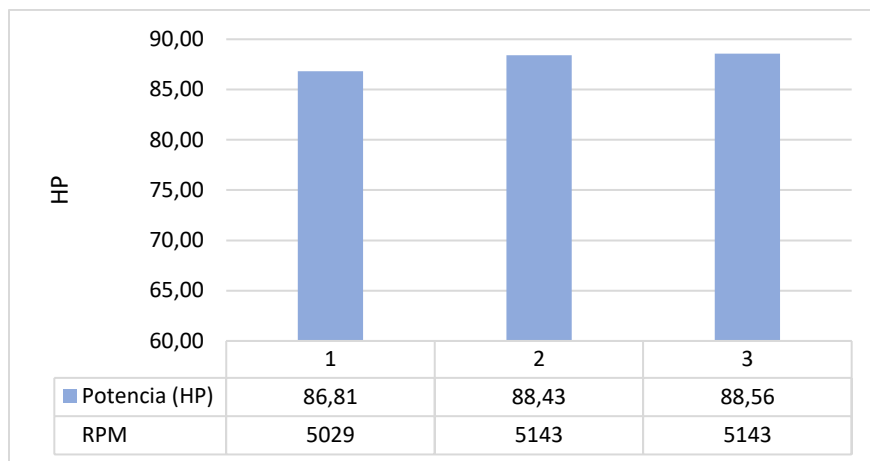
#### 3.2.4.1. Pruebas de potencia

En la **Tabla 3.8** se presentan los valores de potencia máxima obtenida en función de la velocidad y las revoluciones por minuto, datos resultantes de las tres pruebas realizadas en el dinamómetro con el uso de gasolina Súper Premium como combustible del vehículo. Así también se presenta el promedio de los valores anteriormente mencionados.

**Tabla 3.8** Potencia obtenida con gasolina Súper Premium

Nº de prueba	Velocidad (km/h)	Potencia (HP)	RPM
1	132	86,81	5 029
2	134	88,43	5 143
3	134	88,56	5 143
<b>Promedio</b>	<b>133</b>	<b>87,93</b>	<b>5 105</b>

En la primera prueba se alcanzó una potencia de 86,81 hp@5 029 rpm registrada como la más baja obtenida, en la prueba número dos se registró un valor de 88,43 hp@5 143 rpm, siendo la potencia más elevada, mientras que en la tercera prueba se evidenciaron 88,56 hp@5 143 rpm, finalmente con estos datos se obtuvo un promedio general de 87,93 hp@5 105 rpm.



**Figura 3.10** Pruebas de potencia usando gasolina Super Premium

A través del diagrama de barras de la **Figura 3.10** se representa la potencia obtenida en función de las revoluciones por minuto de cada prueba, donde se puede apreciar que la máxima potencia registrada que se alcanzó al hacer uso de la gasolina Súper Premium fue de 88,56 hp en la prueba número 2.

#### 3.2.4.2. Pruebas de par motor

En la **Tabla 3.9** se presentan los resultados de par motor que se obtuvieron luego de las tres pruebas realizadas al vehículo donde se utilizó gasolina Súper Premium como combustible, además de la velocidad y régimen de revoluciones a las que el motor alcanzó dichos valores.

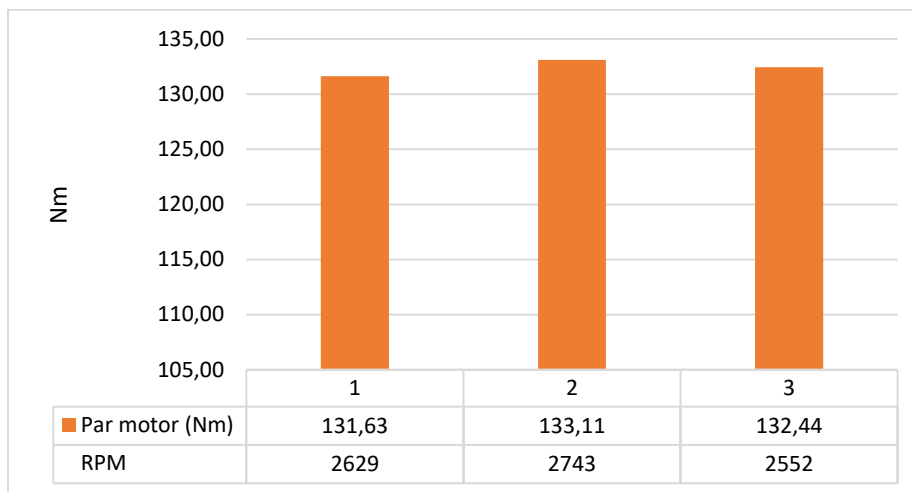
**Tabla 3.9** Par-motor usando mezcla de gasolina Extra y Súper Premium

Nº de prueba	Velocidad (km/h)	Par motor (Nm)	RPM
1	69	131,63	2 629
2	72	133,11	2 743
3	67	132,44	2 552
<b>Promedio</b>	<b>69</b>	<b>132,39</b>	<b>2 641</b>

El par motor alcanzado en cada una de las pruebas son: en la prueba número se registró el par más bajo con 131,63 Nm@2 629 rpm, en la segunda prueba se reflejan 133,11 Nm@2 743 rpm destacando como la más alta registrada, por otra parte, para el tercer ensayo se



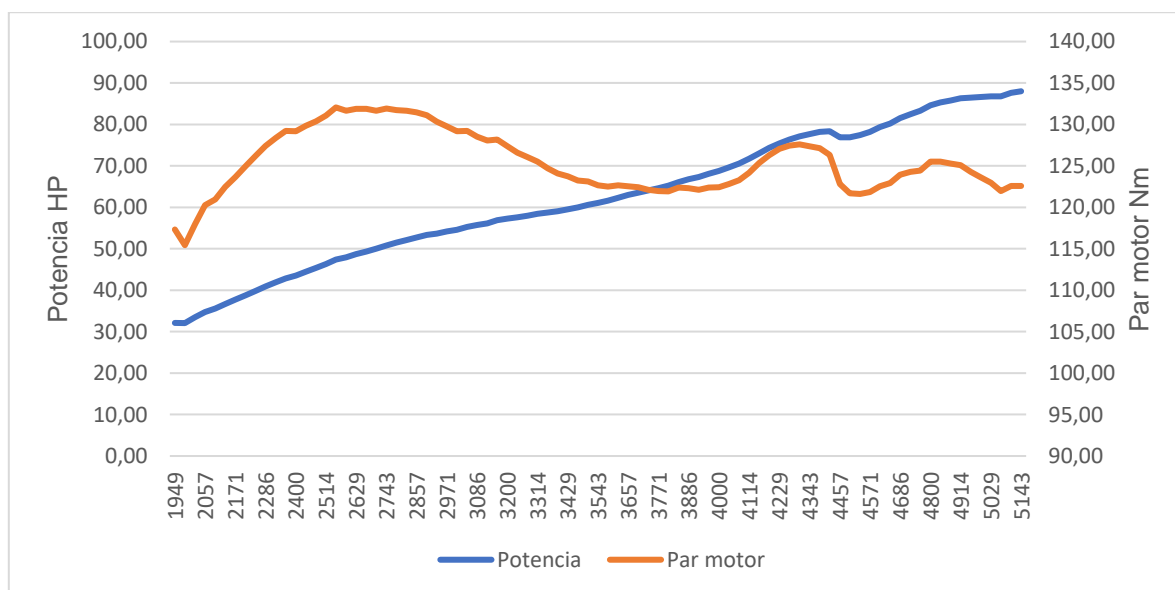
alcanzó un valor de 132,44 Nm@2 552 rpm, finalmente se obtuvo un promedio de 132,39 Nm@2 641 rpm.



**Figura 3.11** Pruebas de par motor usando gasolina Súper Premium

En la **Figura 3.11** se presenta un diagrama de barras que ayuda a representar gráficamente el máximo valor de par motor en función de las revoluciones por minuto alcanzadas por el vehículo en cada prueba al hacer uso de la gasolina Súper Premium, de igual forma se puede analizar que el par motor más elevado se alcanzó en la segunda prueba con un valor de 133,11 Nm.

### 3.2.4.3. Curvas características



**Figura 3.12** Curvas características de potencia y par motor utilizando Súper Premium

En la **Figura 3.12** se presentan las curvas características de potencia y par motor de los promedios obtenidos en las tres pruebas realizadas con el vehículo Chery Tiggo-2 donde se representa de manera gráfica el trabajo realizado por el motor a diferentes regímenes al utilizar la gasolina Súper Premium como combustible.

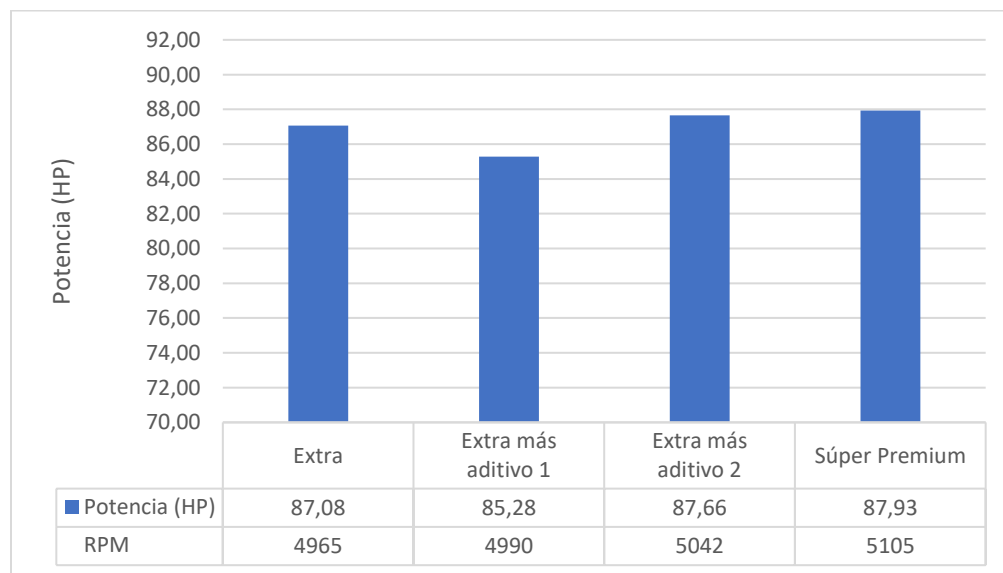
Las curvas características indican que el vehículo fue capaz de alcanzar un valor en potencia de 88,56 hp@5 143 rpm y un par motor de 133,11 @2 743 rpm respectivamente.

### 3.2.5. COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE POTENCIA Y PAR MOTOR ALCANZADOS POR TIPO DE COMBUSTIBLE

Una vez finalizado el análisis de potencia y par motor que se obtuvo al utilizar cada tipo de combustible resulta ventajoso desarrollar una comparación de todos los valores registrados con la finalidad de determinar que variante de combustible presentó mejores resultados.

#### 3.2.5.1. Comparación de potencia

Las pruebas de potencia realizadas en el dinamómetro arrojaron diferentes valores por cada tipo de combustible que se utilizó, por lo que, es conveniente presentar todos los resultados en una misma gráfica para evidenciar los distintos rangos alcanzados por cada uno.

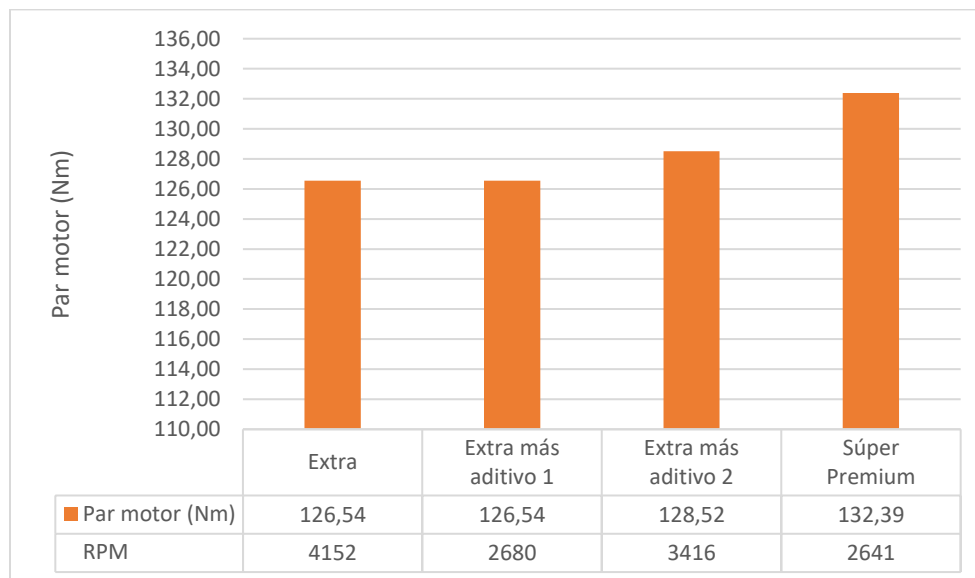


**Figura 3.13** Comparación de potencias utilizando diferentes combustibles

La **Figura 3.13** refleja de manera gráfica los máximos niveles de potencia alcanzados por el vehículo con cada variante de combustible. El valor más alto de potencia se registró al hacer uso Súper Premium con una potencia máxima de 87,93 hp@5 105 rpm, así también, se puede observar que al utilizar el aditivo 2 en gasolina Extra se alcanzó un valor de 87,66 hp@5 043 rpm, mientras que con la gasolina Extra en el vehículo se pudo lograr 87,08 hp@4965 rpm, y finalmente está el uso del aditivo 1 en la gasolina Extra con el cual el vehículo registró una potencia de 85,28 hp@4 990 rpm.

