



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA**

**CARRERA INGENIERIA AUTOMOTRIZ**

**ANÁLISIS DEL IMPACTO DE LAS CARACTERÍSTICAS  
TRIBOLÓGICAS DEL ACEITE SOBRE EL CONSUMO DE  
COMBUSTIBLE EN UN MOTOR DE CICLO OTTO EVALUADO  
SOBRE BANCO DINAMOMÉTRICO DE MOTORES MARCA  
BORGHI Y SAVERI MODELO FA 200 SP DE LA FACULTAD DE  
MECÁNICA-ESPOCH.**

**Trabajo de Integración Curricular**

**Tipo:** Proyecto de investigación

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**AUTORES:**

**MAURICIO XAVIER SIMBA RODRÍGUEZ**

**JONATHAN JOSUÉ SILVA GAMBOA**

Riobamba – Ecuador

2024



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA**

**CARRERA INGENIERIA AUTOMOTRIZ**

**ANÁLISIS DEL IMPACTO DE LAS CARACTERÍSTICAS  
TRIBOLÓGICAS DEL ACEITE SOBRE EL CONSUMO DE  
COMBUSTIBLE EN UN MOTOR DE CICLO OTTO EVALUADO  
SOBRE BANCO DINAMOMÉTRICO DE MOTORES MARCA  
BORGHI Y SAVERI MODELO FA 200 SP DE LA FACULTAD DE  
MECÁNICA-ESPOCH.**

**Trabajo de Integración Curricular**

**Tipo:** Proyecto de investigación

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**AUTORES:** MAURICIO XAVIER SIMBA RODRÍGUEZ

JONATHAN JOSUÉ SILVA GAMBOA

**DIRECTOR:** ING. PAÚL ALEJANDRO MONTÚFAR PAZ

Riobamba – Ecuador

2024

**©2024, Mauricio Xavier Simba Rodríguez & Jonathan Josué Silva Gamboa**

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

Nosotros, Jonathan Josué Silva Gamboa y Mauricio Xavier Simba Rodríguez, declaramos que el presente Trabajo de Integración Curricular es de nuestra autoría y los resultados de este son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

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

Riobamba, 27 de junio 2024

  
**Jonathan Josué Silva Gamboa**  
**1805147285**

  
**Mauricio Xavier Simba Rodríguez**  
**1724088586**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA AITOMOTRIZ**

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto de Investigación, **ANÁLISIS DEL IMPACTO DE LAS CARACTERÍSTICAS TRIBOLÓGICAS DEL ACEITE SOBRE EL CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN UN MOTOR DE CICLO OTTO EVALUADO SOBRE BANCO DINAMOMÉTRICO DE MOTORES MARCA BORGHI Y SAVERI MODELO FA 200 SP DE LA FACULTAD DE MECÁNICA-ESPOCH**, realizado por los señores: **JONATHAN JOSUE SILVA GAMBOA Y MAURICIO XAVIER SIMBA RODRIGUEZ**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Ing. Javier Milton Solís Santamaria <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>		2024-06-27
Ing. Paúl Alejandro Montufar Paz <b>DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>		2024-06-27
Ing. Fernando Mauricio Tello Oquendo <b>ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>		2024-06-27

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo y mi carrera se la dedico a mis queridos padres, por todo su esfuerzo que me ha permitido alcanzar esta meta y cumplir mis objetivos; a mis hermanos, que siempre han estado ahí conmigo siendo mi inspiración; este gran logro se lo dedico a ustedes porque no es solo mío, es suyo también.

Mauricio

Dedico este trabajo y mi logro a mis padres quienes estuvieron junto a mí apoyándome a cada momento, no importando las circunstancias, a mi hermano quien me observó mi esfuerzo cada día mientras me apoyaba así logrando cumplir este gran objetivo, aquella persona que cambió mi vida, aunque ya no se encuentra en ella, gracias por darme el valor para lograrlo, este logro no es solo mío sino de todos ustedes.

Jonathan

## AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, por haber escuchado mis oraciones y haberme permitido llegar hasta aquí; a mis padres, por su infinito apoyo, amor y la enorme fe que tuvieron en mí y en lo que soy capaz de lograr; a mis hermanos, por su paciencia y el enorme afecto que han tenido conmigo; a mis amigos, que han formado parte de mi vida académica; a mis maestros, que han sido mentores no solo de aula sino también de vida; a todos aquellos que fueron y son parte de este maravilloso proceso.

Mauricio

En primer lugar, quiero agradecer a Dios por darme la oportunidad de culminar esta etapa de mi vida. A mis padres y hermano, por su amor incondicional, su apoyo constante y sus enseñanzas. Gracias por creer en mí, incluso cuando yo no creía en mí mismo, por su sacrificio para que yo pudiera estudiar y por proporcionarme las herramientas necesarias para alcanzar mis metas, por su amor, su sabiduría y sus consejos, además de aquella persona que me enseñó que aun en los peores momentos puedo lograr dar todo de mí y llegar lejos a pesar de que ya no esté. Gracias por siempre estar ahí para mí, en las buenas y en las malas. Gracias por transmitirme sus valores y por enseñarme a ser una persona honesta, responsable y trabajadora.

Jonathan

## ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS .....	xi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xiv
RESUMEN.....	xv
SUMMARY .....	xvi
INTRODUCCIÓN .....	1

### CAPITULO I

<b>1.</b>	<b>PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>2</b>
<b>1.1.</b>	<b>Planteamiento del problema .....</b>	<b>2</b>
<b>1.2.</b>	<b>Limitaciones y delimitaciones .....</b>	<b>2</b>
<b>1.3.</b>	<b>Problema General de Investigación .....</b>	<b>2</b>
<b>1.4.</b>	<b>Problemas específicos de investigación .....</b>	<b>2</b>
<b>1.5.</b>	<b>Objetivos.....</b>	<b>4</b>
<i>1.5.1.</i>	<i>Objetivo general .....</i>	<i>4</i>
<i>1.5.2.</i>	<i>Objetivos específicos .....</i>	<i>5</i>
<b>1.6.</b>	<b>Justificación.....</b>	<b>3</b>
<i>1.6.1.</i>	<i>Justificación Teórica.....</i>	<i>3</i>
<i>1.6.2.</i>	<i>Justificación Metodológica.....</i>	<i>3</i>
<i>1.6.3.</i>	<i>Justificación Práctica .....</i>	<i>4</i>
<b>1.7.</b>	<b>Hipótesis .....</b>	<b>4</b>

### CAPITULO II

<b>2.</b>	<b>MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>6</b>
<b>2.1.</b>	<b>Antecedentes.....</b>	<b>6</b>
<b>2.2.</b>	<b>Referencias Teóricas .....</b>	<b>7</b>
<i>2.2.1.</i>	<i>Aceites .....</i>	<i>7</i>
<i>2.2.1.1.</i>	<i>Aceites minerales .....</i>	<i>7</i>
<i>2.2.1.2.</i>	<i>Aceites semisintéticos .....</i>	<i>8</i>
<i>2.2.1.3.</i>	<i>Aceites sintéticos.....</i>	<i>8</i>
<i>2.2.1.4.</i>	<i>Aditivos .....</i>	<i>8</i>



<b>2.2.2.</b>	<b>Características de los aceites lubricantes</b> .....	9
2.2.2.1.	Densidad.....	9
2.2.2.2.	Viscosidad.....	9
2.2.2.3.	Índice de viscosidad.....	9
2.2.2.4.	Punto de inflamación.....	10
<b>2.2.3.</b>	<b>Clasificación de aceites para motor</b> .....	10
2.2.3.1.	Clasificación por su viscosidad.....	10
2.2.3.2.	Clasificación por servicio.....	11
<b>2.2.4.</b>	<b>Tribología</b> .....	12
2.2.4.1.	Ferroggrafía.....	13
2.2.4.2.	Fricción.....	13
2.2.4.3.	Desgaste.....	14
<b>2.2.5.</b>	<b>Lubricación</b> .....	16
2.2.5.1.	Lubricación hidrodinámica.....	17
2.2.5.2.	Lubricación limite.....	17
2.2.5.3.	Lubricación mixta.....	18
<b>2.2.6.</b>	<b>Motores de combustión interna (MCI)</b> .....	18
2.2.6.1.	Arquitectura del MCI.....	19
2.2.6.2.	Fases del MCI de ciclo Otto.....	21
2.2.6.3.	Parámetros principales del MCI.....	22
2.2.6.4.	Curvas características.....	25
2.2.6.5.	Mapa de consumo de combustible (Diagrama de contornos).....	27
2.2.6.6.	Combustibles.....	28
2.2.6.7.	Determinación consumo específico.....	31
<b>2.2.7.</b>	<b>Descripción de elementos</b> .....	32
2.2.7.1.	Motor.....	32
2.2.7.2.	Banco dinamométrico.....	32
2.2.7.3.	Equipo de medición de consumo de combustible.....	33
2.2.7.4.	Ferroggrafía de laboratorio T2FM 500.....	35

### CAPITULO III

<b>3.</b>	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	41
<b>3.1.</b>	<b>Enfoque de investigación</b> .....	41
<b>3.2.</b>	<b>Nivel de investigación</b> .....	41
<b>3.3.</b>	<b>Tipo de estudio</b> .....	41
<b>3.4.</b>	<b>Diseño de investigación</b> .....	42

3.5.	<b>Identificación de variables</b> .....	42
3.5.1.	<i>Variable dependiente</i> .....	42
3.5.2.	<i>Variables independientes</i> .....	42
3.6.	<b>Planificación</b> .....	43
3.7.	<b>Métodos, técnicas e instrumentos de investigación</b> .....	43
3.7.1.	<i>Búsqueda de referencias bibliográficas</i> .....	43
3.7.2.	<i>Elección de lubricantes, viscosidad y combustible</i> .....	43
3.7.3.	<i>Reconocimiento de equipos de medición</i> .....	45
3.7.4.	<i>Determinación de limitantes</i> .....	45
3.7.5.	<i>Puesta a punto del motor</i> .....	45
3.7.6.	<i>Establecer matriz de pruebas</i> .....	47
3.7.7.	<i>Tiempo de funcionamiento</i> .....	47
3.7.8.	<i>Dinamómetro BORGHI &amp; SAVERI FA 200SP</i> .....	48
3.7.9.	<i>Dinamómetro DYNOCOM</i> .....	49
3.7.10.	<i>Balanza digital</i> .....	49
3.7.11.	<i>Pruebas estáticas de torque, potencia y consumo de combustible realizadas en el motor variando aceites, marcas y combustibles</i> .....	50
3.7.12.	<i>Obtención de datos</i> .....	51
3.7.13.	<i>Obtención del factor de corrección para dinamómetro BORGHI Y SAVERI</i> .....	51
3.7.14.	<i>Obtención muestras de aceite</i> .....	53
3.7.15.	<i>Análisis tribológico de ferrografía para obtención de ferrograma</i> .....	54
3.7.16.	<i>Evaluación de muestras por microscopio</i> .....	56
3.7.17.	<i>Normativas y procesos aplicados</i> .....	56

## CAPITULO IV

4.	<b>MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b> .....	58
4.1.	<b>Procesamiento, análisis e interpretación de resultados</b> .....	58
4.1.1.	<i>Efectos de la variación de viscosidad y combustible sobre el torque</i> .....	58
4.1.2.	<i>Efectos de la variación de viscosidad y combustible sobre el consumo de combustible</i> .....	62
4.1.3.	<i>Mapa de consumo</i> .....	64
4.1.4.	<i>Pruebas tribológicas de ferrografía para los aceites</i> .....	65
4.1.4.1.	<i>Imágenes obtenidas en Microscopio BX 51 Olympus</i> .....	66
4.1.4.2.	<i>Comparativas de imágenes de muestra</i> .....	70
4.2.	<b>Comprobación de la hipótesis</b> .....	74

## **CAPITULO V**

<b>5.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	76
<b>5.1.</b>	<b>Conclusiones</b> .....	76
<b>5.2.</b>	<b>Recomendaciones</b> .....	77

## **BIBLIOGRAFIA**

## **ANEXOS**

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 2-1:</b>	Tipos de estructuras de la composición del aceite mineral.....	7
<b>Tabla 2-2:</b>	Escala de viscosidad de los aceites minerales.....	10
<b>Tabla 2-3:</b>	Clasificación de aceites API.....	12
<b>Tabla 2-4:</b>	Tipos de desgastes presentes en el MCI.....	16
<b>Tabla 2-5:</b>	Clasificación del MCI.....	18
<b>Tabla 2-6:</b>	Elementos básicos del MCI.....	19
<b>Tabla 2-7:</b>	Componentes del MCI.....	20
<b>Tabla 2-8:</b>	Procesos del MCI ciclo Otto.....	21
<b>Tabla 2-9:</b>	Rendimiento y consumo del MCI.....	23
<b>Tabla 2-10:</b>	Parámetros indicados y efectivos del MCI.....	24
<b>Tabla 2-11:</b>	Características combustibles gasolina y diesel.....	28
<b>Tabla 2-12:</b>	Combustibles alternativos.....	29
<b>Tabla 2-15:</b>	Datos técnicos del motor.....	32
<b>Tabla 2-16:</b>	Características BX 51 Olympus.....	36
<b>Tabla 2-17:</b>	Especificaciones microscopio BX 51 Olympus.....	37
<b>Tabla 2-18:</b>	Características Q color 5 Olympus.....	39
<b>Tabla 3-1:</b>	Aceites lubricantes semisintéticos.....	44
<b>Tabla 3-2:</b>	Matriz de pruebas.....	47
<b>Tabla 3-3:</b>	Tiempo de uso por prueba.....	48
<b>Tabla 3-4:</b>	Accionamiento dinamómetro BORGHI & SAVERI.....	48
<b>Tabla 3-5:</b>	Características dinamómetro de rodillos.....	49
<b>Tabla 3-6:</b>	Componentes balanza digital.....	50
<b>Tabla 3-7:</b>	Datos Borghi y Dyno.....	52
<b>Tabla 3-8:</b>	Proceso de intervención para extracción de muestras.....	54
<b>Tabla 4-1:</b>	Torque vs rpm.....	59
<b>Tabla 4-2:</b>	Torque máximo con aceite 10W30.....	60
<b>Tabla 4-3:</b>	Torque máximo con aceite 20W50.....	61
<b>Tabla 4-4:</b>	Torques con diferentes viscosidades.....	62
<b>Tabla 4-5:</b>	Consumos de combustible.....	63
<b>Tabla 4-6:</b>	Información de factores.....	74
<b>Tabla 4-7:</b>	Análisis de Varianza.....	74
<b>Tabla 4-8:</b>	Valor de Fisher y Análisis de varianza.....	74
<b>Tabla 4-9:</b>	Comparativa de factores.....	75
<b>Tabla 4-10:</b>	Conteo de partículas (Lente factor X100).....	75

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 2-1:</b>	Clases de aceites lubricantes y su composición.....	7
<b>Ilustración 2-2:</b>	Índice de viscosidad.....	9
<b>Ilustración 2-3:</b>	Clasificación ACEA de aceites.....	11
<b>Ilustración 2-4:</b>	Superficies parcialmente en contacto .....	14
<b>Ilustración 2-5:</b>	Desgaste por fatiga superficial.....	15
<b>Ilustración 2-6:</b>	Desgaste abrasivo por partículas.....	15
<b>Ilustración 2-7:</b>	Desgaste erosivo por el flujo de partículas abrasivas .....	15
<b>Ilustración 2-8:</b>	Tipos de lubricación.....	16
<b>Ilustración 2-9:</b>	Curva de Stribeck .....	17
<b>Ilustración 2-10:</b>	Espesor de película en lubricación hidrodinámica .....	17
<b>Ilustración 2-11:</b>	Lubricación límite.....	18
<b>Ilustración 2-12:</b>	Componentes del MCI.....	20
<b>Ilustración 2-13:</b>	Esquema de funcionamiento del MCI .....	21
<b>Ilustración 2-14:</b>	Diagrama p-v del MCI de 4 tiempos .....	22
<b>Ilustración 2-15:</b>	Curvas torque-potencia del MCI .....	26
<b>Ilustración 2-16:</b>	Curvas características del MCI.....	26
<b>Ilustración 2-17:</b>	Curvas de torque, potencia y consumo del MCI.....	27
<b>Ilustración 2-18:</b>	Curvas de consumo de motor.....	27
<b>Ilustración 2-19:</b>	Características de los combustibles .....	30
<b>Ilustración 2-20:</b>	Banco dinamométrico.....	33
<b>Ilustración 2-21:</b>	Balanza digital .....	34
<b>Ilustración 2-22:</b>	Recipiente de combustible .....	34
<b>Ilustración 2-23:</b>	Bomba de combustible .....	34
<b>Ilustración 2-24:</b>	Deposición de partículas en un ferrograma .....	35
<b>Ilustración 2-25:</b>	Microscopio BX 51 Olympus.....	37
<b>Ilustración 2-26:</b>	Laboratorio de ferrografía T2FM 500 .....	38
<b>Ilustración 2-27:</b>	Q Color 5 Olympus.....	39
<b>Ilustración 2-28:</b>	Q Capture X64.....	40
<b>Ilustración 3-1:</b>	Matriz metodológica.....	42
<b>Ilustración 3-2:</b>	Cambio de cárter fisurado.....	46
<b>Ilustración 3-3:</b>	Desmontaje de motor.....	46
<b>Ilustración 3-4:</b>	Dinamómetro de rodillos DYNOCOM.....	49
<b>Ilustración 3-5:</b>	Programa Labview toma de datos.....	50
<b>Ilustración 3-6:</b>	Comparativa dinamómetros, Borghi VS Dyno.....	52

<b>Ilustración 3-7:</b>	Factor de corrección para Potencia.....	53
<b>Ilustración 3-8:</b>	Factor de corrección para torque .....	53
<b>Ilustración 3-9:</b>	Fotografía, muestra de aceite a través del microscopio .....	56
<b>Ilustración 4-1:</b>	Torque vs rpm.....	58
<b>Ilustración 4-2:</b>	Extra vs Super con aceite 10W30 .....	59
<b>Ilustración 4-3:</b>	Extra vs Super con aceite 20W50 .....	60
<b>Ilustración 4-4:</b>	Torque vs rpm según grado de viscosidad .....	61
<b>Ilustración 4-5:</b>	Consumo Específico .....	62
<b>Ilustración 4-6:</b>	Consumo vs rpm con aceite 10W30 .....	63
<b>Ilustración 4-7:</b>	Consumo vs rpm, con aceite 20W50 .....	63
<b>Ilustración 4-8:</b>	Consumo más bajo de combustible .....	64
<b>Ilustración 4-9:</b>	Consumo de combustible más bajo .....	64
<b>Ilustración 4-10:</b>	Consumo de combustible más alto .....	65
<b>Ilustración 4-11:</b>	Ferrograma Top 1 10W30.....	66
<b>Ilustración 4-12:</b>	Imágenes muestra de aceite Top 1 10W30 (aumento X50) .....	66
<b>Ilustración 4-13:</b>	Imágenes muestra aceite Top 1 10W30 (aumento X100).....	66
<b>Ilustración 4-14:</b>	Ferrograma Golden Bear 10W30.....	67
<b>Ilustración 4-15:</b>	Imágenes muestra aceite Golden Bear 10W30 (aumento X50).....	67
<b>Ilustración 4-16:</b>	Imágenes muestra aceite Golden Bear 10W30 (aumento X100).....	67
<b>Ilustración 4-17:</b>	Ferrograma Top 1 20W50.....	68
<b>Ilustración 4-18:</b>	Imágenes muestra aceite Top 1 20W50 (aumento X50).....	68
<b>Ilustración 4-19:</b>	Imágenes muestra aceite Top 1 20W50 (aumento X100).....	68
<b>Ilustración 4-20:</b>	Ferrograma Golden Bear 20W50.....	69
<b>Ilustración 4-21:</b>	Imágenes muestra aceite Golden Bear 20W50 (aumento X50).....	69
<b>Ilustración 4-22:</b>	Imágenes muestra aceite Golden Bear 20W50 (X100).....	69
<b>Ilustración 4-23:</b>	Partículas de silicio .....	70
<b>Ilustración 4-24:</b>	Partículas de aluminio.....	70
<b>Ilustración 4-25:</b>	Partículas de hierro por desgaste .....	71
<b>Ilustración 4-26:</b>	Cumulo de partículas .....	72
<b>Ilustración 4-27:</b>	Aglomeración de partículas de óxido negro .....	72
<b>Ilustración 4-28:</b>	Partículas contaminantes (Fibras).....	73

## ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** EQUIPO PARA OBTENCIÓN CURVAS TORQUE Y POTENCIA
- ANEXO B:** EQUIPO PARA OBTENCIÓN DE CURVA DE CONSUMO
- ANEXO C:** ACEITES PARA USO DE PRUEBAS
- ANEXO D:** DESARROLLO DE PRUEBAS
- ANEXO E:** CORTE DE MANGUERA PARA OBTENCIÓN DE MUESTRAS DE ACEITE
- ANEXO F:** INGRESO DE SONDA PARA OBTENCIO DE MUESTRA
- ANEXO G:** ACOUPLE DE MANGUERA A BOMBA MANUAL
- ANEXO H:** ACOUPLE DE FRASCO PARA OBTENCIÓN DE MUESTRA
- ANEXO I:** ACCIONAMIENTO DE BOMBA MANUAL PARA EXTRACCIÓN
- ANEXO J:** MUESTRA OBTENIDA DE ACEITE USADO
- ANEXO K:** REVISIÓN DE FERROGRAMA POR MICROSCOPIO
- ANEXO L:** TABLA DE FISHER DE 0,05
- ANEXO M:** REQUISITOS DE GASOLINA EXTRA 85 OCTANOS (RON)
- ANEXO N:** REQUISITOS DE GASOLINA SUPER 92 OCTANOS (RON)
- ANEXO O:** PLANIFICACION REALIZADA EN GANTT PROJECT

## RESUMEN

Este trabajo se enfocó en analizar el impacto de las características tribológicas del aceite sobre el consumo de combustible en un motor de ciclo Otto evaluado sobre banco dinamométrico de motores marca Borghi & Saveri modelo FA 200 SP de la facultad de mecánica-ESPOCH. Para el desarrollo de las pruebas se estableció una matriz que combinó marcas de aceite: TOP 1- Golden Bear, grados de viscosidad de 10W30-20W50 y combustibles: Extra de 85 y Súper de 92 octanos. Además del uso del método gravimétrico para determinar el consumo de combustible, se aplicó la normativa NTE INEN 2027 junto con Cat S.O.SSM Services para la extracción de muestras para el conteo de partículas. Los resultados obtenidos muestran que el valor más bajo de consumo es 85,34 g/kWh con la combinación Top 1-combustible Super- viscosidad 10w30 a 3500 RPM y el consumo más alto es 97,34 g/kWh con la combinación Top 1-combustible Extra- viscosidad 20w50 a 3000 RPM. Presentando una diferencia de 12,32% entre el consumo más alto y bajo. El conteo de partículas se realizó de forma personalizada, puesto que no se tienen los equipos necesarios para el conteo adecuado, obteniendo que el número de partículas en cada aceite está entre 235 a 250 en cada aceite, presentando una diferencia máxima de un 0,6 %. Finalmente, acorde con el análisis estadístico ANOVA, se confirmó que las variables antes mencionadas no influyen en el consumo de combustible y que los aceites estudiados ofrecen el mismo nivel de protección, por lo que se recomienda que el tiempo para las pruebas sea mayor con el fin de evaluar si el tiempo influye en los resultados y tener más partículas en las muestras a estudiar.