### 3.2.5.2. Comparación de par motor

Luego de realizar las pruebas de par motor realizadas en el dinamómetro se registraron diferentes valores por cada tipo de combustible que se utilizó, por lo que, se considera pertinente presentar todos los resultados en una misma gráfica para evidenciar los distintos rangos alcanzados por cada uno.



**Figura 3.14** Comparación de par motor utilizando diferentes combustibles

Mediante un gráfico de barras en la **Figura 3.14** se representan los máximos valores de par motor obtenidos por cada tipo de combustible, donde resaltan los 132,39 Nm@2 641 rpm resultantes de utilizar gasolina Súper Premium. A continuación, se encuentra el uso del aditivo 2 en gasolina Extra con el que se consiguió un par de 128,52 Nm@3 416 rpm. Por otra parte, el uso del aditivo 1 en gasolina Extra fue capaz de arrojar un valor de 126,54

Nm@2 680 rpm y finalmente el par motor más bajo fue 126,54 Nm@4 152 rpm, valor que se obtuvo al utilizar gasolina Extra.

### **3.3. ANÁLISIS DEL EFECTO CAUSADO EN LOS GASES DE ESCAPE POR EL USO DE DIFERENTES VARIANTES DE COMBUSTIBLES**

Una vez finalizadas las pruebas de potencia y par motor se procedió a analizar la concentración de gases emanados por el vehículo Chery Tiggo-2 con cada tipo de combustible con ayuda del analizador de gases de escape AGS-688. Este análisis se desarrolló a tres diferentes regímenes 850, 2 500 y 3 500 RPM con tres repeticiones en cada caso para eliminar posibles fallas del equipo a la hora de la medición.

Los diferentes regímenes fueron considerados de acuerdo con lo establecido en la Resolución No. 025-ANT-DIR-2019 Anexo I, y sumado a ello se optó por desarrollar una prueba a 3500 rpm con el objetivo de elevar la exigencia al motor y verificar si existe o no una variación más notoria en la emisión de gases contaminantes

Para este apartado se tomó como referencia los resultados de emisiones de gases de escape producidos por la gasolina Extra, debido a que estos cumplen con los límites establecidos por la Normativa NTE INEN 2204 descrita en la sección 1.11.4 y se los comparó con los niveles producidos por las demás variantes de combustibles, partiendo del hecho de que dicha gasolina es la de mayor comercio en el sector y es la que utilizaba el vehículo para su movilización antes de las pruebas.

Por otra parte, en vista de que la Normativa NTE INEN 2204 solo establece límites para CO y HC, el presente estudio aprovecha la capacidad del equipo analizador de gases de la Universidad Técnica del Norte para proporcionar una comparativa de emisiones más amplia donde además de los gases antes mencionados también se realiza el análisis de O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> y factor Lambda.

### 3.3.1. ANÁLISIS DE MONÓXIDO DE CARBONO

#### 3.3.1.1. Monóxido de carbono emanado con gasolina Extra vs Extra más aditivo 1

Una vez obtenidos los resultados de las pruebas con el analizador de gases AGS-688 en el vehículo Chery Tiggo-2 a distintas revoluciones, se llevó a cabo un análisis y comparación de estos. En la **Tabla 3.10** se pueden apreciar los valores resultantes promedio de usar gasolina Extra y Extra más el aditivo 1, con los cuales se logró establecer una diferencia en cuanto al incremento o disminución del gas emanado.

**Tabla 3.10** Diferencia en la concentración de CO usando combustible Extra vs Extra más aditivo 1

RPM	Extra	Extra más aditivo 1	Diferencia	Disminución %	Incremento %
850	0,020	0,007	-0,013	67%	---
2 500	0,033	0,007	-0,027	80%	---
3 500	0,010	0,010	0,000	0%	---

Al aplicar el aditivo 1 en gasolina Extra se puede ver que a 850 rpm existe una disminución de CO del 67% en comparación al valor que se obtuvo al usar gasolina Extra, de igual manera en la prueba realizada a 2 500 rpm se obtuvo una reducción del 80%, sin embargo, al realizar la evaluación a 3 500 rpm no se puede notar ningún cambio.

#### 3.3.1.2. Monóxido de carbono emanado con gasolina Extra vs Extra más aditivo 2

Una vez obtenidos los resultados de las pruebas usando gasolina Extra con el aditivo 2 como combustible se comparó los valores registrados que se muestran en la **Tabla 3.11** misma que permitió analizar el incremento o disminución de CO.

**Tabla 3.11** Diferencia en la concentración de CO usando combustible Extra vs Extra más aditivo 2

RPM	Extra	Extra más aditivo 2	Diferencia	Disminución %	Incremento %
850	0,020	0,040	0,020	---	100%
2 500	0,033	0,023	-0,010	30%	---
3500	0,010	0,037	0,027	---	267%

El uso de un aditivo 2 en la gasolina Extra tiende a incrementar la producción de CO a 850 y 3 500 rpm un 100% y 267% respectivamente sin embargo a 2 500 rpm existe una disminución de un 30%.

### 3.3.1.3. Monóxido de carbono emanado con gasolina Extra vs Súper Premium

Una vez finalizadas las pruebas de emisiones de gases a diferentes revoluciones por minuto se procedió a generar su respectivo promedio para poder comparar sus resultados tal como se muestra en la **Tabla 3.12** donde se puede notar si incrementa o disminuye el nivel de concentración de CO al utilizar la gasolina Súper Premium como combustible.

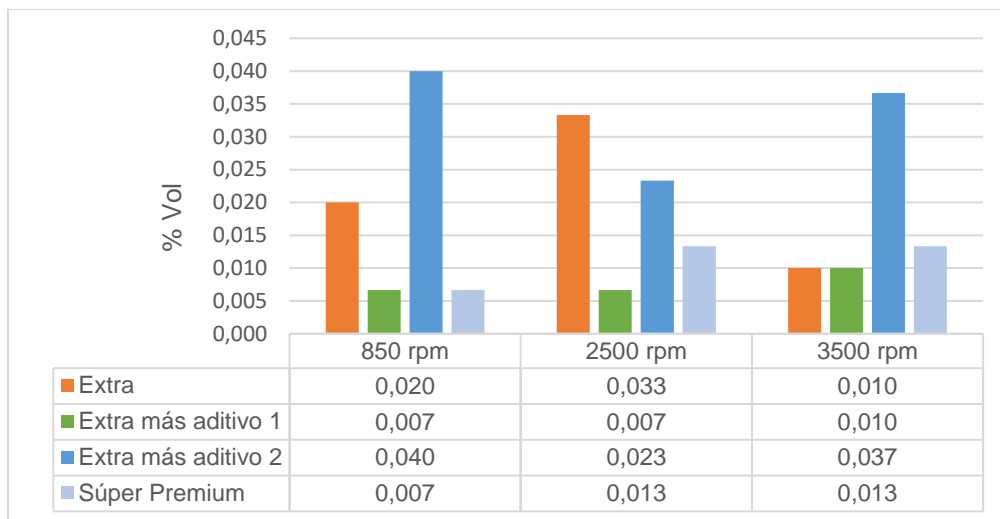
**Tabla 3.12** Diferencia en la concentración de CO usando combustible Extra vs Súper Premium

RPM	Extra	Súper Premium	Diferencia	Disminución %	Incremento %
850	0,020	0,007	-0,013	67%	---
2 500	0,033	0,013	-0,020	60%	---
3 500	0,010	0,013	0,003	---	33%

Al utilizar la gasolina Súper Premium como combustible para el vehículo se evidencia una disminución de CO a 850 y 2 500 rpm de un 67% y 60% respectivamente en comparación al porcentaje de concentración de CO emanado con gasolina Extra, sin embargo, a 3 500 rpm se nota un incremento del 33%.

### 3.3.1.4. Comparación de resultados de Monóxido de Carbono

Las pruebas emisiones de CO realizadas con el analizador de gases AGS-688 arrojaron diferentes valores por cada tipo de combustible, por lo que, es conveniente presentar todos los resultados en una misma gráfica para evidenciar los distintos niveles de concentración de este gas.



**Figura 3.15** Concentración de CO a diferentes revoluciones

Una vez realizados los análisis de CO utilizando cada tipo de combustible es importante comparar los valores obtenidos en cada régimen de revoluciones como se muestra en la **Figura 3.15** donde se puede observar la diferencia existente del % Vol. de este gas emanado al hacer uso de diferentes combustibles.

Con un régimen de 850 rpm el uso de un aditivo 2 en gasolina Extra se evidencia un incremento significativo con respecto a los demás siendo de 0,040 % Vol. En segundo lugar, se registra un 0,020 % Vol. Al usar gasolina Extra, pero al usar un aditivo 1 se puede observar que se equipara su valor al de Súper Premium con un % Vol. De 0,007.

Al realizar las pruebas a un régimen de 2 500 rpm el % Vol. de CO usando gasolina extra es de 0,033 siendo el valor más alto, seguido de un 0,023 % Vol. haciendo uso de un aditivo 2 en gasolina extra. La presencia de este gas se reduce significativamente con las otras muestras de combustible, siendo de 0,013 el % Vol. obtenido usando Súper Premium. Finalmente, el valor más bajo está dado por el uso de un aditivo 1 en gasolina extra con un 0,007 % Vol.

Al alcanzar un régimen de 3 500 rpm el valor máximo de CO se presenta con el uso de un aditivo 2 en el combustible Extra con 0,037 % Vol. Seguido de un 0,013 % Vol. el cual se refleja al hacer uso de gasolina Súper Premium, para un tercer lugar se igualan extra y extra más un aditivo 1 con un % Vol de 0,010.

### 3.3.2. ANÁLISIS DE DIÓXIDO DE CARBONO

#### 3.3.2.1. Dióxido de carbono emanado con gasolina Extra vs Extra más aditivo 1

Al realizar las tres pruebas de emisiones de gases de escape en el vehículo Chery Tiggo-2 a diferentes rpm se obtuvieron los promedios de dióxido de carbono. En la **Tabla 3.13** Se muestran dichos resultados que se obtuvieron al usar gasolina Extra y Extra más aditivo 1 los cuales permiten determinar si existe un incremento o disminución al hacer uno de estos tipos de combustibles.

**Tabla 3.13** Diferencia en la concentración de CO<sub>2</sub> usando gasolina Extra vs Extra más aditivo 1

RPM	Extra	Extra más aditivo 1	Diferencia	Disminución %	Incremento %
850	15,100	15,333	0,233	---	2%
2 500	15,200	15,400	0,200	---	1%
3 500	15,300	15,433	0,133	---	1%

Los resultados de las pruebas de CO<sub>2</sub> muestran que a 850, 2 500 y 3 500 rpm existe un incremento de 2%, 1%, y 1% respectivamente al hacer uso del aditivo 1 en la gasolina Extra.



### 3.3.2.2. Dióxido de carbono emanado con gasolina Extra vs Extra más aditivo 2

Una vez realizadas las pruebas con el analizador de gases en el vehículo Chery Tiggo-2 a diferentes revoluciones, se registraron los promedios pertenecientes al porcentaje de concentración de CO<sub>2</sub> emanado a hacer uso de gasolina Extra más aditivo 2, a continuación, en la **Tabla 3.14** se indican los datos obtenidos con los que se realiza el análisis del incremento o disminución de este gas al hacer uso de este tipo de combustible.

**Tabla 3.14** Diferencia en la concentración de CO<sub>2</sub> usando gasolina Extra vs Extra más aditivo 2

RPM	Extra	Extra más aditivo 2	Diferencia	Disminución %	Incremento %
850	15,100	14,967	-0,133	1%	---
2500	15,200	15,100	-0,100	1%	---
3500	15,300	15,200	-0,100	1%	---

Los resultados al usar el aditivo 2 en la gasolina Extra no son favorables puesto que existe una disminución de la presencia de CO<sub>2</sub> del 1% en los tres regímenes de 850, 2 500 y 3 500 rpm.