**Palabras claves:** <CONSUMO DE COMBUSTIBLE> <ACEITE DE MOTOR> <INDICE DE VISCOSIDAD> <FERROGRAFÍA ANALÍTICA> <TORQUE DE MOTOR> <MÉTODO GRAVIMETRICO> <DESGASTE DE MOTOR>

1096-DBRAI-UPT-2024





## SUMMARY

This work focused on analyzing the impact of the tribological characteristics of the oil on fuel consumption in an Otto cycle engine evaluated on a dynamometer bench of Borghi & Saveri engines, model FA 200 SP of Mechanics School -ESPOCH. For the development of the tests, a matrix was established that combined oil brands: TOP 1- Golden Bear, viscosity grades of 10W30-20W50 and fuels: Extra 85 and Super 92 octane. In addition to the use of the gravimetric method to determine fuel consumption, the NTE INEN 2027 standard was applied together with Cat S.O.SSM Services for the extraction of samples for particle counting. The results obtained show that the lowest consumption value is 85.34 g/kWh with the combination Top 1-fuel Super-viscosity 10w30 at 3500 RPM and the highest consumption is 97.34 g/kWh with the combination Top 1-fuel Extra-viscosity 20w50 at 3000 RPM. There is a difference of 12,32% between the highest and lowest consumption. The particle count was carried out in a personalized way, since the necessary equipment for the adequate count is not available, obtaining that the number of particles in each oil is between 235 to 250 in each oil, presenting a maximum difference of 0,6%. Finally, according to the ANOVA statistical analysis, it was confirmed that the variables mentioned above do not influence fuel consumption and that the oils studied offer the same level of protection. So, it is recommended that the time for the tests be longer in order to evaluate if time influences the results and to have more particles in the samples to be studied.

**Keywords:** <FUEL CONSUMPTION> <ENGINE OIL> <VISCOSITY INDEX>  
<ANALYTICAL FERROGRAPHY> <ENGINE TORQUE> <GRAVIMETRIC METHOD>  
<ENGINE WEAR>.

Lic. Sandra Paulina Porrás Pumalema Mgs

C.I. 0603357062

## INTRODUCCIÓN

Hoy se observa la inconformidad de los usuarios de automotores por el aumento en costos de combustible en el país. Esto se muestra más evidente con el pasar del tiempo, influyendo en la búsqueda de alternativas para economizar el consumo de combustible y así reducir el gasto económico que afecta a la población que cuenta con vehículos.

Una de las medidas que se llegan a tomar debido a influencia de las compañías que ofrecen lubricantes automotrices, es utilizar el producto que presentan con la premisa de reducir el consumo y ofrecer una protección mucho mayor que sus competidores en este campo. Debido a esto, muchas personas optan por este método sin siquiera tener un conocimiento adecuado sobre el tema o simplemente guiándose por lo ofrecido.

Los motores de combustión interna o MCI mantienen varios mecanismos y partes móviles; siempre estarán en contacto unos con otros generando fricción o resistencia al movimiento, siendo uno de los factores determinantes para el consumo en automóviles, ya que, salvo resistencia en cuanto al movimiento, menor energía se deba proporcionar para generarlo. De aquí es el punto de partida para observar el comportamiento de los aceites que ofrecen distintas marcas, con la finalidad de verificar si los beneficios que se obtienen son iguales a los que ofrecen y cuál sería el mejor, esto siendo evaluado entre cuatro aceites de dos marcas con viscosidades distintas, seleccionándolos por método aleatorio.

La gran mayoría de los estudios que relacionan a los aceites lubricantes, por lo general, se lo realiza entre viscosidades distintas únicamente, así generando la oportunidad de verificarlo desde otro punto de vista, al contrastar diferentes variables como son: marca, viscosidad y tipos de gasolina; se debe obtener un gran número de gráficas de torque en relación con el consumo. Mediante la metodología investigativa se obtienen puntos de referencia y tratamiento de datos para los temas de interés.

En el presente documento se mencionan los materiales y equipos que se necesitaron para el estudio de las variables de interés, además de información referente a combustibles, aceites y cómo estos intervienen en el consumo de combustible. Se establece una matriz de pruebas en función de variables dependientes e independientes, además se establecen los procesos que permiten la obtención de muestras. Por último, se analizan e interpretan los datos obtenidos.

Este estudio proporciona información relevante sobre cómo afecta el tipo de combustible y aceite en el consumo en vehículos de características similares al Aveo 1.6L.

## **CAPITULO I**

### **1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

#### **1.1. Planteamiento del problema**

Hoy, reducir el consumo de combustible se ha convertido en una necesidad, por el aumento de su precio en los últimos años, generando malestar en los usuarios que poseen un vehículo, y así las personas buscan cómo reducir tanto el consumo del vehículo como el gasto económico que se genera. En el mercado hay varias marcas de aceites para motor, ofrecen beneficios para su rendimiento, por lo que se ha llegado a mencionar que las características y marcas influyen directamente en el consumo de combustible de los automotores, ante la incertidumbre de saber qué aceite escoger o qué características son favorables. Se puede llegar a conocer cómo actúan los lubricantes en referencia al gasto de combustible a través de pruebas en un banco dinamométrico y con ayuda de una balanza que permitirá aplicar el método gravimétrico, realizando varias pruebas bajo distintas cargas de funcionamiento para simular un ambiente de trabajo para el motor; además de obtener los análisis tribológicos de estos, los cuales llegan a ser factibles dentro de laboratorios o equipos especializados, obteniendo así los distintos datos correspondientes para el análisis y comprobación.

#### **1.2. Limitaciones y delimitaciones**

El enfoque del presente se dirige al estudio y análisis del comportamiento de un MCI del Aveo 1.6 litros en el banco dinamométrico del laboratorio de motores de la Escuela Superior Politécnica Del Chimborazo, aplicando distintos aceites, variando su marca en dos distintas y dos viscosidades distintas en cada una, evaluando el consumo de combustible aplicando el método gravimétrico mediante una balanza digital, además del aporte de características tribológico.

#### **1.3. Problema General de Investigación**

¿Las características tribológicas del aceite, al igual que sus marcas y los diferentes tipos de combustibles, afectan al consumo de combustible?

#### **1.4. Problemas específicos de investigación**

¿La variación de grados de viscosidad del aceite reduce el consumo de combustible?

¿Qué marca de aceite proporciona mayor protección al motor de combustión interna?

¿Qué combinación entre marca de aceite, viscosidad y combustible ofrece menor consumo de combustible?

## **1.5. Justificación**

### ***1.5.1. Justificación Teórica***

En la actualidad dentro del campo automotriz se pueden observar distintas marcas de lubricantes las cuales ofrecen distintos beneficios y características a los usuarios que mantienen un automotor, algunos promocionando una reducción del consumo de combustible debido a su composición además de gran fiabilidad en la protección que estos dan al MCI, en la mayoría de los casos por falta de conocimiento o información referente a este tema varios usuarios tienden a escoger un aceite que sea económico o que le hayan recomendado, sin tomar en cuenta las especificaciones del motor y como podría afectar en su rendimiento, ya que si se tiene en cuenta que la viscosidad de un aceite 10W-30 con la de un aceite 20W-50 son distintas y que entre mayor viscosidad existirá mayor resistencia al desplazamiento de los elementos internos del automotor, entendiendo esto como mayor consumo de combustible, para satisfacer las dudas e incertidumbre de los usuarios frente a esta problemática y dado que al paso del tiempo la composición de dicho elemento varia en gran medida generando productos nuevos que ofrecen beneficios, por tanto, se ofrece una solución mediante la investigación a través de pruebas en un banco dinamométrico de motores marca Borghi y Saveri modelo FA 200 SP y con ayuda de una balanza permitirá aplicar el método gravimétrico, realizando pruebas de consumo de combustible con diferentes parámetros de funcionamiento para simular un ambiente casi real para el motor; además de obtener análisis tribológicos de estos los cuales llegan a ser factibles dentro de laboratorios o equipos especializados obteniendo así los distintos datos correspondientes para el análisis y comprobación, para así poder ofrecer un punto de vista mucho más clarificado para los usuarios que día a día buscan mejores productos los cuales lleguen a beneficiar a su vehículo mas no generen inconformidades, además el llegar a aclarar el punto dentro de la reducción de consumo de combustible, protección del motor y además un ahorro para los bolsillos de los usuario.

### ***1.5.2. Justificación Metodológica***

Para el presente trabajo se plantea utilizar una metodología investigativa cuantitativa que se enfocará en la investigación descriptiva, analítica y experimental.

La metodología de investigación cuantitativa permite el análisis de los fenómenos que afectan al consumo de combustible en valores numéricos para su interpretación y el uso de estadísticas. La investigación descriptiva ayuda al ordenamiento de los datos obtenidos tanto de combinación de factores como grados de viscosidad, marcas de aceites lubricantes y tipos de combustibles; al igual procedimientos de medición de rendimiento del MCI bajo estudio, la investigación analítica facilita la comparación entre los resultados obtenidos de las pruebas de torque, potencia, consumo y análisis tribológico. La investigación experimental permite la realización de pruebas de consumo de combustible en función de: la viscosidad, marca de aceite lubricante y tipo de combustible.

### ***1.5.3. Justificación Práctica***

El estudio sobre el consumo que se genera en el MCI (Aveo 1.6 L), considerando que la primicia de, a menor fricción generada entre los componentes del motor abra un menor consumo de combustible, variando así el componente del mismo como el aceite, nos ofrecerá una clarificación de si existe una disminución al comparar y generar estudios con métodos estadísticos, permitiendo esclarecer aplicando las distintas pruebas si la variación de los aceites influye y genera lo ofrecido por las distintas marcas, obteniendo datos de consumo, tiempo de prueba y torque.

## **1.6. Hipótesis**

### ***Hipótesis nula (H0)***

H0: El uso de distintas marcas, viscosidades de aceites y combustibles no modifica el consumo de combustible en un motor de combustión interna de 1600cc a 2750 msnm.

### ***Hipótesis de investigación (Hi)***

H1: El uso de distintas marcas, viscosidades de aceites y combustibles modifica el consumo de combustible en un motor de combustión interna de 1600cc a 2750 msnm.

## **1.7. Objetivos**

### ***1.7.1. Objetivo general***

Analizar el impacto de las características tribológicas del aceite sobre el consumo de combustible en un motor de ciclo otto evaluado sobre banco dinamométrico de motores marca Borghi y Saveri modelo FA 200 SP de la facultad de MECÁNICA-ESPOCH.