### 3.3.2.3. Dióxido de carbono emanado con gasolina Extra vs Súper Premium

Una vez finalizadas las pruebas de emisiones de gases con el vehículo a diferentes rpm y con tres repeticiones de cada una se obtuvieron sus respectivos promedios para poder comparar sus resultados tal como se muestra en la **Tabla 3.15**, donde se aprecia el incremento o disminución del nivel de CO<sub>2</sub> al usar combustible Súper Premium con respecto a los resultados con el uso de gasolina Extra.

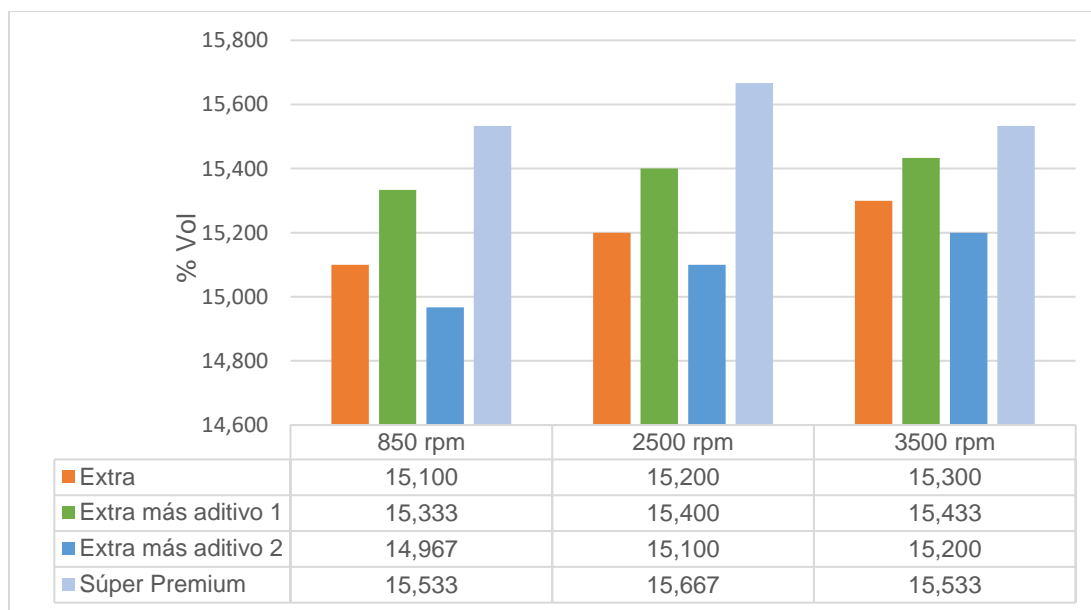
**Tabla 3.15** Diferencia en la concentración de CO<sub>2</sub> usando gasolina Extra vs Extra más Súper Premium

RPM	Extra	Súper Premium	Diferencia	Disminución %	Incremento %
850	15,100	15,533	0,433	---	3%
2 500	15,200	15,667	0,467	---	3%
3 500	15,300	15,700	0,400	---	3%

Los resultados obtenidos al hacer uso de gasolina Súper Premium con respecto a la gasolina Extra son favorables puesto que presentaron un de incremento de 3% en los tres regímenes de revoluciones.

#### 3.3.2.4. Comparación de resultados de Dióxido de Carbono

Al finalizar las comparaciones de los valores obtenidos con el analizador de gases, se presenta un análisis donde se señala la diferencia existente en los porcentajes de concentración de CO<sub>2</sub> por cada tipo de combustible y en función de las revoluciones a las que está sometido el vehículo.



**Figura 3.16** Concentración de CO<sub>2</sub> a diferentes rpm

Una vez obtenidos los resultados de CO<sub>2</sub> emanados por cada tipo de combustible a un régimen determinado se los representa de manera gráfica en la **Figura 3.16** donde se puede apreciar que a un régimen de 850 rpm se registró una concentración de 15,533% Vol., tanto al emplear Súper Premium como al añadir el aditivo 1 a la gasolina Extra, mientras que el uso de esta gasolina por si sola reflejó un valor de 15,100 %Vol., finalmente, el uso del aditivo 2 se refleja con una reducción en la concentración de este gas, al alcanzar el valor de 14,967 % Vol.

Por otra parte, al incrementar las revoluciones del motor hasta las 2 500 rpm los datos obtenidos fueron: 15,667 % Vol., el cual es emanado como producto de utilizar gasolina Súper Premium, mientras que al agregar el aditivo 1 se registró un valor de 15,400 % Vol., y al utilizar gasolina Extra por si sola arrojó un valor de 15,200 % Vol., finalmente, el porcentaje por volumen al utilizar el aditivo 2 en gasolina Extra fue de 15,100 % Vol.

Como última prueba, se aceleró el vehículo hasta alcanzar las 3 500 rpm régimen donde los resultados de CO<sub>2</sub> fueron: para la gasolina Súper Premium un 15,533 %Vol. seguidamente, el uso del aditivo 1 refleja un porcentaje volumétrico de 15,433 %Vol. En tercer lugar, se encuentra el uso de gasolina Extra con 15,300 %Vol. y finalmente el tipo de combustible que producen menor cantidad de CO<sub>2</sub> como producto de la combustión fue gasolina Extra más el aditivo 2 con un % Vol. de 15,433.

### **3.3.3. ANÁLISIS DE HIDROCARBUROS**

#### **3.3.3.1. Hidrocarburos emanados con gasolina Extra vs Extra más aditivo 1**

Al obtener los resultados del análisis de gases realizados en el vehículo Chery Tiggo-2 a diferentes regímenes haciendo uso de combustible Extra y Extra más aditivo 1 se presentan en la **Tabla 3.16**, así como el análisis realizado para determinar si existió un incremento o disminución de HC con las diferentes variantes de combustible.

**Tabla 3.16** Diferencia en la concentración de HC usando gasolina Extra vs Extra más aditivo 1

RPM	Extra	Extra más aditivo 1	Diferencia	Disminución %	Incremento %
850	10,000	6,000	-4,000	40%	---
2500	7,000	11,000	4,000	---	57%
3500	2,167	4,333	2,167	---	100%

Al usar el aditivo 1 en gasolina Extra se puede observar una disminución del 40% de HC a 850 rpm, sin embargo, a 2 500 rpm hay una tendencia de incremento que llega hasta 57% con respecto a lo obtenido al utilizar únicamente gasolina Extra como combustible y finalmente a 3 500 rpm el incremento de este producto de la combustión alcanza el 100%.

### 3.3.3.2. Hidrocarburos emanados con gasolina Extra vs Extra más aditivo 2

Una vez llevadas a cabo las pruebas de emisiones de gases de escape haciendo uso de gasolina Extra y Extra más aditivo 2, se presentan en la **Tabla 3.17**, donde se contrastan los promedios obtenidos de los valores de HC, mismos que permiten determinar si existe una tendencia a la disminución o incremento del porcentaje de concentración en función de combustible utilizado.

**Tabla 3.17** Diferencia en la concentración de HC usando gasolina Extra vs Extra más aditivo 2

RPM	Extra	Extra más aditivo 2	Diferencia	Disminución %	Incremento %
850	10,000	14,667	4,667	---	47%
2 500	7,000	13,333	6,333	---	90%
3 500	2,167	10,333	8,167	---	377%

El uso del aditivo 2 en gasolina Extra presentó un incremento en la producción de HC directamente proporcional al aumento de las revoluciones del motor de la siguiente manera:

a 850 rpm aumenta un 47% con respecto a los valores obtenidos usando combustible Extra, a 2 500 rpm alcanza hasta un 90 % de HC y a 3 500 rpm se obtiene un porcentaje de incremento de 377% respecto a lo registrado con el combustible base.

### 3.3.3.3. Hidrocarburos emanados con gasolina Extra vs Súper Premium

Los datos promedio obtenidos de las pruebas de emisiones de gases de escape utilizando gasolina Súper Premium se presentan en la **Tabla 3.18** donde se comparan los valores de HC con los registrados al utilizar gasolina Extra.

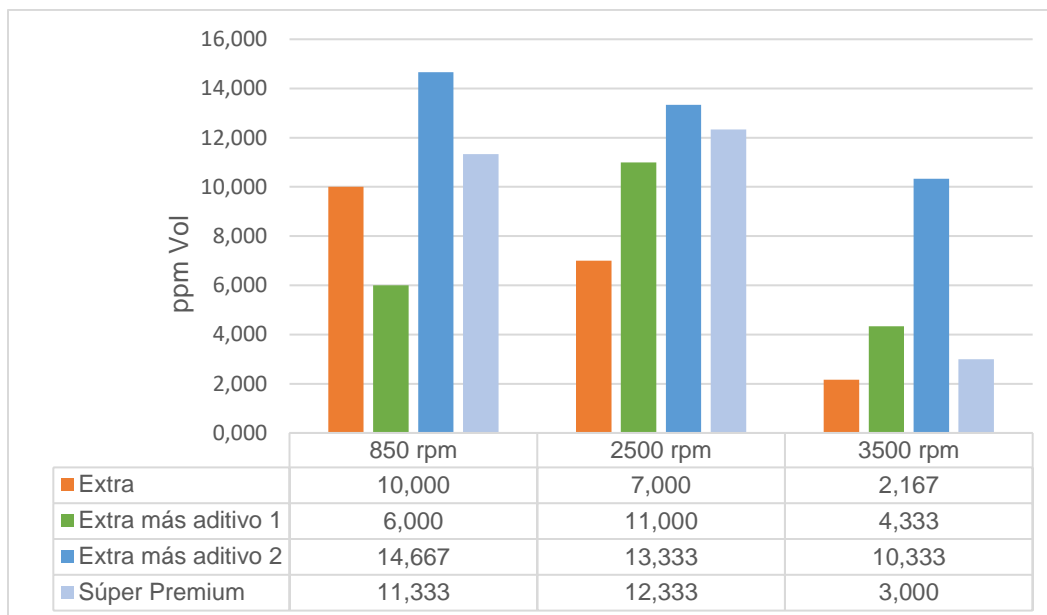
**Tabla 3.18** Diferencia en la concentración de HC usando gasolina Extra vs mezcla Extra más Súper Premium

RPM	Extra	Súper Premium	Diferencia	Disminución %	Incremento %
850	10,000	11,333	1,333	---	13%
2 500	7,000	12,333	5,333	---	76%
3 500	2,167	3,000	0,833	---	38%

El incremento de HC es notorio al emplear gasolina Súper Premium como combustible para el vehículo, con respecto a los datos arrojados al utilizar gasolina Extra con las siguientes variaciones: un 13% a 850 rpm, mientras que a 2 500 rpm se alcanzó un 76%, sin embargo, al llevar el número de revoluciones hasta las 3 500 se redujo hasta un 38 %.

### 3.3.3.4. Comparación de resultados de Hidrocarburos

Una vez realizadas las pruebas de emisiones de relacionadas a los hidrocarburos producidos por la combustión en el motor con cada variante de combustible, se procedió a agrupar todos los resultados para ser presentados en una misma gráfica con el fin de evidenciar las diferencias en los niveles de hidrocarburos emanados a diferente régimen de revoluciones.



**Figura 3.17** Concentración de HC

Los resultados obtenidos de la concentración de hidrocarburos se plasman en el diagrama de barras de la **Figura 3.17**, donde se presentan los siguientes resultados: a un régimen de 850 rpm se puede observar que al usar el aditivo 2 en gasolina Extra se obtiene el valor más alto en emisiones de un 14,667 ppm Vol. seguido de 11,333 ppm Vol. que se obtiene al usar gasolina Súper Premium. En tercer lugar, se encuentran los 10,000 ppm Vol., resultantes de utilizar gasolina Extra como combustible y finalmente los 6,000 ppm Vol., siendo el valor más bajo al incluir el aditivo 1 en gasolina Extra.

Por otra parte, al llevar el motor del vehículo a las 2 500 rpm se obtuvo que, al usar combustible Extra se presentó la concentración más alta con 13,333 ppm Vol., seguido de la gasolina Súper la cual reflejó un valor de 12,333 ppm Vol., mientras que aplicar el aditivo 1 en gasolina Extra produjo 11,000 ppm Vol. y finalmente el valor más bajo fue de 7,000 ppm Vol., cuando se utilizó únicamente gasolina Extra.

Al alcanzar las 3 500 rpm se presentó una mayor variación de HC pues los valores más elevados fueron de 10,333 ppm Vol., al utilizar el aditivo 2 en gasolina Extra, mientras que el uso de los demás combustibles manifestó una reducción en estos valores, siendo de 4,333 ppm Vol., al utilizar el aditivo 1 en gasolina Extra, 3,000 ppm Vol., al usar Súper Premium y 2,167 ppm % Vol., para la gasolina Extra.