### ***1.7.2. Objetivos específicos***

- Definir referencias bibliográficas referentes a la relación existente entre la viscosidad, aditivos lubricantes y consumo de combustible.
- Comparar el consumo de combustible obtenido con 4 distintos aceites de diferentes viscosidades y variando dos tipos de combustibles.
- Contrastar el nivel de protección que ofrecen los distintos lubricantes en el MCI a gasolina, utilizando 4 aceites lubricantes de diferentes marcas y viscosidades empleando un análisis tribológico.
- Emplear un análisis estadístico de ANOVA entre el consumo de combustible, viscosidad, marca y combustible.

## CAPITULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes

Al momento que determinar el estado de funcionamiento de un motor existen varios factores que son importantes, entre ellos están el torque, la potencia y consumo de combustible, frente a esto en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo se reacondicionó el dinamómetro de motor Borghi & Saveri FA200 lo que permitió pruebas para la obtención de rendimiento y consumo de combustible de forma digital (Iván Casanguá y Carlos Asqui 2021), también se estudió la variación de los factores antes mencionados al modificar la cilindrada (Alex Vargas y Jorge Pozo 2021). Además, con la finalidad de mejorar la medición del consumo de combustible se realiza la tesis de comparación de los datos obtenidos entre un sensor de presión y un caudalímetro (Alex León 2022).

Luego con la idea de validar un modelo de cálculo desarrollado por Toolbox QSS de Simulink, se comparó con mediciones de consumo de combustible obtenidas con el software y una balanza digital que media el consumo de combustible con el método gravimétrico (Geovanny Clavijo y Bayron Tamami 2022).

Además, otro de los factores importantes es el desgaste de motor debido a las exigencias que es sometido el motor, aquí influye el nivel de protección que ofrece un aceite lubricante. Para este enfoque surgió la tesis que estudió el desgaste de un motor en función de cómo está compuesto el aceite lubricante (Ricardo Barrera 2021), ya que previo a este análisis se investigó el comportamiento del acero AISI 1045 cuando se encuentra lubricado con lubricantes que cumplen con SAE 10W30 y 20W50 (Horacio Cuenca y Diego Flores 2014).

Debido a estos antecedentes se comprende que la variación de ciertos factores dentro del motor podría afectar su rendimiento, consumo de combustible o desgaste, por lo que al indagar sobre si el grado de viscosidad afecta al consumo de combustible se encontró poca información relacionada, dando así un punto de partida para la investigación.

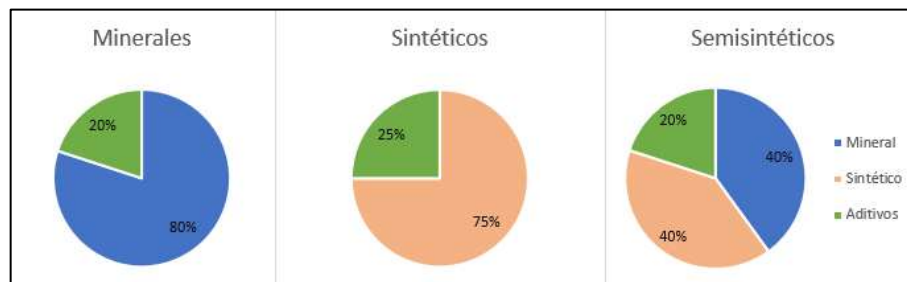
Varias investigaciones anteriores solo realizan la experimentación al cambiar lo que es viscosidad y no centrándose en las variables como el tipo de marca, viscosidad y combustible, con todo esto se determina un punto de partida para el planteamiento de la investigación, planteando la pregunta de cómo influyen y si lo hacen los factores anteriores en el consumo de combustible.

## 2.2. Referencias Teóricas

### 2.2.1. Aceites

Es la sustancia que reduce la fricción entre superficies, permitiendo una fricción, además disminuye el desgaste y calentamiento de piezas en movimiento. (Tejada et al., 2017; Ordóñez, 2012)

Los aceites lubricantes más utilizados en motores son de tipo mineral o sintético, estos aceites son producto de la combinación de aceite base y diferentes aditivos.



**Ilustración 2-1:** Clases de aceites lubricantes y su composición.

Fuente: Sanz, 2017.

#### 2.2.1.1. Aceites minerales

**Tabla 2-1:** Tipos de estructuras de la composición del aceite mineral.

TIPOS DE ESTRUCTURAS DE LA COMPOSICION DEL ACEITE MINERAL			
FORMAS	TIPOS	INDICE DE VISCOSIDAD	PUNTO DE CONGELACION
	Parafinas Normales	Muy Alto	Muy Alto
	Iso- Parafinas	Alto	Bajo
	Nafténicos	Intermedio	Bajo
	Algunos aromáticos	Bajo	Bajo
	Algunos componentes (Azufre- Nitrogeno)	Bajo	Bajo

Fuente: Avila, 2018, pág. 23.

Son el resultado de un proceso de destilación y refinación del petróleo (Ordóñez, 2012), la estructura de dichos aceites está conformado como se muestra en la tabla 2-1.



### *2.2.1.2. Aceites semisintéticos*

Se obtiene al mezclar aceites sintéticos y aceites minerales, cuenta con una cantidad mayor de aceite mineral lo que permite reducir el valor económico de este aceite en relación con el sintético puro. (Ordóñez, 2012; Ávila, 2018)

### *2.2.1.3. Aceites sintéticos*

Estos aceites son resultado de complejos procesos químicos que alteran la estructura molecular de los elementos que lo componen, es decir son desarrollados en laboratorios y provienen del grupo familiar de los esteres y los hidrocarburos producto de síntesis. Entre sus características están:

- Alto índice de viscosidad.
- Gran resistencia frente a altas temperaturas
- Mayor resistencia ante la oxidación de compuestos.

Presentan una buena estabilidad térmica y propiedades físicas. (Ordóñez, 2012, págs. 7-12)

### *2.2.1.4. Aditivos*

Estos componentes mejoran el índice de viscosidad y ciertas propiedades de los aceites lubricantes, permitiendo que dicho aceite fluya a bajas temperaturas para facilitar el arranque del vehículo; además, que mantenga su viscosidad conforme aumenta la temperatura y no permita el contacto directo entre superficies.

Su estructura química de los aditivos se desarrolla con las familias de Polimetacrilato (PMA), copolímeros mixtos (PMA-OCB) y de hidrocarburos etilénicos (OCP), Derivados de isopreno y de estireno-butadieno hidrogenado. Entre algunos aditivos podemos encontrar:

- Aditivos anti-desgastantes
- Aditivos antioxidantes
- Aditivos detergentes
- Aditivos de basicidad
- Aditivos dispersantes
- Aditivos anticorrosivos

- Aditivos anticongelantes
- Aditivos anti-espuma
- Aditivos de extrema presión

Cada aditivo tiene su función principal, estructuración química y comportamiento. (Ordoñez, 2012, págs. 10-11)

## 2.2.2. Características de los aceites lubricantes

### 2.2.2.1. Densidad

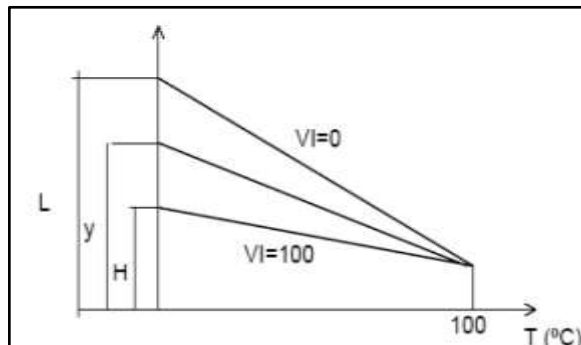
Es la relación entre masa y volumen de una sustancia, dicha densidad en los aceites lubricantes depende del tipo de crudo y grado de destilación. Esta característica varía entre 0,79 y 0,97gr/cm<sup>3</sup>. (Ávila, 2018, pág. 33)

### 2.2.2.2. Viscosidad

La viscosidad es la resistencia que tienen los fluidos a fluir, esta característica es importante ya que determina la capacidad para mantener la lubricación, también fija el rendimiento mecánico, temperatura, carga y dimensiones de elementos. (Cañaverall, 2021, pág. 21)

### 2.2.2.3. Índice de viscosidad

La viscosidad no es una característica constante ya que puede variar dependiendo de varios parámetros como la temperatura y presión de trabajo. El índice de viscosidad se determina con la ecuación 1 y se interpreta con ayuda de la ilustración 2-2. (Díaz del Castillo, 2007, pág. 20)



**Ilustración 2-2:** Índice de viscosidad.

Fuente: Díaz del Castillo, 2007, pág. 21.

$$In.Viscosidad = \frac{L - Y}{L - H} \times 100 \quad (1)$$

#### 2.2.2.4. Punto de inflamación

También conocido como *flash point*, es el grado de temperatura mínima en la cual el aceite desprende vapores capaces de inflamarse momentáneamente al aplicar una chispa o llama. El punto de inflamación del aceite aumenta por el tiempo de uso, sin embargo, en aceites de motor este punto de inflamación se encuentra en niveles bajos para evitar potenciales riesgos de inflamación. (Tormos, 2005, pág. 87)

### 2.2.3. Clasificación de aceites para motor

#### 2.2.3.1. Clasificación por su viscosidad

**Tabla 2-2:** Escala de viscosidad de los aceites minerales.

Escala de viscosidad, segundos Saybolt Universal						
Clasificación SAE	A 0 °C		A 54 °C		A 99 °C	
	Minimo	Maximo	Minimo	Maximo	Minimo	Maximo
10			90	120		
10W	6000	12000				
20W			120	185		
20	12000	48000				
30			185	255		
40			255			80
50					80	105
60					125	125
70					125	150

Fuente: Díaz del Castillo, 2007, pág. 23.

La viscosidad es una propiedad fundamental que determina si existirá una lubricación límite o una lubricación hidrodinámica. Por otra parte, la viscosidad del aceite podrá no presentar condiciones de trabajo cuando este requiera lubricar un motor a diferentes temperaturas.

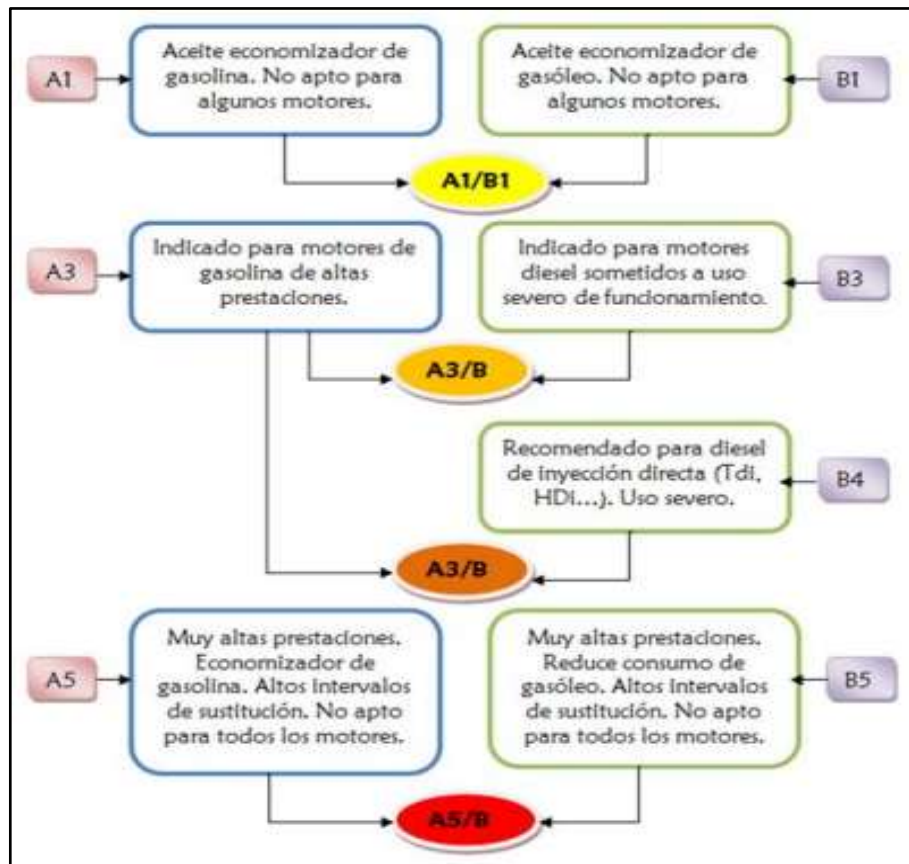
SAE (Sociedad de Ingenieros Automotrices) se encarga de la clasificación por viscosidad de los aceites minerales. (Díaz del Castillo, 2007, pág. 23)