### 3.3.4. ANÁLISIS DE CONCENTRACIÓN DE OXÍGENO

#### 3.3.4.1. Oxígeno emanado con gasolina Extra vs Extra más aditivo 1

Una vez obtenidos los resultados del análisis de gases de escape con respecto a la concentración de O<sub>2</sub> se presentan en la **Tabla 3.19** los valores registrados después de realizar las pruebas a diferentes regímenes de revoluciones, donde se utilizó la gasolina Extra como combustible y su variante al añadir la dosis respectiva del aditivo 1.

**Tabla 3.19** Diferencia en la concentración de O<sub>2</sub> usando Extra vs Extra más aditivo 1

RPM	Extra	Extra más aditivo 1	Diferencia	Disminución %	Incremento %
850	0,690	0,560	-0,130	19%	---
2 500	0,480	0,473	-0,007	1%	---
3 500	0,390	0,417	0,027	---	7%

Al hacer uso del aditivo 1 la presencia de O<sub>2</sub> disminuye un 19% a 850 rpm en comparación a los datos obtenidos con combustible Extra, de igual forma al llevar el régimen hasta las 2 500 rpm se nota una reducción del 1% sin embargo, al alcanzar las 3 500 rpm existe un incremento de O<sub>2</sub> del 7%.

#### 3.3.4.2. Oxígeno emanado con gasolina Extra vs Extra más aditivo 2

Luego de haber sometido el vehículo Chery Tiggo-2 al análisis de gases respecto a la concentración de O<sub>2</sub> a tres distintos regímenes de revoluciones, y, donde se utilizó como variante de combustible con aditivo 2 en gasolina Extra, los resultados obtenidos se presentan en la **Tabla 3.20** con los cuales se analiza si estos niveles tienden a incrementarse o disminuir en comparación a los datos obtenidos cuando se utilizó únicamente gasolina Extra.

**Tabla 3.20** Diferencia en la concentración de O<sub>2</sub> usando Extra vs Extra más aditivo 2

RPM	Extra	Extra más aditivo 2	Diferencia	Disminución %	Incremento %
850	0,690	1,187	0,497	---	72%
2 500	0,480	1,003	0,523	---	109%
3 500	0,390	0,987	0,597	---	153%

Los resultados al hacer uso del aditivo 2 a 850 rpm presentó un incremento del 72 %, a 2 500 rpm la presencia de O<sub>2</sub> es de un 109% mayor a lo registrado con gasolina Extra, de la misma manera al llegar a las 3 500 rpm se reflejó un incremento del 153%.

### 3.3.4.3. Oxígeno emanado con gasolina Extra vs Súper Premium

Los resultados de las pruebas de emisiones con respecto al O<sub>2</sub> se muestran en la **Tabla 3.21** donde se analiza si los niveles emanados tienen a incrementarse o disminuir en función del tipo de gasolina que se haya utilizado y las revoluciones por minuto a las que se haya sometido el vehículo.

**Tabla 3.21** Diferencia en la concentración de O<sub>2</sub> usando Extra vs mezcla Extra más Súper Premium

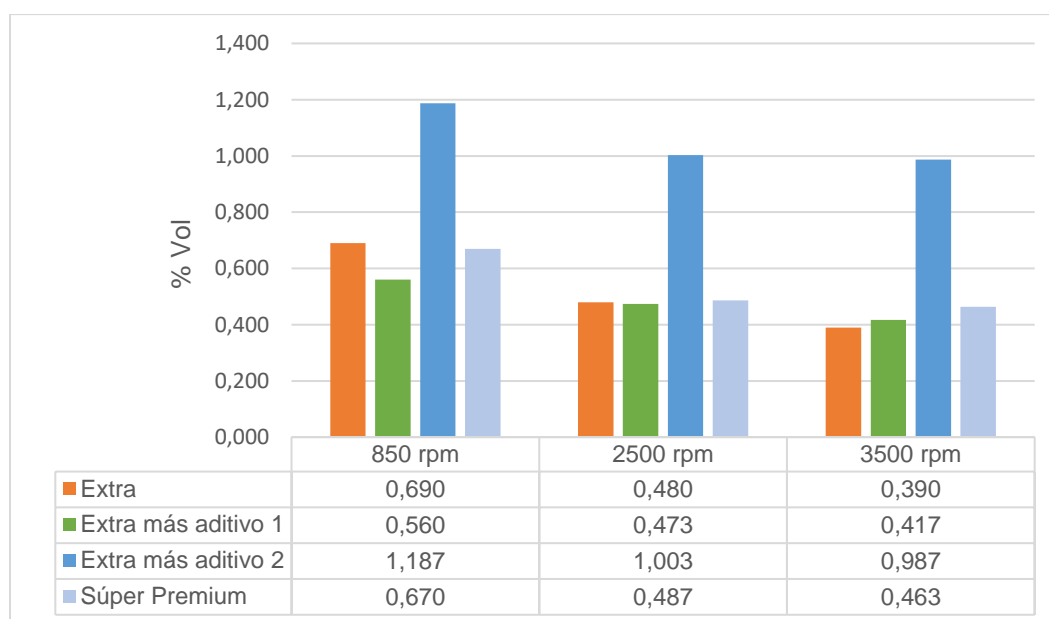
RPM	Extra	Súper Premium	Diferencia	Disminución %	Incremento %
850	0,690	0,670	-0,020	3%	---
2 500	0,480	0,487	0,007	---	1%
3 500	0,390	0,463	0,073	---	19%

Se puede notar que al utilizar únicamente gasolina Súper Premium como combustible del vehículo a 800 rpm se registró una disminución del 3% con respecto al otro combustible (Extra), sin embargo, a 2 500 rpm tuvo un incremento del 1% y al alcanzar las 3 500 rpm el valor aumentó un 19%.



### 3.3.4.4. Comparación de resultados de Oxígeno

Luego de registrar los valores de O<sub>2</sub> emanados por el vehículo al hacer uso de diferentes combustibles y a distintos regímenes de revoluciones, resulta pertinente presentar una comparación general con todos ellos con la finalidad de generar un análisis óptimo.



**Figura 3.18** Concentración de Oxígeno

En la **Figura 3.18** se plasman los resultados de las pruebas de emisiones con respecto a la presencia de O<sub>2</sub> a diferentes revoluciones y con el uso de distintos combustibles.

La concentración de O<sub>2</sub> a un régimen de 850 rpm se presenta a de la siguiente manera: el valor más alto se obtiene al hacer uso del aditivo 2 en gasolina Extra, siendo de 1,187 % Vol., a continuación, con una concentración de 0,690 % Vol. corresponde a la gasolina Extra, en tercer lugar, se refleja el uso de gasolina Súper Premium con 0,670 % Vol., finalmente, el valor más bajo fue de 0,560 % Vol., al añadir el aditivo 1 a la gasolina Extra.

Con un régimen de 2 500 rpm la concentración de O<sub>2</sub> al aplicar el aditivo 2 en gasolina Extra arrojó un resultado de 1,003 % Vol., mientras que al utilizar Súper Premium se obtuvo una concentración de 0,487 % Vol., un valor semejante se obtuvo al utilizar únicamente gasolina

Extra, 0,480 % Vol., y finalmente el valor más bajo se registró al hacer uso del aditivo 1 que refleja una concentración de 0,473 % Vol.

Los resultados plasmados en la gráfica muestran que con un régimen de 3 500 rpm el uso del aditivo 2 desprende la mayor cantidad de O<sub>2</sub> con una concentración de 0,987 % Vol., mientras que los valores más bajos se obtienen con el uso de un aditivo 1 mostrando una concentración de 0,417 % Vol., y con gasolina Extra un valor de 0,390 % Vol.

### 3.3.5. VARIACIÓN DEL FACTOR LAMBDA EN FUNCIÓN DEL COMBUSTIBLE UTILIZADO

#### 3.3.5.1. Factor lambda obtenido con gasolina Extra vs Extra más aditivo 1

El factor lambda extraído analizar la emisión de gases de escape del vehículo Chery Tiggo-2 a diferentes revoluciones de motor se presentan en la **Tabla 3.22** donde se puede hacer una comparación del incremento o disminución entre los valores promedio obtenidos al usar gasolina Extra vs Extra con el aditivo 1.

**Tabla 3.22** Resultados de factor lambda obtenido usando extra vs Extra más aditivo 1

RPM	Extra	Extra más aditivo 1	Diferencia	Disminución %	Incremento %
850	1,030	1,025	-0,005	0,49%	---
2 500	1,021	1,021	0,000	---	---
3 500	1,017	1,018	0,001	---	0,10%

Los resultados muestran que a 850 rpm el uso del aditivo 1 disminuye un 0,49 % el valor de factor lambda, mientras que a 2 500 rpm no existe diferencia entre uno u otro, y finalmente a 3 500 rpm la diferencia es de 0,001 es decir un incremento del 0,10%.

### 3.3.5.2. Factor lambda obtenido con gasolina Extra vs Extra más aditivo 2

Con los valores promedio del factor lambda obtenidos luego del análisis de gases al vehículo Chery Tiggo-2 añadiendo el aditivo 2 en gasolina Extra se presentan los resultados en la **Tabla 3.23** con el fin de compararlos y conocer si existe una diferencia de este factor al usar uno u otro tipo de combustible.

**Tabla 3.23** Resultados de factor lambda obtenido usando extra vs Extra más aditivo 2

RPM	Extra	Extra más aditivo 2	Diferencia	Disminución %	Incremento %
850	1,030	1,052	0,022	---	2%
2 500	1,021	1,044	0,023	---	2%
3 500	1,017	1,043	0,026	---	3%

Al usar el aditivo 2 en gasolina Extra a 850 rpm existe una diferencia de 0,022 es decir del 2 % con respecto al factor lambda obtenido solo con gasolina Extra, de igual manera a 2 500 rpm la diferencia se mantiene con un 0,023 traducido a un incremento de 2 %, mientras que a 3 500 rpm la diferencia sufre un leve incremento al alcanzar los 0,026 que se traduce a un 3 %.

### 3.3.5.3. Factor lambda obtenido con gasolina Extra vs Súper Premium

La diferencia existente del factor lambda al utilizar únicamente gasolina Extra o Súper Premium como combustible del vehículo se presentan en la **Tabla 3.24**.

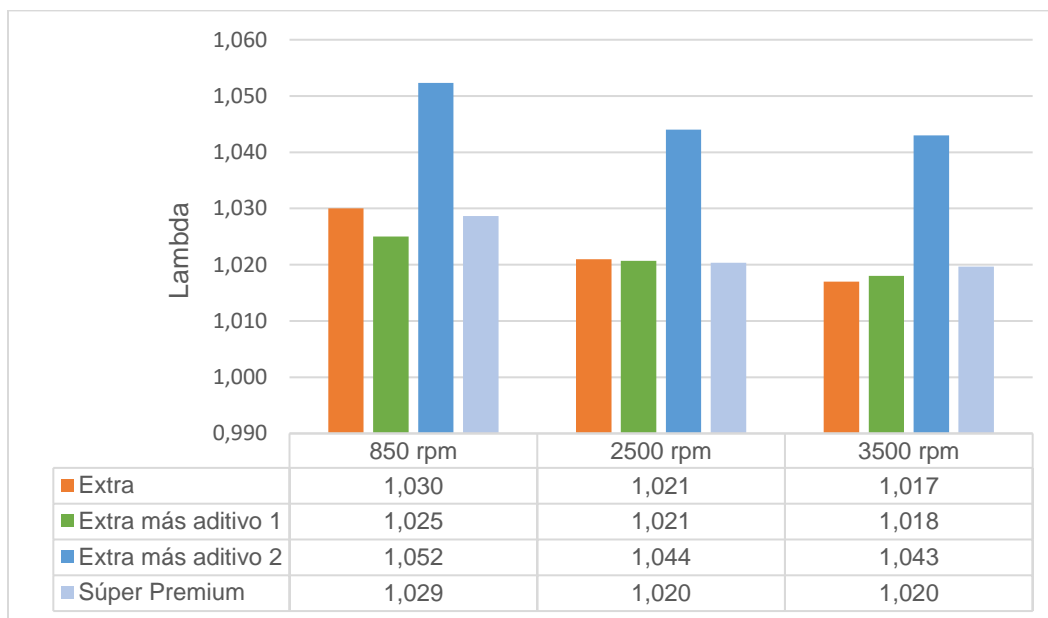
**Tabla 3.24** Diferencia en el factor lambda utilizando gasolina Extra vs Súper Premium

RPM	Extra	Súper Premium	Diferencia	Disminución %	Incremento %
850	1,030	1,029	-0,001	0,13%	---
2 500	1,021	1,020	-0,001	0,07%	---
3 500	1,017	1,020	0,003	---	0,26%

El uso de combustible Súper Premium produjo que el factor lambda disminuya un 0,13 % en comparación al obtenido con gasolina extra al mantener el vehículo a 850 rpm, así mismo, al mantener las 2 500 rpm la disminución fue del 0,07% sin embargo a 3 500 rpm se nota un incremento del 0,026 %.