Aceites monogrado; este tipo de aceite solo tiene un único grado SAE de funcionamiento, es decir que tiene un grado de viscosidad fijo, aunque este varíe en función de la temperatura. Estos aceites están dejando de utilizarse debido a que no se adaptan a las variaciones de climas. (Ávila, 2018, pág. 27)

Aceites multigrado; estos aceites cumplen con las especificaciones de dos grados SAE, uno para bajas temperaturas y otro para altas temperaturas climáticas. Dichos aceites son más estables frente a cambios térmicos, además permite el arranque más rápido en climas fríos con menos desgaste de componentes internos del motor. (Ávila, 2018, pág. 28)

### 2.2.3.2. Clasificación por servicio

Clasificación ACEA: desde 1996 hasta 2004, la ACEA (Asociación de Constructores Europeos de Automóviles) empleo la letra “A” para motores de gasolina y la “B” para Diesel. A partir del 2004 se emplearon los aceites A y B en motores ligeros y se juntó a estas letras un número del 1 al 5 que indica el uso más adecuado para el aceite. (Alzallú, 2015, pág. 1)



**Ilustración 2-3:** Clasificación ACEA de aceites.

Fuente: Alzallú, 2015, pág. 1.

Clasificación API: los aceites cumplen los estándares actuales para la protección del motor GF-6<sup>a</sup> del ILSAC y los requerimientos para la economización de combustibles. (American Petroleum Institute, 2020, pág. 2)

**Tabla 2-3:** Clasificación de aceites API.

MOTORES A GASOLINA		
CATEGORIA	ESTADO	SERVICIO
SP	Actual	Incorporado en mayo 2020. Diseñado para proporcionar protección contra pre encendido de baja velocidad (LSPI), protección contra desgaste de la cadena de tiempo, protección mejorada del depósito de alta temperatura para pistones y turbocompresores, y control más estricto del lodo de aceite y del barniz. API SP con conservación de recursos coincide con el GF-6A del ILSAC al combinar el desempeño del SP del API con la economía de combustible mejorada, la protección del sistema de control de emisiones y la protección de motores que operan con combustibles que contienen etanol hasta E85.
SN	Actual	Para motores de automóviles modelo 2020 o más antiguos.
SM	Actual	Para motores de automóviles modelo 2010 o más antiguos.
SL	Actual	Para motores de automóviles de 2004 o más antiguos.
SJ	Actual	Para motores de automóviles de 2001 o más antiguos.
SH	Fuera de circulación	Para motores de 1996 o más antiguos. Valido cuando esta precedido por las categorías C actuales.
SG	Fuera de circulación	Para motores de 1993 o más antiguos.
SF	Fuera de circulación	Para motores de 1988 o más antiguos.
SE	Fuera de circulación	<b>PRECAUCIÓN</b> no recomendada para su uso con motores para automóviles de gasolina fabricados después de 1979.
SD	Fuera de circulación	<b>PRECAUCIÓN</b> no recomendada para su uso con motores para automóviles de gasolina fabricados después de 1971. El uso en motores más modernos podría ocasionar rendimientos poco satisfactorios o daños en el equipo.
SC	Fuera de circulación	<b>PRECAUCIÓN</b> no recomendada para su uso con motores para automóviles de gasolina fabricados después de 1967. El uso en motores más modernos podría ocasionar rendimientos poco satisfactorios o daños en el equipo.
SB	Fuera de circulación	<b>PRECAUCIÓN</b> no recomendado para su uso con motores para automóviles de gasolina fabricados después de 1963. El uso en motores más modernos podría ocasionar rendimientos poco satisfactorios o daños en el equipo.
SA	Fuera de circulación	<b>PRECAUCIÓN</b> no recomendado para su uso con motores para automóviles de gasolina fabricados después de 1930.

Fuente: American Petroleum Institute, 2020, pág. 3.

Realizado por: Silva, J & Simba, M. 2024.

#### 2.2.4. Tribología

El significado etimológico de la tribología nace de las palabras griegas “Tribos” y “logos” que hacen referencia a la fricción y al estudio, respectivamente; dando como significado literal “la ciencia de superficies en fricción”.

El campo de investigación de la tribología con un enfoque científico-técnico estudia procesos de lubricación, fricción y desgaste de cuerpos o superficies en contacto, para reducir las pérdidas de energía, materiales y económicas. (Castillo y Toapanta, 2019)

#### *2.2.4.1. Ferrografía*

Denominada una técnica predictiva que permite separar partículas de desgaste que se presentan en los aceites a través del tiempo, además permite el estudio morfológico de dichas partículas. (Sisalime 2016)

Las partículas en la ferrografía son separadas por medios magnéticos atrapando así las partículas ferrosas, aun cuando estas tengan concentraciones de carbono bajas, esto debido a que durante el desgaste se involucran con materiales ferrosos adquiriendo así su apariencia y siendo ligeramente magnéticos. (Sisalime 2016)

La ferrografía se puede dividir en dos tipos las cuales, ferrografía cuantitativa y cualitativa, para la investigación se presenta como primera opción el uso de la ferrografía cualitativa debido a la posibilidad de obtención de equipos que se encuentran en la ESPOCH, siendo un equipo para ferrografía analítica.

La ferrografía cualitativa o analítica detalla la morfología además de la composición de las partículas para de esta manera poder identificar el tipo y fenómenos producidos durante el desgaste, el proceso se lleva a cabo al diluir la muestra obtenida de aceite para de esta manera logre atravesar el cardo y así llegar a la plaqueta de vidrio generando un ferrograma el cual permitirá el estudio de las partículas a través del uso de un microscopio bicromático el cual permitirá su identificación y posterior comparación de las misma mediante el denominado atlas de partículas logrando su identificación. (Sisalime 2016)

#### *2.2.4.2. Fricción*

La fricción produce pérdida de energía y al mismo tiempo genera tensiones que resultan en microfracturas y desgaste de elementos. Reducir la fricción de las superficies en el montaje y estructuras permite que la energía perdida sea mínima. (Popov, 2020)

En el presente trabajo se hará énfasis en la fricción estática y dinámica.

Fricción estática: esta se presenta cuando las superficies se encuentran inmóviles o al existir un movimiento relativo. Por lo general al comenzar y terminar el movimiento tangencial rotativo en transmisiones por fricción, uniones por interferencia, acoplamientos de fricción, entre otros; produciendo una pérdida energía mecánica. (Castillo y Toapanta, 2019)

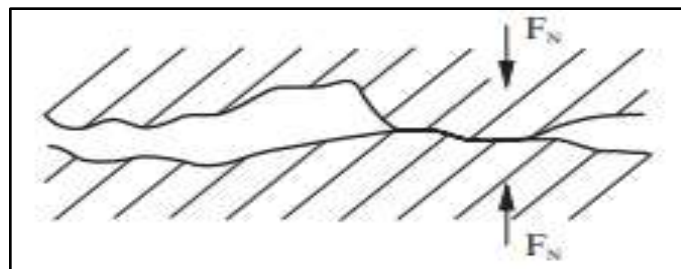
Fricción dinámica: La pérdida de energía mecánica se presenta en el movimiento relativo normal o tangencial. Este tipo de fricción se la encuentra en transmisiones dentadas, cojinetes, motores de pistones, etc. (Castillo y Toapanta, 2019)

#### 2.2.4.3. Desgaste

El desgaste es un proceso en el que existe un daño o pérdida de material presente en todo momento entre superficies en contacto y en movimiento relativo, produciendo una fricción. (Chávez et al, 2022, pág. 3)

Existen diferentes tipos de desgastes como son:

- a) Desgaste por adherencia: se presenta cuando existe rozamiento entre dos piezas que no están separadas completamente por una película lubricante. En todas las superficies hay muchas asperezas micrométricas, la unión de dos superficies se hace por picos en los que se aplican presiones considerables. (Tormos, 2005, págs. 43-45)

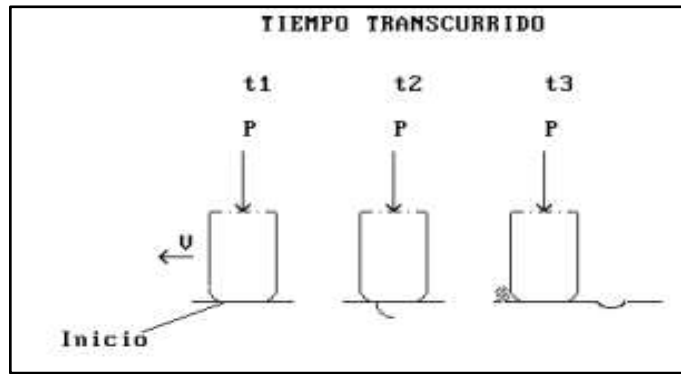


**Ilustración 2-4:** Superficies parcialmente en contacto

Fuente: Popov, 2020, pág. 339.

- b) Desgaste por fatiga superficial: se encuentra este tipo de desgaste en mecanismos en los que intervienen el rozamiento de rodamientos, ya que la repetición cíclica de diferentes esfuerzos puede producir grietas de fatiga, por lo general las grietas aparecen debajo de la superficie con máximo esfuerzo cortante. (Tormos, 2005; Díaz del Castillo, 2007)

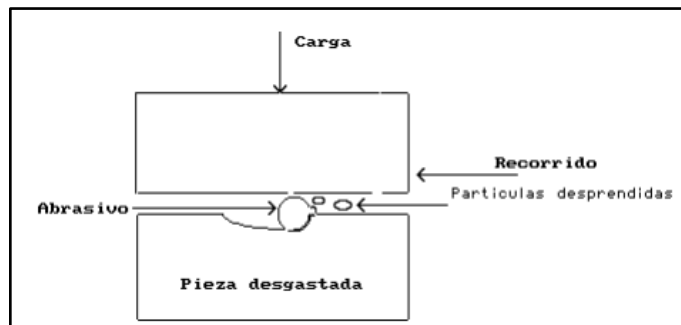
Lo anterior mencionado se puede visualizar en la ilustración 2-5.



**Ilustración 2-5:** Desgaste por fatiga superficial

Fuente: Díaz del castillo, 2007, pág. 13.

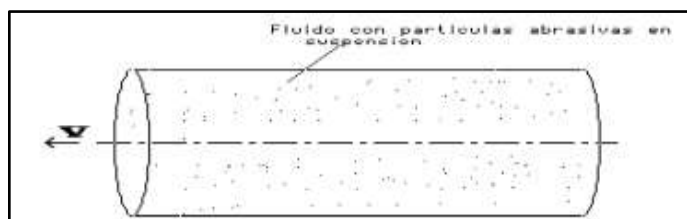
- c) Desgaste corrosivo: este es producto de la interacción con productos químicos ácidos, que se producen cuando se combustión. (Tormos, 2005, pág. 44)
- d) Desgaste abrasivo: es el desprendimiento de material que ocurre cuando una superficie dura o rugosa se desliza sobre una superficie más suave. (Tormos, 2005, págs. 44-45)



**Ilustración 2-6:** Desgaste abrasivo por partículas

Fuente: Díaz del Castillo, 2007, pág. 12.