### 3.3.5.4. Comparación de resultados del factor Lambda

Una vez terminado el análisis individual del factor lambda resultante de cada tipo de combustible se presenta una comparación general a un régimen determinado de 850, 2 500 y 3 500 rpm con la intención de comparar y analizar los niveles máximos y mínimos alcanzados por el vehículo.



**Figura 3.19** Factor Lambda a diferentes rpm

En la **Figura 3.19** se aprecia que con un régimen de 850 rpm el factor lambda más alto se lo obtuvo haciendo uso del aditivo 2 en gasolina Extra siendo un valor  $\lambda$  de 1,052 seguido de 1,030 al utilizar únicamente gasolina Extra, Súper premium por su parte arrojó un promedio de  $\lambda$  de 1,029, finalmente los valores más cercanos a 1 se los obtuvo con gasolina Extra más el aditivo 1, obteniendo valores de  $\lambda$  iguales a 1,025.

Al elevar las revoluciones a las 2 500 rpm se evidencia que al utilizar la Extra más el aditivo 2 con un valor  $\lambda$  de 1,044. Por su parte los valores obtenidos al utilizar los tres tipos de combustibles restantes son equivalentes: 1,021 para Extra y Extra más el aditivo 1 y 1,020 en el caso de utilizar Súper Premium.

Los valores más bajos del factor lambda se registraron a 3 500 rpm de la siguiente manera: al hacer uso del aditivo 2 en gasolina Extra se obtuvo el resultado de 1,043. Seguido del combustible Súper Premium con un valor  $\lambda$  de 1,020. En el caso de utilizar el aditivo 1 en gasolina Extra el valor fue de 1,018 y finalmente con gasolina Extra se registró un valor  $\lambda$  de 1,017.

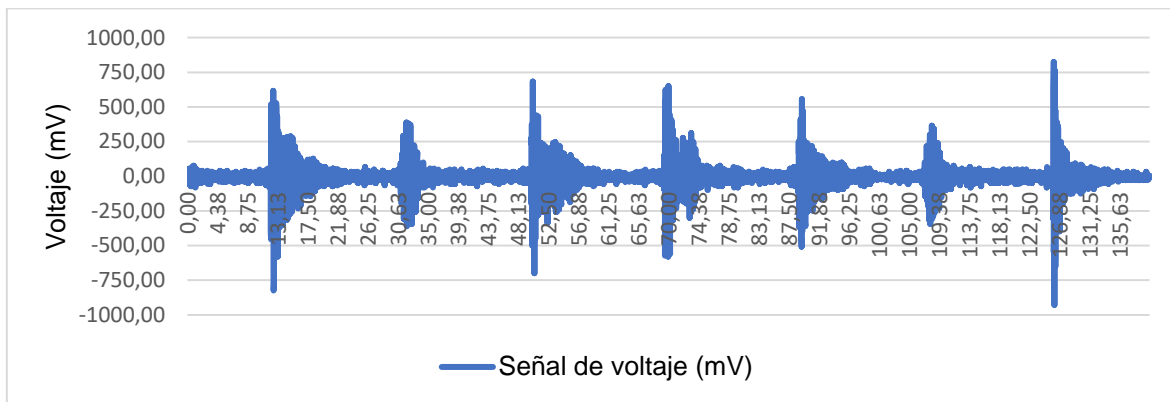
### **3.4. ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL SENSOR KNOCK PRODUCIDO POR LA VARIACIÓN DE OCTANAJE**

El sensor Knock es capaz de determinar las vibraciones en el motor, incluyendo aquellas causadas por detonaciones prematuras que se ocasionan debido a la mala calidad del combustible. Para esta prueba se trazó una ruta en la que el vehículo se desempeñó en condiciones de trabajo cotidianas, arranque, pendientes, aceleración, etc., y en donde se determinó como el tipo de combustible influyó en el cascabeleo producido por las detonaciones a destiempo.

Para determinar el comportamiento del sensor se utilizó el osciloscopio G-SCOPE-2 descrito en la sección 2.2.5.4 el cual fue capaz de proporcionar una serie de gráficas con las señales de voltaje producidas por el sensor que varían en función del tiempo y que permitieron determinar las detonaciones debido a las grandes variaciones de voltaje que se registraron.

### 3.4.1. ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL SENSOR KNOCK CON GASOLINA EXTRA

Al recorrer la ruta trazada con el vehículo utilizando gasolina Extra como combustible y con el osciloscopio conectado al sensor Knock se pudo notar las detonaciones prematuras del motor, fenómeno conocido como cascabeleo que se traduce en señales de voltaje registradas por el instrumento de medición.

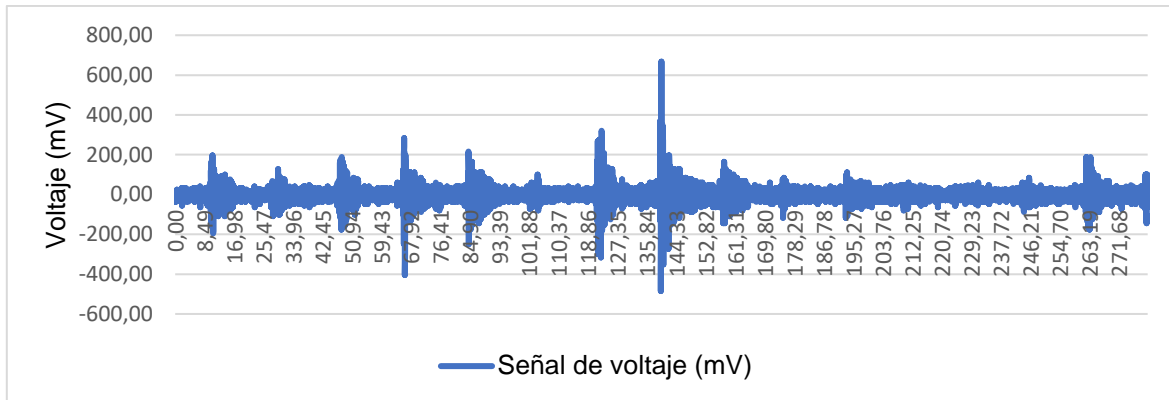


**Figura 3.20** Comportamiento del sensor Knock con Extra

En la **Figura 3.20** se representa mediante la gráfica la señal de voltaje registrada por el sensor Knock en función del tiempo, donde se pueden apreciar varios picos de voltaje que representan las autoigniciones al interior del cilindro ocasionadas al utilizar este tipo de combustible. En ella, se puede analizar que la amplitud de voltaje más representativa alcanza el valor de 1752 mV teniendo como picos 824 y -928 mV con un total de 7 detonaciones.

### 3.4.2. ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL SENSOR KNOCK CON GASOLINA EXTRA MÁS ADITIVO 1

En este caso se aplicó el aditivo 1 a la gasolina Extra para recorrer la ruta descrita anteriormente con el vehículo y verificar si el uso de este mejorador de octanaje es capaz de reducir la cantidad de detonaciones al interior del cilindro.

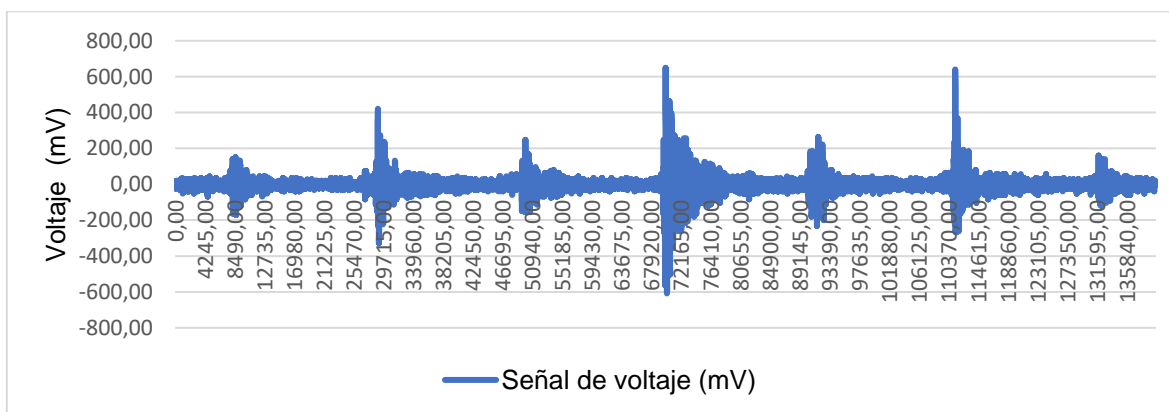


**Figura 3.21** Comportamiento del sensor Knock con Extra más aditivo 1

En la **Figura 3.21** se aprecia la señal de voltaje generada al agregar el aditivo 1 a la gasolina Extra, en este caso se contabilizó seis detonaciones, por lo que se deduce que el aditivo fue capaz de disminuir la cantidad de picos de voltaje, así como sus valores de voltaje, pues se registró picos máximos y mínimos de 668,00 mV y – 484,00 mV respectivamente con una amplitud máxima registrada de 1 152,00 mV.

### 3.4.3. ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL SENSOR KNOCK CON GASOLINA EXTRA MÁS ADITIVO 2

Al agregar la cantidad respectiva del aditivo 2 a la gasolina Extra se recorrió la ruta para determinar si la cantidad de detonaciones o los picos de voltaje sufrieron alguna variación, análisis que se describe a continuación.

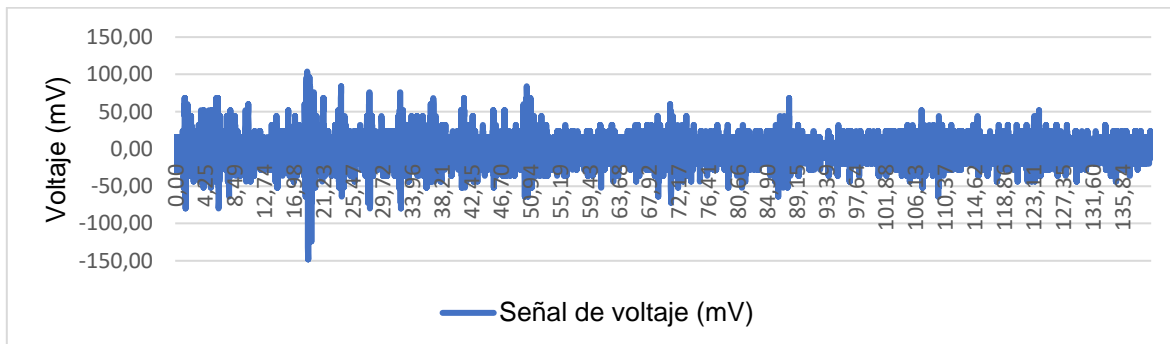


**Figura 3.22** Comportamiento del sensor Knock con Extra más aditivo 2

La señal de voltaje registrada al utilizar el aditivo 2 en gasolina Extra se presenta en la **Figura 3.22** donde se puede apreciar que en el motor del vehículo se produjeron 7 detonaciones con un máximo voltaje de 648,00 mV y un mínimo de  $-608,00$  mV que dan como resultado una amplitud de 1 256,00 mV.

#### 3.4.4. ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL SENSOR KNOCK CON GASOLINA SÚPER PREMIUM

La gasolina Súper Premium es promocionada como combustible de alto octanaje ideal para motores con una alta relación de compresión por lo que en teoría cuenta con una capacidad antidetonante bastante elevada. En este caso se utilizó este tipo de combustible para recorrer la ruta trazada con el vehículo, se registró el comportamiento del sensor Knock y a continuación se presenta la señal de voltaje obtenida por el instrumento de medición.



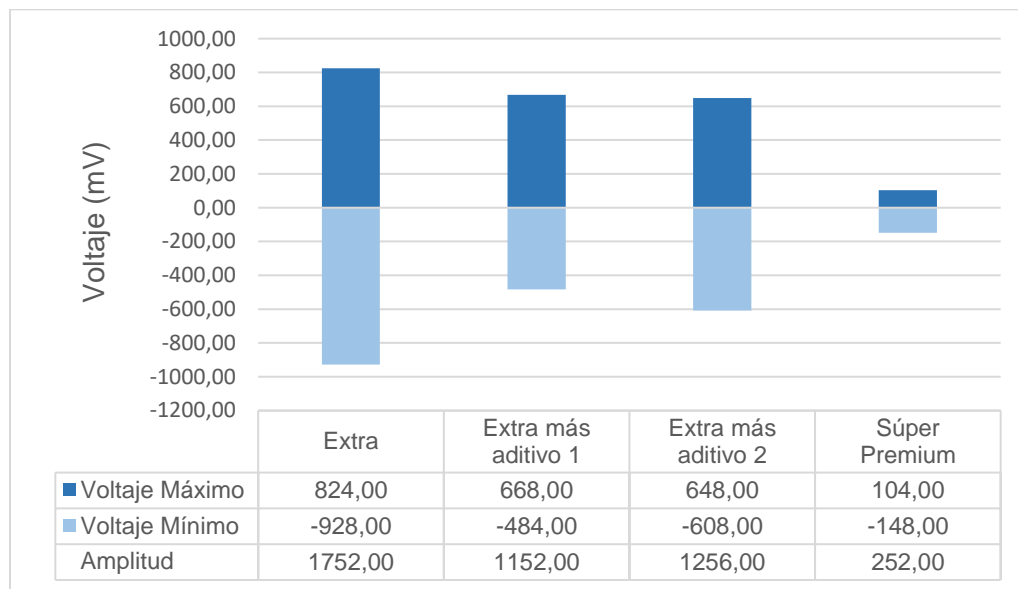
**Figura 3.23** Comportamiento del sensor Knock – Súper Premium

La **Figura 3.23** proporciona la gráfica de la señal de voltaje generada al utilizar gasolina Súper Premium con la cual el motor del vehículo fue capaz de reducir de manera significativa la cantidad de detonaciones, así como los picos de voltaje cuyos valores son bastante inferiores a los registrados al utilizar las demás variantes de combustibles. Sus valores de picos de voltaje alcanzan un pico máximo de 104,00 mV y un mínimo de  $-148,00$  mV con lo cual la amplitud máxima es tan solo de 252,00 mV.