- e) Desgaste erosivo: este desgaste es similar al abrasivo, en este caso es la energía cinética de las partículas la que produce las deformaciones por pérdida de material. (Tormos, 2005, pág. 45)



**Ilustración 2-7:** Desgaste erosivo por el flujo de partículas abrasivas

Fuente: Díaz del Castillo, 2007, pág. 12.



En general podemos encontrar uno o varios tipos de desgastes presente en un solo elemento del MCI como se puede observar en la siguiente tabla:

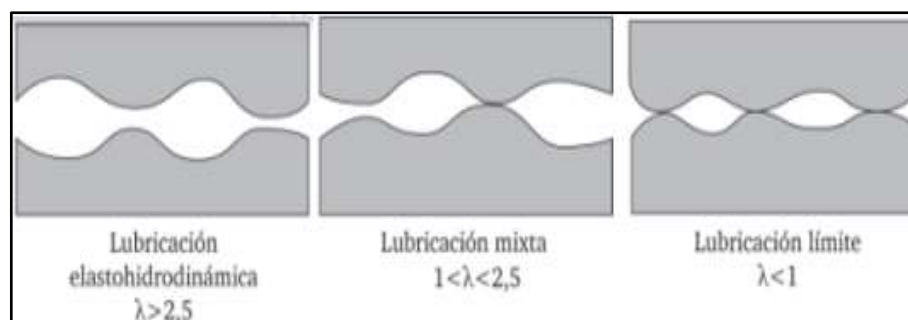
**Tabla 2-4:** Tipos de desgastes presentes en el MCI

Parte		Adhesivo	Corrosivo	Abrasivo	Fatiga	Erosivo
Camisas, segmentos, pistones		X	X	X		
Levas, propulsores, balancines		X	X	X	X	
Vástago - guía de válvulas		X		X		
Apoyo-asiento de válvula				X		
Engranajes de distribución		X		X	X	
Muñones			X	X	X	X
Cojinetes			X	X		X
Órganos auxiliares	B. de aceite	X		X	X	
	B. combustible	X		X	X	
	B. inyección	X		X	X	

Fuente: Tormos, 2005, pág. 46.

### 2.2.5. Lubricación

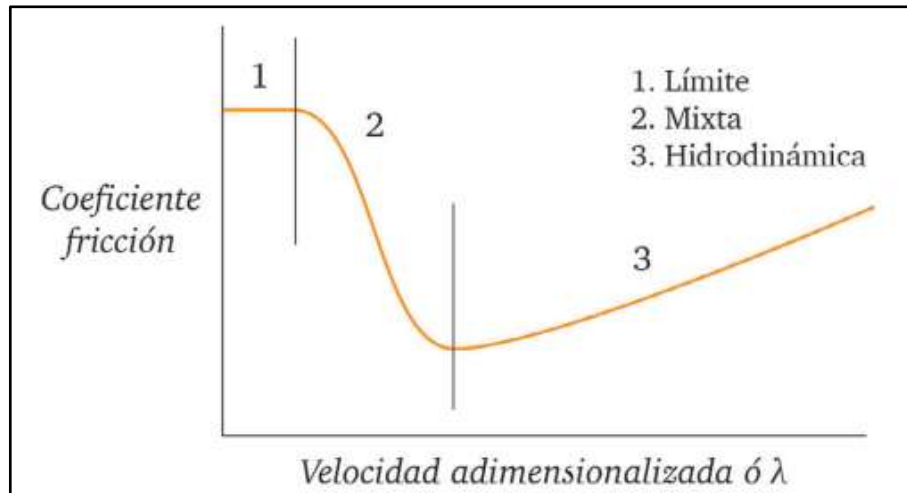
La lubricación permite la disminución de fricción existente entre superficies cuyo movimiento es relativo y se mantienen en contacto para reducir el desgaste, la lubricación en un MCI puede ser de forma estática en forma de grasas o dinámica en forma de lubricantes que pasan a través de conductos. Al combinar el movimiento relativo existente entre dos superficies en contacto con un lubricante y la velocidad de desplazamiento se consiguen diferentes tipos de lubricación como: lubricación límite, mixta e hidrodinámica. (Cañaverall, 2021, pág. 13)



**Ilustración 2-8:** Tipos de lubricación

Fuente: Cañaverall, 2021, pág. 13.

Teniendo en cuenta la curva de Stribeck (1902) se puede determinar el coeficiente de fricción ( $\mu$ ) en función al espesor de la película ( $\lambda$ ) o también de la velocidad. (Blázquez, 2016, pág. 15)

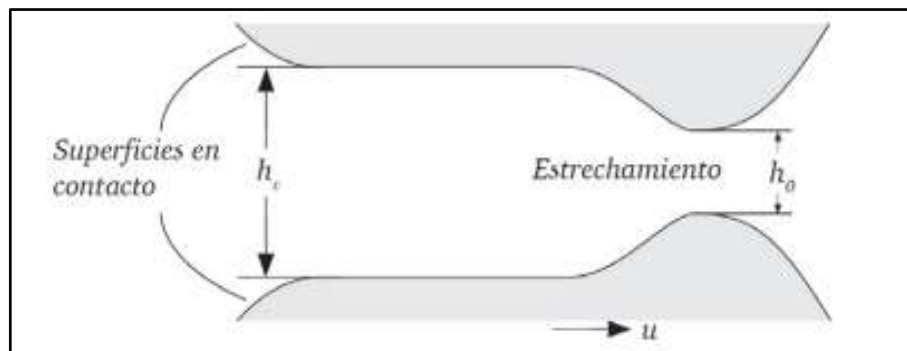


**Ilustración 2-9:** Curva de Stribeck

Fuente: Blázquez, 2016, pág. 15.

### 2.2.5.1. Lubricación hidrodinámica

Es el estado deseado para funcionamiento, se caracteriza por tener pequeñas zonas de contacto de entre 0,1 a 0,5 mm<sup>2</sup> y presiones altas de 0,5 a 4 GPa. (Blázquez, 2016, pág. 19)

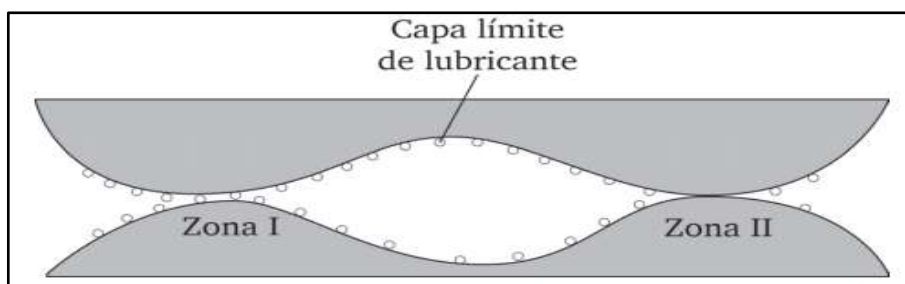


**Ilustración 2-10:** Espesor de película en lubricación hidrodinámica

Fuente: Blázquez, 2016, pág. 19.

### 2.2.5.2. Lubricación límite

La película de lubricante que se encuentra entre dos superficies no es capaz de cubrir toda la zona en contacto, por lo cual las asperezas soportan una gran carga, por esta razón se producen micro soldaduras y existen presiones altas, reducción de velocidades y baja viscosidad del lubricante. (Blázquez, 2016, pág. 23)



**Ilustración 2-11:** Lubricación límite

Fuente: Blázquez, 2016, pág. 23.

### 2.2.5.3. Lubricación mixta

Es un punto intermedio entre la lubricación límite y la hidrodinámica, aquí existe contacto directo de forma ocasional pero también existe un espesor de película lubricante que mantiene separadas las superficies. (Díaz del Castillo, 2007, pág. 9)

### 2.2.6. Motores de combustión interna (MCI)

**Tabla 2-5:** Clasificación del MCI

CLASIFICACION DEL MCI	
<b>Tipo de vehículo</b>	Automóvil, camión, autobús, avioneta, marina, sistema de energía portátil, generación de energía.
<b>Configuración básica del motor</b>	Motores alternativos subdivididos por disposición de cilindros: en línea, en V, radiales, opuestos. Motores rotativos: Wankel y otras geometrías
<b>Ciclo de trabajo</b>	Ciclo de cuatro tiempos: aspiración natural, sobrealimentado y turboalimentado. Ciclo de dos tiempos: cárter depurado, sobrealimentado y turboalimentado.
<b>Diseño y ubicación de válvulas</b>	Ciclo de cuatro tiempos: cabeza en I, cabeza en L, con dos, tres o cuatro válvulas por cilindro y control de válvula fijo o variable, válvulas rotativas. Ciclo de dos tiempos: puertos de barrido cruzado, puertos de barrido en bucle, lumbreras o válvulas de admisión y escape en diferentes extremos del cilindro.
<b>Combustible</b>	Gasolina, diésel, gas natural, gas licuado de petróleo (GLP), metanol, etanol, hidrógeno, combustible dual.
<b>Método de preparación de la mezcla</b>	Carburación o inyección de combustible, inyección monopunto, inyección multipunto, inyección de combustible en los puertos de admisión, inyección de combustible directamente en el cilindro del motor.
<b>Método de ignición</b>	Encendido por chispa en motores donde la mezcla aire-combustible en el cilindro es uniforme y en motores de carga estratificada donde la mezcla no es uniforme; encendido por compresión localmente de la mezcla aire-combustible en el cilindro en motores diésel.
<b>Diseño de la cámara de combustión</b>	Cámara abierta: disco, cuña, hemisférica, bañera, radial. Cámara dividida cámaras auxiliares pequeñas y grandes como: cámaras de turbulencia, antecámaras.
<b>Método de control de carga</b>	Variación del flujo de combustible y aire juntos para que la composición de la mezcla no cambie esencialmente, control del flujo de combustible solo, una combinación de estos.
<b>Método de enfriamiento</b>	Enfriado por agua, enfriado por aire, sin enfriar (que no sea por convección natural y radiación)

Fuente: Heywood, 2018, pág. 7.

Realizado por: Silva, J & Simba, M. 2024.