### 3.4.5. COMPARACIÓN DE RESULTADOS DEL COMPORTAMIENTO DEL SENSOR KNOCK

En el presente apartado se muestra un diagrama de barras comparativo de los valores de voltaje máximos obtenidos por el sensor Knock, con la intención de señalar la diferencia existente entre las vibraciones causadas por auto detonaciones al utilizar combustibles con distinto nivel de octanaje en un MCI.



**Figura 3.24** Voltajes máximos obtenidos con cada tipo de combustible

En la **Figura 3.24** se presenta la comparación de los picos de voltaje detectados con cada tipo de combustible siendo el valor más alto el que se obtuvo al usar gasolina Extra con una amplitud de 1752 mV. Siguiéndole el uso del aditivo 2 ya que como se puede observar la amplitud obtenida es de 1256 mV. Para el tercer lugar, con una amplitud de 1152 mV se obtiene al hacer uso del aditivo 1 en Extra, finalmente El valor más bajo y estable es arrojado al usar Súper Premium como combustible siendo un valor de 252 mV.

## CAPÍTULO IV

### 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1. CONCLUSIONES

- El análisis del nivel de octanaje de las cuatro muestras de combustible realizado bajo el método ASTM D2699 arrojó los siguientes índices de octano: Extra 85 y Súper Premium con 94,6 octanos respectivamente que cumplen con lo establecido en la normativa NTE INEN 935, mientras que al hacer uso del aditivo 1 en gasolina Extra existe un incremento en dicho índice alcanzando los 86,3 octanos, sin embargo al hacer uso del aditivo 2 el octanaje disminuye hasta los 83,3.
- Luego de realizar las pruebas en el dinamómetro se puede concluir que el uso del aditivo 1 repercute en una disminución de potencia del 0,39% respecto al valor obtenido con el uso de gasolina Extra que fue de 81,3 HP, mientras que al añadir el aditivo 2 el incremento en la potencia es de apenas un 0,05% y un 8,25% al emplear gasolina Súper Premium todo esto al realizar la comparación a más de 5 000 rpm. Por otra parte, los valores de par-motor que se registraron tienen una menor variación por tipo de combustible ya que al hacer uso del aditivo 1 a un régimen de 2700 rpm se mantiene constante los 125,7 Nm obtenidos al utilizar gasolina Extra, mientras que al añadir el aditivo 2 se consiguió un incremento de 1,04% y al usar únicamente gasolina Súper Premium el incremento es del 4,81% al alcanzar el valor de 131,74 Nm.
- En base a los resultados obtenidos luego de realizar las pruebas de emisiones de gases a un régimen de 850 rpm se concluyó que en estas condiciones el utilizar el aditivo 2 en gasolina Extra la emisión de CO se incrementó un 0,04% respecto al 0,020 % Vol emanado con gasolina Extra, por otra parte, respecto al CO<sub>2</sub> emanado con gasolina Extra se registró un 15,100 % Vol., en el caso de este gas al agregar el aditivo 2 el valor obtenido se redujo hasta un 14,967 % Vol., caso contrario al nivel de HC que

al añadir el aditivo 2 se incrementa de 10 ppm con Extra hasta las 14,67 ppm, donde resultó más conveniente el uso del aditivo 1 pues este ayudó a reducir estos niveles con un resultado de tan solo 6 ppm Vol. Por su parte, la presencia de O<sub>2</sub> se vio influenciada al agregar el aditivo 2 pues arrojó un valor de 1,187 % Vol., Que es un 72% mayor a lo registrado con gasolina Extra. Y, al hablar de lambda se pudo concluir que al agregar aditivo 2 este factor se eleva hasta  $\lambda=1,052$ , a comparación de la gasolina Extra que por si sola es capaz de arrojar un valor de  $\lambda=1,030$ .

- Debido a la elevada relación de compresión del motor del vehículo Chery Tiggo 2 utilizado para las pruebas se determinó que al usar gasolina Súper Premium no existió presencia de detonaciones al interior del cilindro pues la señal de voltaje registrada con el osciloscopio indica que el voltaje máximo obtenido fue de 104 mV sobre el eje x y el mínimo fue de -148 mV dando como resultado una amplitud máxima de 252 mV lo cual no se considera como cascabeleo sino como una vibración normal presente en el motor. Por su parte, el uso de gasolina Extra en este motor si registró cascabeleo, pues los picos que se presentaron en el osciloscopio llegaron hasta los 824 mV sobre el eje x y el más bajo fue de - 928 mV dando como resultado una amplitud máxima de 1 752 mV, es decir el voltaje generado debido a la vibración causada por las detonaciones al interior del cilindro antes de que salte la chispa de la bujía.

## 4.2. RECOMENDACIONES

- El presente proyecto se enfocó en el análisis de gasolinas comercializadas en el norte del país, sin embargo, el mercado ecuatoriano posee dos variantes de combustibles las cuales cuentan con un porcentaje de etanol para reducir las emisiones, para ello se recomienda analizar el efecto de los alcoholes en el nivel de octanaje de estos combustibles, así como su repercusión en el rendimiento, emisiones y su influencia en las autoigniciones de los motores actuales.

- Se analizó los factores más representativos de un combustible y su repercusión en el desempeño del MCI los cuales son: nivel de octanaje, potencia y par máximo alcanzado por el vehículo, emisiones y detonaciones o también llamado cascabeleo, sin embargo, un factor adicional a tomar en cuenta en futuras investigaciones es el análisis del consumo de combustible para verificar si existe una variación de este factor dependiendo del tipo de combustible utilizado.
- Debido a la amplia gama de modelos de vehículos que abundan el mercado local sería conveniente llevar a cabo una investigación de la repercusión de los combustibles y su nivel de octanaje en distintos tipos de motores, por ejemplo, turboalimentados, de admisión variable o que cuenten con un sistema de inyección directa.
- La tecnología de los equipos de diagnóstico para vehículos ha mejorado considerablemente en los últimos años, por lo que es recomendable adquirir un instrumento específicamente diseñado para la detección de autoigniciones en los cilindros para proporcionar un análisis más exhaustivo y detallado de este fenómeno que afecta la vida útil de los motores.
- En vista de que la normativa Técnica Ecuatoriana 935 establece una serie de requisitos para que una gasolina posea un nivel de octanaje determinado se recomienda, para posteriores investigaciones de este tipo, analizar a profundidad cada uno de los compuestos del combustible puesto que la variación de uno de ellos por parte de un aditivo puede repercutir en los resultados tanto de laboratorio como del desempeño que puede llegar a obtener un MCI.

## REFERENCIAS

1. Alonso Pérez, J. (2009). *Técnica del Automóvil. Motores* (Onceava ed.). España: Paraninfo, S.A.
2. Arias, M. (2006). *Manual de automóviles* (Quincuagésima sexta ed.). Madrid: CIE Dossat 2000.
3. ASTM D2699. (01 de 12 de 2021). *Standard Test Method for Research Octane Number of Spark-Ignition Engine Fuel*. Estados Unidos: Agencia del departameto de defenza. Obtenido de EUROPEAN STANDARDS: <http://file.yizimg.com/175706/2012040411332642.pdf>
4. Becerra, M. (2016). *Estudio y análisis de la influencia de aditivos elevadores de octanaje en el funcionamiento de un motor de combustión interna en la ciudad de Quito*. Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito. Obtenido de <http://repositorio.ute.edu.ec/handle/123456789/14126>
5. Castillo Hernández, P. (2008). *Estudio de la propiedades fisicoquímicas de gasolina y diesel mexicanos con etanol al 10% y 15% en volumen*. Tecnológico de Monterrey, Monterrey. Obtenido de [https://repositorio.tec.mx/bitstream/handle/11285/568935/DocsTec\\_6790.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.tec.mx/bitstream/handle/11285/568935/DocsTec_6790.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
6. Castillo, P. (2008). *Estudio de la propiedades fisicoquímicas de gasolina y diesel mexicanos con etanol al 10% y 15% en volumen*. Tecnológico de Monterrey, Monterrey. Obtenido de [https://repositorio.tec.mx/bitstream/handle/11285/568935/DocsTec\\_6790.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.tec.mx/bitstream/handle/11285/568935/DocsTec_6790.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
7. Cherry Automobile Co. Ltd. (2021). *Tiggo 2 - Manual de usuario* (A13TOM21ES01 ed.). China. Obtenido de [www.cherryinternacional.com](http://www.cherryinternacional.com)
8. Clopatofsky, J. (25 de Marzo de 2009). *El Tiempo*. Obtenido de <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-4899904#:~:text=Es%20el%20resultado%20de%20una,que%20produce%20su%20ignici%C3%B3n%20violenta>
9. Cruz, J. (2015). *Aproximación a la gestión electrónica del motor control de emisiones y consumo mediante una ANN*. Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona, Barcelona. Obtenido de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/81836/TFM-Aproximaci%C3%B3n%20a%20la%20gesti%C3%B3n%20electr%C3%B3nica%20del%20Motor.pdf>
10. Druet, F., & Vera, P. (2017). *Evaluación técnica y optimización del uso de aditivos comerciales para elevar el octanaje de las gasolinas en Ecuador*. Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil. Obtenido de <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/42507>
11. El Universo. (12 de Junio de 2022). Gasolina súper ecuatoriana aún se mantiene con precios bajos comparada con los de la región y Estados Unidos. *El Universo*, pág. 14. Obtenido de

<https://www.eluniverso.com/noticias/economia/gasolina-super-ecuatoriana-aun-se-mantiene-con-precios-bajos-comparada-con-los-de-la-region-y-ee-uu-nota/>

12. Enkalada, F., & Ñauta, P. (2010). *Incidencia del tipo de gasolinas, aditivos y equipos optimizadores de combustibles comercializados en la ciudad de Cuenca, sobre las emisiones contaminantes emitidas al aire*. Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/6115/1/UPS-CT001690.pdf>
13. Escobar, D., & Vaca, A. (2010). *Acondicionamiento de un motor de combustión interna a gasolina con sistema de inyección electrónica como maqueta didáctica para la implementación de los laboratorios de la especialidad en ingeniería electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi*. Universidad Técnica de Cotopaxi. Latacunga: UTC. Obtenido de <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/1155>
14. García, R. (2001). *Combustión y combustibles*. doi:10.3989/mc.1961.v11.i102.1890
15. Globaltech. (2016). *Osciloscopio automotriz de 2 canales 100 MHz Touch Screen 8"*. Quito. Obtenido de <https://globaltech-car.com/wp-content/uploads/2019/06/gscope2.pdf>
16. Globaltech, E. (2017). *Catálogo Análisis de Gases y Equipos para Revisión Técnica Vehicular*. Quito.
17. Google maps. (18 de Diciembre de 2022). *Google maps*. Obtenido de <https://www.google.com/maps/>
18. INEN NTE 935. (2021). *Productos derivados del petróleo. Gasolina. Requisitos*. Quito.
19. Ingeniería y Mecánica Automotriz. (30 de Enero de 2020). *Ingeniería y Mecánica Automotriz*. Obtenido de <https://www.ingenieriaymecanicaautomotriz.com/que-es-el-sensor-de-detonacion-o-knock-sensor-y-como-funciona/>
20. ISO 1585. (2020). *International Standard - Road Vehicles - Engine test code - Net power*. Suiza: ISO. Obtenido de <https://www.sis.se/api/document/preview/80023305/>
21. ISO/IEC 17025. (25 de 04 de 2018). *Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración*. Quito. Obtenido de [normalizacion.gob.ec: https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte\\_inen\\_iso\\_iec\\_17025.pdf](https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_iso_iec_17025.pdf)
22. Llamas, J. (02 de Abril de 2017). *Mecánicos*. Obtenido de [Mecánicos: http://www.blogmecanicos.com/2017/04/historia-del-motor-de-combustion-interna\\_4.html](http://www.blogmecanicos.com/2017/04/historia-del-motor-de-combustion-interna_4.html)
23. Males, V. (15 de Mayo de 2019). *Resolución No. 025-ANT-DIR-2019*. Quito. Obtenido de <https://www.ant.gob.ec/resoluciones/resoluciones-de-directorio-2019/>
24. Mares, S., & Pérez, D. (2013). *Predicción de propiedades de mezclas gasolina-etanol mediante espectroscopia de infrarrojo*. Instituto Politécnico Nacional, México. Obtenido de <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/17114/25-1-16622.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

25. Mecánica Automotriz. (11 de Febrero de 2016). *Mecánica Automotriz*. Obtenido de <http://motores2308.blogspot.com/2016/02/funcionamiento-de-un-motor-tipico-de.html>
26. NTE INEN 2204. (2017). *Gestión Ambiental. Aire. Vehículos Automotores. Límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres que emplean gasolina*. Quito. Obtenido de [https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte\\_inen\\_2204-2.pdf](https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_2204-2.pdf)
27. NTE INEN 2341. (2003). *Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2341:2003 Derivados del Petróleo. Productos relacionados con el petróleo y afines. Definiciones*. Quito: Primera Edición.
28. Pérez, D. (1 de Marzo de 2018). Estudio de emisiones contaminantes usando combustibles locales. *INNOVA Research Journal, II*, 23-34. doi:10.33890/innova.v3.n3.2018.635
29. Salinas, A. (2007). *Motores. Mantenimiento de vehículos autopropulsados*. Madrid: Paraninfo, S.A.
30. Sandoval, P. (17 de Julio de 2022). ARC Garantiza octanaje de gasolinas extra y súper y demuestra como es el proceso de medición. *El Universo*, pág. 12. Obtenido de <https://www.eluniverso.com/noticias/economia/como-se-mide-el-octanaje-de-las-gasolinas-extra-y-super-en-el-laboratorio-de-la-agencia-de-regulacion-y-control-de-energia-nota/>
31. Vamag, T. (2017). *Operation and maintenance manual*. Italia: Vamag S.r.l. Obtenido de [www.vamag.com](http://www.vamag.com)
32. Wang, Z., Liu, H., Song, T., Qi, Y., He, X., Shuai, S., & Wang, J. (2015). Relationship between super-knock and pre-ignition. *International Journal of Engine Research, XVI*, 166-180. doi:10.1177/1468087414530388

# ANEXOS

## Anexo I

### Encuesta para selección de aditivos

#### Uso de aditivos en combustibles

Este es un cuestionario para determinar los aditivos mas comercializados en la ciudad de Ibarra, las proporciones de combinación de los tipos de combustibles.

1. ¿Se comercializa aditivos para combustible en esta gasolinera?

*Selecciona todas las opciones que correspondan.*

- Si  
 No

2. En la siguiente lista seleccione, ¿Cuál es la marca de aditivo que se oferta?

*Selecciona todas las opciones que correspondan.*

- Target  
 Simoniz  
 Bardahl  
 Qualco R1  
 Ravenol  
 Qualco elevador de octanaje

3. ¿Cuál es el valor estimado de ventas mensuales de la/las marcas seleccionadas?

\_\_\_\_\_

#### Anexo I.1. Formato encuesta para selección de aditivos



## Uso de aditivos en combustibles

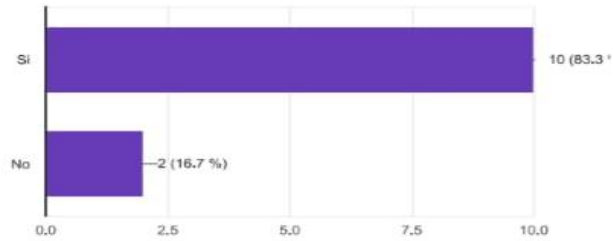
12 respuestas

[Publicar análisis](#)

¿Se comercializa aditivos para combustible en esta gasolinera?

[Copiar](#)

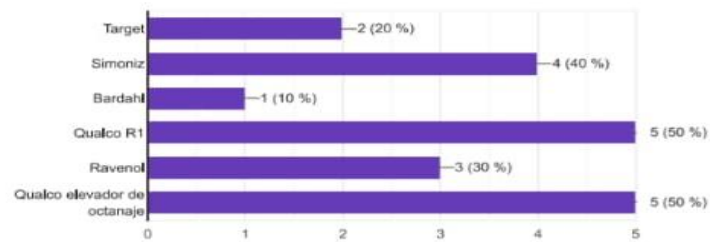
12 respuestas



En la siguiente lista seleccione, ¿Cuál es la marca de aditivo que se oferta?

[Copiar](#)

10 respuestas



10:11

Uso de aditivos en combustibles

¿Cuál es el valor estimado de ventas mensuales de la/las marcas seleccionadas?

10 respuestas

20

R1 18 ; Elevador de octanaje 20

48

24 Target

R1 8 ; Ravenol 15; Elevador de octanaje 10

Simoniz 24; R1 10; Elevador de octanaje 8

Target 12; Ravenol 12

R1 10; Ravenol 8; Elevador de octanaje 12

Simoniz 12; R1 10; Elevador de octanaje 8

Simoniz 12

## Anexo I.2. Resultados de la encuesta para selección de aditivos

## Anexo II

### CARACTERIZACIÓN DE LAS MUESTRAS DE COMBUSTIBLE



Anexo II.1. Muestras de combustibles



## INFORME 108-I-LACBAL-2022-1041

### IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE:

<b>Nombre</b>	MARLON HERNANDEZ	<b>Teléfono:</b>	0990471123
<b>Dirección:</b>	IBARRA, ULPIANO NAVARRO Y OBVISPO JESUS YERIVI	<b>Número de muestras:</b>	5
<b>Correo electrónico:</b>	mehernandezm@utn.edu.ec		

### INFORMACIÓN GENERAL

<b>Realizado por:</b>	Mgs. Dina Albuja	<b>N° de proforma:</b>	DQ-P1041-2022	<b>Recepción de muestras:</b>	2022-12-14
<b>Tipo de cliente:</b>	Externo	<b>N° de factura:</b>	001-003-0074743	<b>Inicio de ensayos:</b>	2022-12-14
<b>Transporte:</b>	NA			<b>Entrega de informe:</b>	2022-12-23

### IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA:

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE	IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE	CÓDIGO LABORATORIO	TIPO DE MUESTRA	TIPO ENVASE	CANTIDAD
EXTRA + SIMONIZ	---	1041-01	Gasolina	Plástico	1000 ml
SUPER PREMIUM	---	1041-02	Gasolina	Plástico	1000 ml
EXTRA + SUPER PREMIUM	---	1041-03	Gasolina	Plástico	1000 ml
EXTRA + QUALCO	---	1041-04	Gasolina	Plástico	1000 ml
EXTRA	---	1041-05	Gasolina	Plástico	1000 ml

### CONDICIONES AMBIENTALES:

<b>TEMPERATURA [°C]</b>	<b>HUMEDAD RELATIVA [%]</b>	<b>PRESIÓN [kPa]</b>
18	57	72,1

### NOTAS ACLARATORIAS

1.	Todos los parámetros se encuentran dentro del Sistema de Gestión ISO 17025, pero no todos están acreditados.
2.	Los métodos que constan de un *, son aquellos métodos acreditados. <u>Acreditación N° SAE IEN 21-002</u>
3.	Los resultados reportados corresponden únicamente a los ítems ensayados.
4.	Queda prohibido la reproducción de forma parcial o total del presente informe sin autorización del LACBAL.
5.	Cuando aplique, se realizan los ensayos aun sin cumplir con los criterios de aceptación y rechazo de las muestras de objeto de ensayo previa aceptación del cliente, la comparación respectiva con la normativa vigente NTE INEN.
6.	El muestreo es responsabilidad del cliente, la Escuela Politécnica Nacional no responde por posibles variaciones ocasionadas por la toma de muestra, los resultados son únicamente de la muestra entregada por el cliente.
7.	El laboratorio no cuenta con otras instalaciones, por lo que todas las actividades son realizadas en las instalaciones de LACBAL.
8.	En caso de que el laboratorio sea el responsable del transporte de la muestra (convenio suscrito) LACBAL lo realizará de acuerdo a los protocolos establecidos para transporte en la norma ASTM D4057-19.
9.	El LACBAL no se responsabiliza por los datos obtenidos en muestras que no se encuentran dentro de las especificaciones técnicas presentadas en la proforma, los análisis ejecutados serán responsabilidad del cliente, toda vez que ésta presenta desvío en las condiciones de ingreso de la muestra siempre existirá la constancia para el respaldo de la ejecución del ensayo.



TABLA DE RESULTADOS:

Muestra	Ensayo	Norma método	Unidades	Valor obtenido
1041-01	Número de Octano de Investigación	ASTM D2699	---	83,3
1041-02	Número de Octano de Investigación	ASTM D2699	---	94,6
1041-03	Número de Octano de Investigación	ASTM D2699	---	83,7
1041-04	Número de Octano de Investigación	ASTM D2699	---	86,3
1041-05	Número de Octano de Investigación	ASTM D2699	---	85,0

## Autenticación del Informe



## Autorizado y firmado por:

Digitally signed by  
 DINA MELISSA ALBUJA TAPIA  
 Date: 2022.12.23  
 09:26:43 -05'00'