Los MCI producen potencia mecánica usando combustible al quemarse dentro de los cilindros del motor, aportando la energía química necesaria para ello. (Heywood, 2018, pág. 1)

Los motores de combustión interna usados para fines de automoción en la actualidad son dos, encendido por chispa los cuales usan un ciclo Otto y aquellos que usan Diesel o de encendido por compresión, ofreciendo gran aplicación en el campo automotriz durante varios años. (Heywood, 2018, pág. 1)

### 2.2.6.1. Arquitectura del MCI

En “Motores de Combustión Interna” (Rovira y Muñoz, 2015, pág. 3) el nombre que mantienen los MCI es debido al estado térmico que se genera gracias al fluido que evoluciona en el interior del motor. Los motores de combustión interna o MCI mantienen un sistema por el cual se genera trabajo mecánico que se mantiene relacionado con el tiempo, o sea, la potencia, siendo variable pero continua a través del tiempo, en estos motores el momento que se genera en el eje no es continuo, por eso se requieren varios elementos que permiten un funcionamiento aceptable. (Andrade y Bautista, 2019, pág. 5)

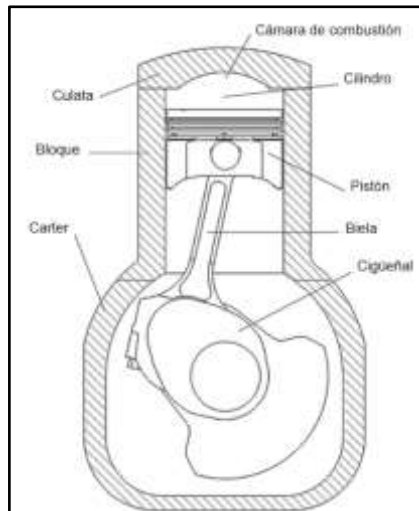
De acuerdo con (Andrade y Bautista, 2019), los MCI se comprenden como un sistema cilindro-pistón el cual es accionado mediante el sistema biela manivela, este proporciona un grado de libertad el cual sirve para la acción del motor. (pág. 5)

Los componentes básicos se los puede considerar como se observa en la tabla 2-6 e ilustración 2-12 a continuación.

**Tabla 2-6:** Elementos básicos del MCI

<b><i>Pistón</i></b>	Elemento con movimiento rectilíneo alternativo. Es el émbolo del mecanismo biela-manivela y aumenta o disminuye el volumen del cilindro.
<b><i>Biela</i></b>	Elemento que, junto con la manivela, convierte el movimiento lineal del pistón en el rotativo del cigüeñal.
<b><i>Cigüeñal</i></b>	Elemento rotativo del motor. En él se integra la manivela del mecanismo.
<b><i>Cilindro</i></b>	Es el volumen que aloja el fluido de trabajo.
<b><i>Cámara de combustión</i></b>	Es el volumen que queda por encima del pistón al finalizar la compresión y donde básicamente tiene lugar la combustión de la mezcla.
<b><i>Culata</i></b>	Elemento que constituye el cerramiento superior de los cilindros.
<b><i>Bloque</i></b>	Elemento que contiene los cilindros.
<b><i>Cárter</i></b>	Cierre inferior del motor. Contiene el aceite para la lubricación.

Fuente: Rovira y Muñoz, 2015, pág. 4.



**Ilustración 2-12:** Componentes del MCI

**Fuente:** Rovira y Muñoz, 2015, pág. 3.

En la composición del motor no consta tan solo los sistemas cilindro-pistón y biela-manivela, consta de otros elementos los cuales llegan a intervenir en el funcionamiento y sincronización del MCI. (Andrade y Bautista, 2019, pág. 6)

Los componentes se mencionan en la tabla 2-7 a continuación.

**Tabla 2-7:** Componentes del MCI

<b>Árbol de levas</b>	Dispositivo compuesto por un eje central donde se instalan varias levas, las cuales pueden variar en forma y tamaño, y están dispuestas en diferentes ángulos. Su función principal es regular la apertura y cierre de las válvulas de admisión y escape en un motor de combustión alternativa.
<b>Válvulas</b>	Las válvulas se fabrican en aceros especiales mediante fundición y mecanizado, ya que deben resistir temperaturas elevadas. Su función consiste en controlar el flujo de entrada y salida de gases en los conductos de admisión y escape. Estas desempeñan un papel crucial en la combustión de la mezcla de aire y combustible.
<b>Volante de inercia</b>	El volante de inercia es un componente pasivo que agrega inercia al sistema y almacena energía cinética. Continúa girando por inercia cuando se detiene el par motor. el volante se utiliza para suavizar el flujo de energía entre la fuente de potencia y la carga.

**Fuente:** Andrade y Bautista, 2019, págs. 6-7.

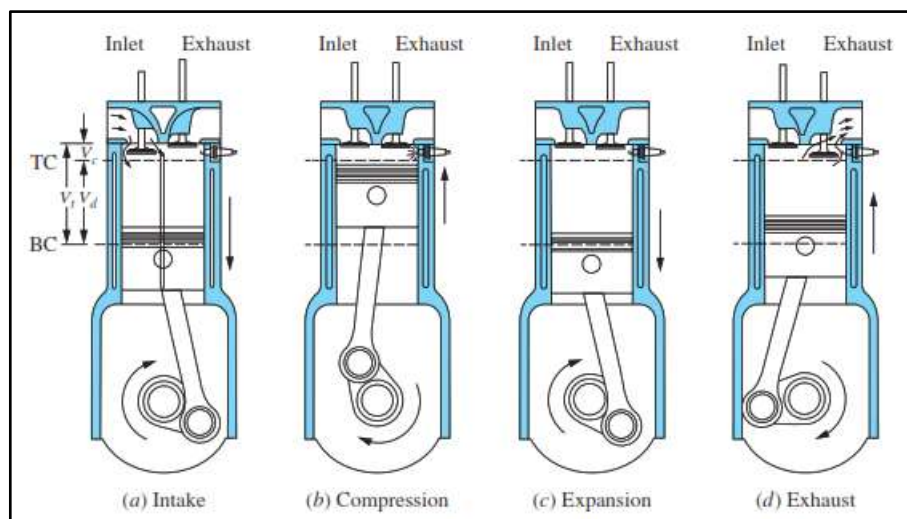
### 2.2.6.2. Fases del MCI de ciclo Otto

Los MCI cuentan con varios ciclos los cuales realizan durante su funcionamiento siendo estos tanto fluidodinámicos como termodinámicos, estos se describen en la tabla 2-8 y la ilustración 2-13.

**Tabla 2-8:** Procesos del MCI ciclo Otto

<b>Proceso de admisión</b>	El pistón comienza desde el PMS dirigiéndose hacia el PMI esto realizándolo con la válvula de admisión abierta, esto lo realiza girando el cigüeñal 180°. En este proceso sucede la entrada de fluido de trabajo, es decir, ingresa la mezcla de aire-combustible al cilindro del motor.
<b>Proceso de compresión</b>	El pistón va desde el PMI al PMS, aquí se realiza la compresión de la mezcla que se encuentra en la cámara. El recorrido lo realiza dando un giro de 180° del cigüeñal mientras las válvulas de escape y admisión están cerradas.
<b>Proceso de combustión</b>	En esta etapa la mezcla que se encuentra en la cámara es encendida mediante una chispa la cual es proporcionada por la bujía así la llama se produce en toda la cámara de combustión.
<b>Proceso de expansión</b>	Debido al proceso de combustión se elevando la presión de la cámara por la liberación de energía producida, la presión mencionada empuja al pistón hacia el PMI.
<b>Proceso de escape</b>	Aquí se abre la válvula de escape y los gases son liberados, al inicio salen con mucha velocidad debido a la diferencia de presión en el interior del cilindro comparada a la atmosfera, luego son empujados por el pistón mientras este viaja hacia el PMS.

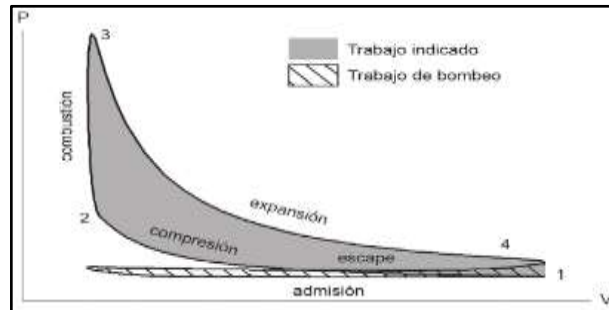
Fuente: Andrade y Bautista, 2019, pág. 7; Rovira y Muñoz, 2015, pág. 4.



**Ilustración 2-13:** Esquema de funcionamiento del MCI

Fuente: Heywood, 2018, pág. 9.

Los motores de cuatro tiempos repiten los procesos cada  $720^\circ$ . Los procesos también pueden representarse con un diagrama P-V, en el que podemos observar cada etapa como se muestra en la ilustración 2-15.



**Ilustración 2-14:** Diagrama p-v del MCI de 4 tiempos

**Fuente:** Rovira y Muñoz, 2015, pág. 17.

### 2.2.6.3. Parámetros principales del MCI

Los parámetros que ocupan mantenerse dentro del funcionamiento del MCI son el punto de inicio para el análisis cuantitativo para lograr determinar los que sería la potencia, el par motor, rendimiento o consumo estas siendo las prestaciones del motor. (Rovira y Muñoz, 2015, pág. 19)

Parámetros operativos: se define como los que dan las condiciones en que funcionará el motor en las diversas condiciones que le sean permitidas, ya que trabaja en una sola condición como en potencia máxima y en diversas, siempre dependiendo de las cuales se le impongan. (Rovira y Muñoz, 2015, pág. 21)

- El régimen de giro ( $n$ ) se conoce como la velocidad de giro con la que se mantiene el motor, está midiéndose en lo que es RPM en unidades de frecuencia. (Rovira y Muñoz, 2015, pág. 21)
- El grado de carga establece para cada ( $n$ ) el punto de funcionamiento, siendo que, si un motor gira a un cierto régimen llega a generar una mayor o menor potencia, esto depende de la carga que se le aplique. (Rovira y Muñoz, 2015, pág. 21)

Parámetros de funcionamiento; tanto para el ciclo termo dinámico como para el motor existen diferentes aspectos los cuales son mantenerse en los siguientes parámetros:

- Los parámetros indicados solo consideran el ciclo termodinámico, evaluado como una pérdida mecánica. (Rovira y Muñoz, 2015, pág. 23)

- Los parámetros efectivos consideran el motor en su totalidad, así se enfocan en las pérdidas mecánicas producidas en el motor. (Rovira y Muñoz, 2015, pág. 24)
- En el rendimiento y consumo, se relaciona todo lo necesario para el funcionamiento del motor, parámetros respectivos los cuales se mantiene durante su trabajo. (Rovira y Muñoz, 2015, pág. 25)

**Tabla 2-9:** Rendimiento y consumo del MCI

<b>Parámetros indicados</b>	<b>Trabajo indicado</b>	El trabajo neto por en el ciclo termodinámico fundamental, incluye los procesos de compresión, combustión y expansión. Es el trabajo indicado por cada unidad de masa en un cilindro.
	<b>Presión media indicada</b>	Es la presión constante a la cual el fluido debe trabajar para lograr el trabajo indicado, manteniendo la misma relación de compresión volumétrica.
	<b>Potencia indicada</b>	Es la potencia que se obtiene a partir del trabajo indicado realizado durante un régimen de rotación específico. En motores de 4 tiempos, un trabajo realizado cada 2 revoluciones.
<b>Parámetros efectivos</b>	<b>Potencia específica</b>	La potencia específica es el cociente entre la potencia de un motor y su capacidad total de desplazamiento.
	<b>Carga térmica</b>	Aunque es similar a la potencia específica, la carga térmica no depende del tamaño del motor, así se puede utilizar para comparar tecnológicamente motores de diferentes tamaños.
	<b>Presión media efectiva</b>	Es el promedio de todas las presiones instantáneas que se generan durante la fase de combustión y expansión de los gases en el cilindro. Está determinada por la cantidad de llenado del cilindro y la eficiencia en la utilización del combustible introducido en el motor.
<b>Rendimiento y consumo</b>	<b>Rendimiento indicado</b>	Es el cociente entre la potencia indicada y el calor aportado por el combustible.
	<b>Rendimiento efectivo</b>	Es la división de potencia efectiva desarrollada por el motor entre la cantidad de calor suministrada por el combustible. Los MEP suelen tener rendimientos máximos a plena carga entre 0,25 y 0,30, los motores de encendido por chispa, el rendimiento disminuye cuando operan a cargas parciales debido a la forma en que se regula la carga.
	<b>Rendimiento mecánico</b>	Es el cociente entre la potencia efectiva y la indicada.
	<b>Consumo específico efectivo</b>	Es la cantidad de combustible necesaria en gramos por kilovatio-hora, para generar una unidad de potencia desarrollada. Indica la cantidad de combustible requerida para producir 1 kWh de energía. Este valor es inversamente proporcional al rendimiento efectivo del motor.
	<b>Sistema SAE</b>	En este sistema americano, se excluyen todos los accesorios que puedan consumir energía.