Mgs. Dina Melissa Albuja Tapia

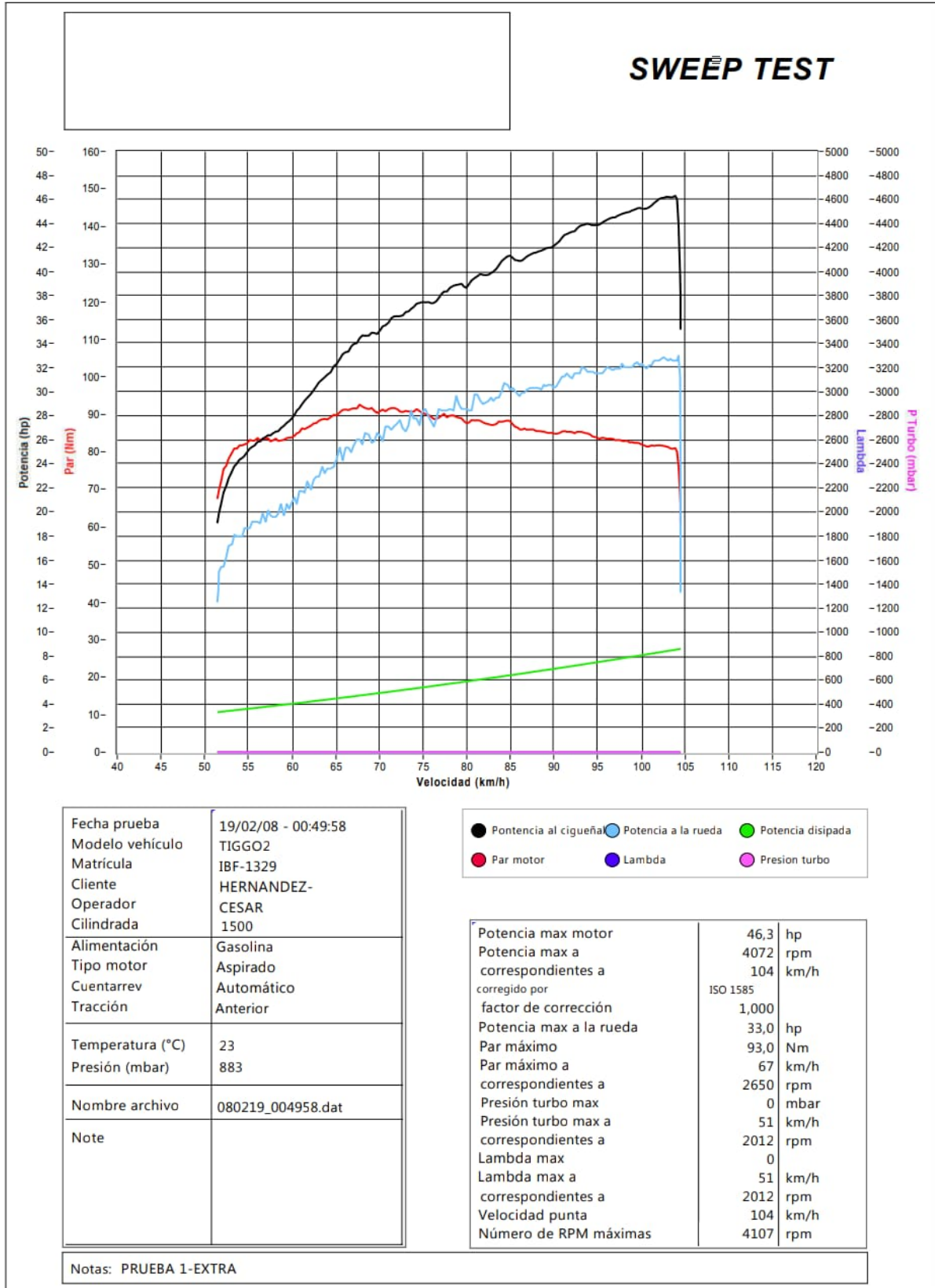
## ANEXO III

### ANÁLISIS DE POTENCIA Y PAR MOTOR

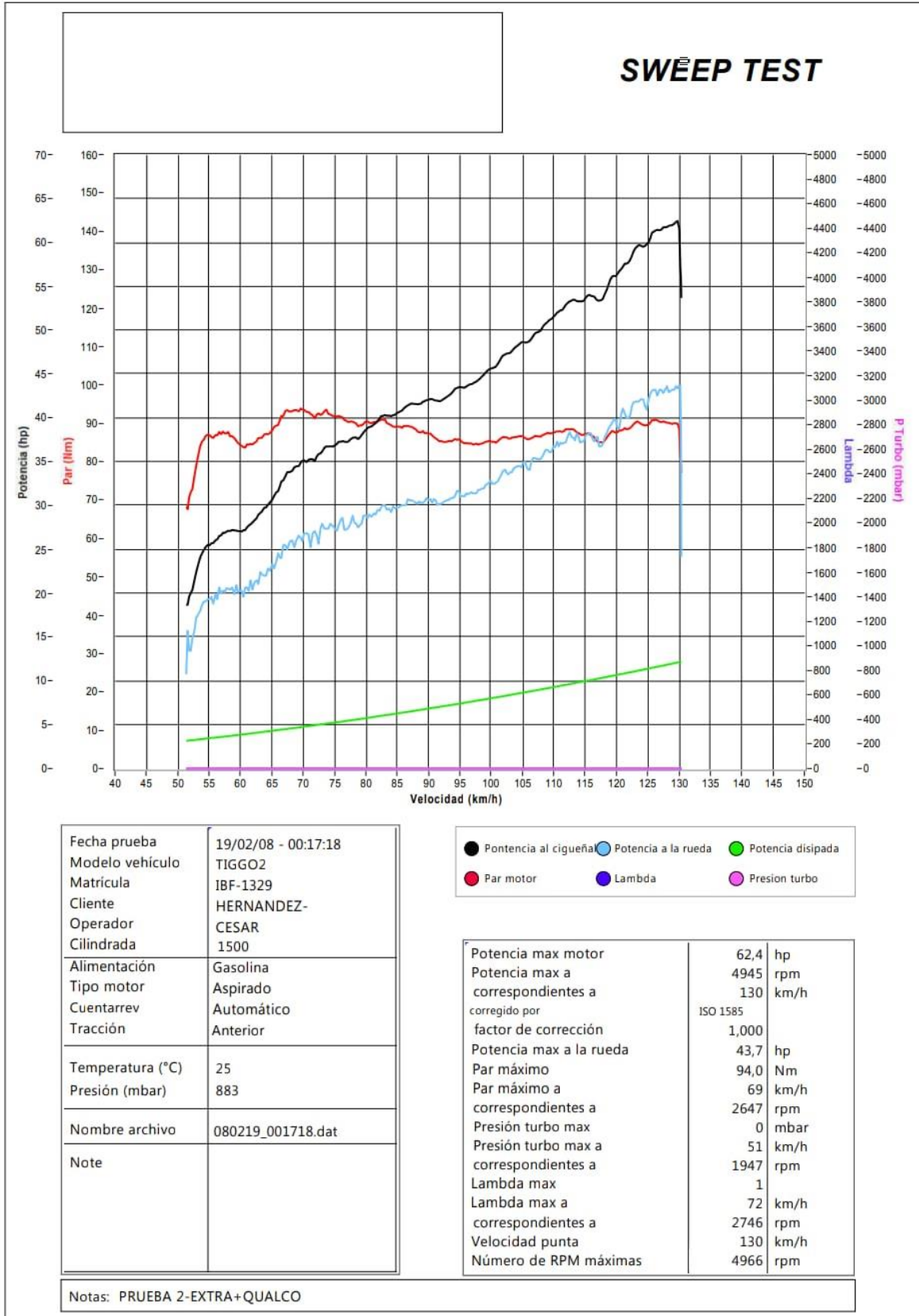


**Anexo III.1. Pruebas en el dinamómetro**

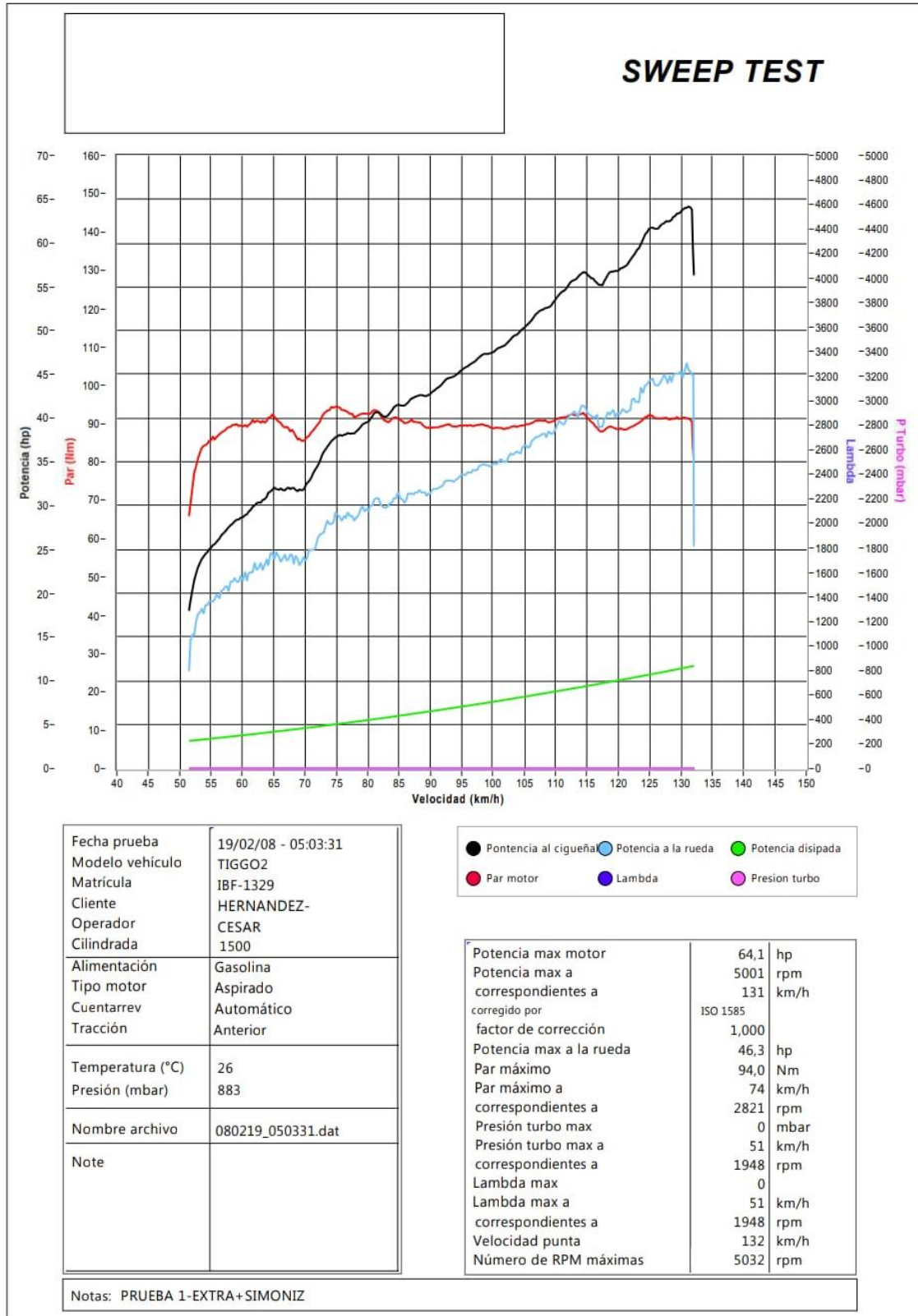




### Anexo III.2. Resultados de par y potencia usando gasolina Extra

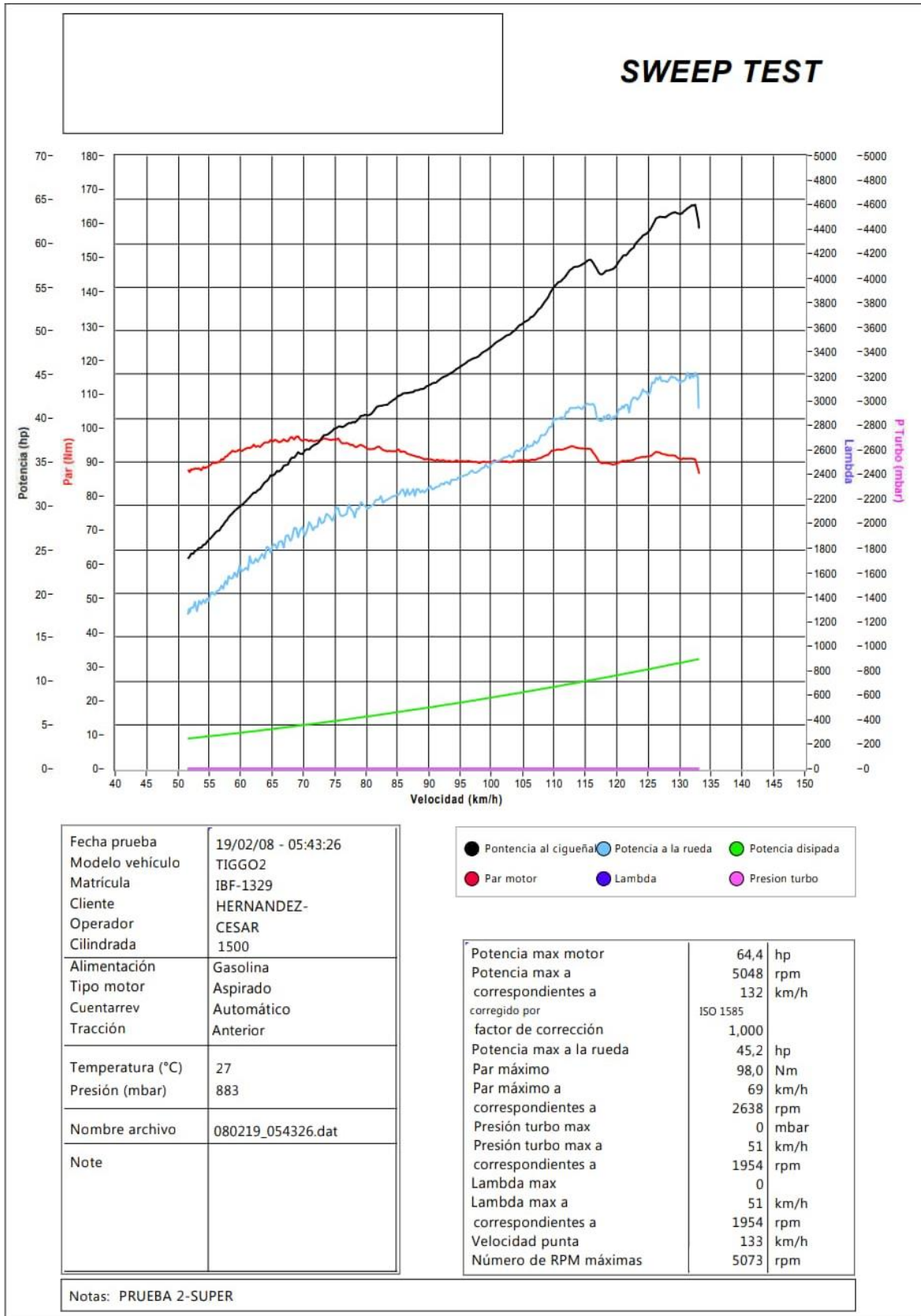


### Anexo III.3. Resultados de par y potencia usando el aditivo 1 en Extra



### Anexo III.4. Resultados de par y potencia usando el aditivo 2 en Extra





### Anexo III.5. Resultados de par y potencia usando gasolina Súper-Premium

## ANEXO IV

### ANÁLISIS DE EMISIONES



**Anexo IV.1. Preparación del equipo analizador de gases**



**Anexo IV.2. Conexión de la sonda para medición de gases**

## ANEXO V

### EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL SENSOR KNOCK



**Anexo V.1. Preparación de extensión de conexión para sensor Knock**



**Anexo V.2. Conexión del sensor Knock al osciloscopio**



**Anexo V.3. Evaluación del sensor Knock en ruta**