Realizado por: Silva, J & Simba, M. 2024.



**Tabla 2-10:** Parámetros indicados y efectivos del MCI

<b>Parámetros indicados y efectivos</b>	<b>Trabajo</b>	El trabajo neto por en el ciclo termodinámico fundamental, incluye los procesos de compresión, combustión y expansión. Es el trabajo indicado por cada unidad de masa en un cilindro.	$W = \int_{PMI \text{ admisión}}^{PMI \text{ escape}} p \, dv$ <p>Donde:                      W es el trabajo realizado,                      P es la fuerza producida en el pistón,                      PI es la presión indicada en ese instante                      dv es la distancia recorrida en el cilindro siendo la variación de volumen.</p>
	<b>Presión media</b>	Es la presión constante a la cual el fluido debe trabajar para lograr el trabajo indicado, manteniendo la misma relación de compresión volumétrica.	$pme = \frac{Wi}{Vt} [bar]$ <p>Donde:                      w es el trabajo indicado,                      Vt es el volumen de los 4 cilindros en metro cúbicos.</p>
	<b>Potencia</b>	Es la potencia que se obtiene a partir del trabajo indicado realizado durante un régimen de rotación específico. En motores de 4 tiempos, un trabajo realizado cada 2 revoluciones.	$Ni = \frac{Wi}{t \text{ ciclo}} [watts]$ <p>Donde:                      Ni es la potencia medida en el cilindro,                      Wi siendo el trabajo que se obtiene de una medición dentro de la cámara de combustible                      t ciclo es la fracción del 120/RPM.</p>
	<b>Torque</b>	Es la fuerza de rotación que ejerce el pistón sobre el cigüeñal. Su nomenclatura es Libras fuerza-pies (Lb ft) o Newton-metros (Nm). Cuanto más par tiene un motor, puede impulsar al automóvil con más carga.	$T = \frac{Ni}{\omega} [N. m]$ <p>Donde:                      T es el esfuerzo torsional medido en la cámara de combustión,                      Ni es la potencia indicada en wattios                      ω es la velocidad angular en rad/s.</p>
	<b>Consumo específico de combustible</b>	Es la cantidad de combustible que se utiliza para moverse, afectado directamente al costo operativo, se lo puede medir en litro por kilómetro (l/Km) o en kilogramos por kilovatio hora (kg/Kw h)	$gef = 3,6 \frac{Vc * pc}{t * Ni} \left[ \frac{g}{kWh} \right]$ <p>Donde:                      gef es el consumo de combustible                      Vc es el volumen de combustible consumido (cm<sup>3</sup>),                      pc siendo la densidad del combustible                      t es el tiempo transcurrido (s)                      Ni es la potencia efectiva.</p>

Realizado por: Silva, J & Simba, M. 2024.

#### 2.2.6.4. *Curvas características*

Conocemos bien que las curvas características que expresan las capacidades del motor las cuales nos permiten estudiar su comportamiento, se describen en función de las RPM. (Andrade y Bautista, 2019, pág. 8)

Dentro de estas tenemos tanto torque, potencia y consumo específico siendo estas las más conocidas y utilizadas para determinar el actuar de un motor o las características que este posee.

Para la obtención de las curvas se realizan pruebas dentro de un banco dinamométrico esto realizándose con aceleración constante y velocidad variable. (Andrade y Bautista, 2019, pág. 9)

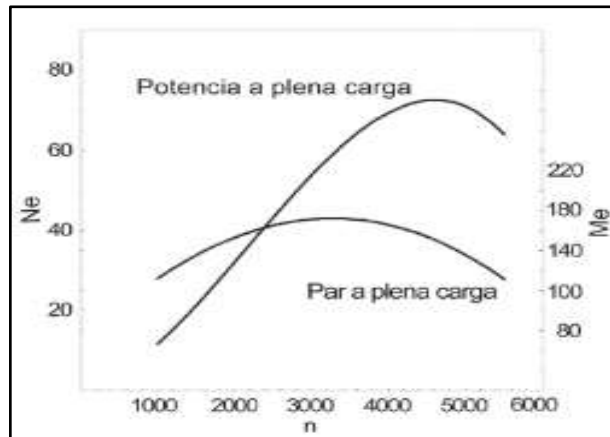
Estas pruebas se pueden hacer en dinamómetros para vehículos o para el motor dependiendo de lo requerido.

- a) Torque y potencia: las curvas tanto de torque y potencia mantienen una relación de dependencia en cuanto al régimen de giro del motor. Según el régimen de giro del motor, la potencia mantiene un aumento gradual hasta un determinado punto, el momento de potencia máxima el motor, igual que la potencia aumenta hasta cierta cantidad de RPM, su aumento gradual del punto más bajo hasta llegar al máximo. (Rovira y Muñoz, 2015, pag. 28)

Su relación conlleva que al crecer la potencia gradualmente en relación al torque, este al llegar a su punto más álgido durante un tiempo y mantenerse de manera constante la potencia obtiene un crecimiento de manera progresiva, por otra parte al caer la curva de torque de forma ligera, la potencia sigue constante debido al aumento del régimen de giro del motor, por ultimo cuando el torque cae completamente la potencia también lo hará conjuntamente, el torque disminuye debido al incremento del giro siendo que las perdidas por rozamiento aumentan y el rendimiento volumétrico disminuye. (Andrade y Bautista, 2019, pág. 10)

Así, el motor es más eficiente en el punto máximo de torque, encontrándose a dos terceras partes de la velocidad de giro, así en los motores al incrementar el rango de revoluciones se logra estirar la cueva de torque y tener más eficiencia para el motor.

Lo anterior mente mencionado lo podemos determinar y observar en la ilustración 2-15.



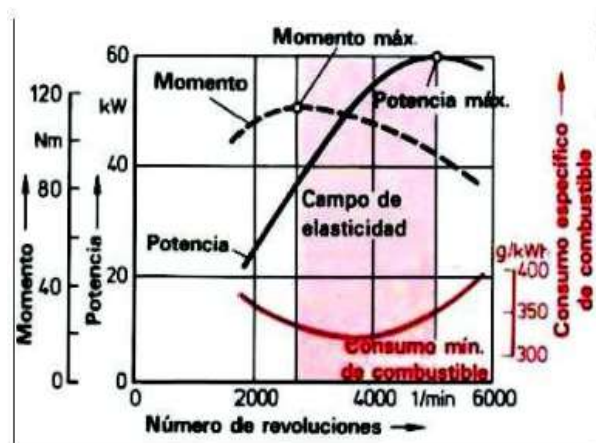
**Ilustración 2-15:** Curvas torque-potencia del MCI

Fuente: Rovira y Muñoz, 2015, pág. 250.

- b) Consumo específico: la curva de consumo se encuentra junto con las gráficas de torque y de potencia, que se representan como está en la ilustración 2-16. Los puntos de la gráfica nos muestran el consumo que mantiene el MCI en cada régimen de giro. (Rovira y Muñoz, 2015, pág. 255)

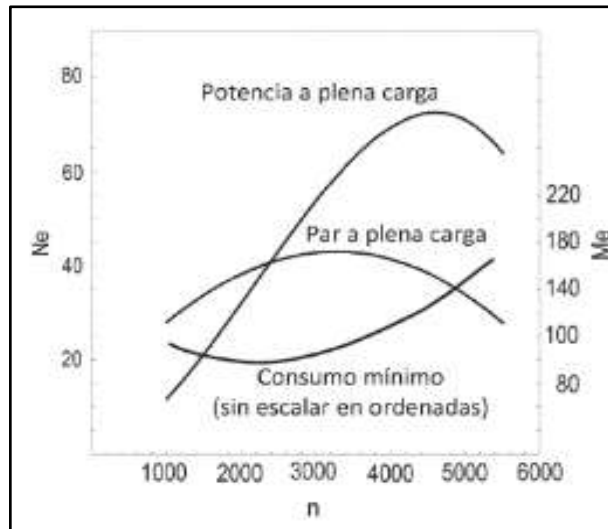
En la ilustración 2-16 se observa cómo entre el torque y potencia máxima se encuentra el campo elástico en el que la potencia se compensa gracias al torque en crecimiento, y cuando el torque disminuye la potencia se compensa por el aumento de las RPM en el motor. (Andrade y Bautista, 2019, pág. 9)

Al observar la gráfica se ve que en este campo está además el punto de consumo mínimo de combustible con el que puede trabajar el motor.



**Ilustración 2-16:** Curvas características del MCI

Fuente: Andrade y Bautista, 2019, pág. 9.



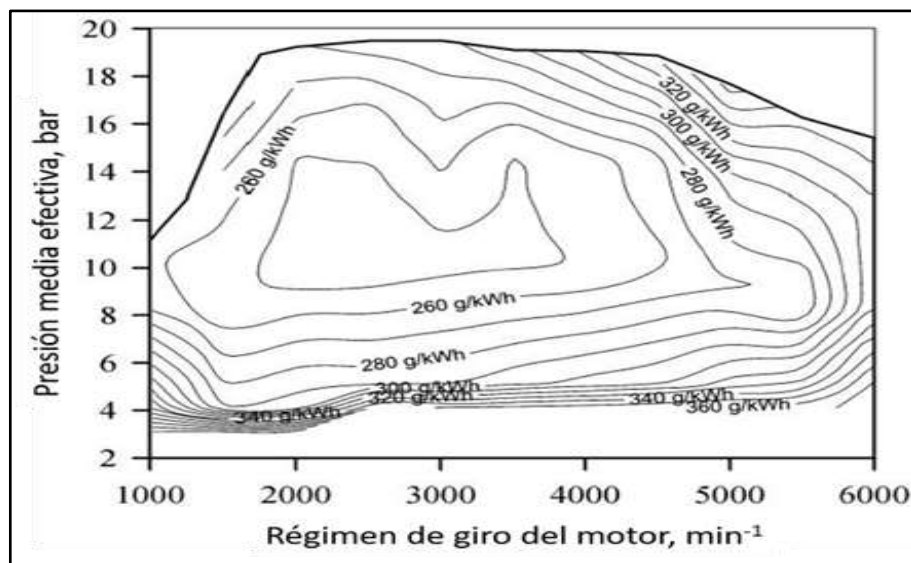
**Ilustración 2-17:** Curvas de torque, potencia y consumo del MCI

Fuente: Rovira y Muñoz, 2015, pág. 255.

Los puntos de operación del consumo no llegan a plena carga, sino como vemos en la ilustración 2-17, este es inferior al máximo de carga, aunque las curvas de torque y potencia son equivalentes en un régimen determinado, la curva del consumo no lo será. (Rovira y Muñoz, 2015, pág. 255)

#### 2.2.6.5. Mapa de consumo de combustible (Diagrama de contornos)

Estos mapas muestran el rendimiento en términos de eficiencia, relacionando los factores de consumo de combustible, la presión media efectiva y las revoluciones.



**Ilustración 2-18:** Curvas de consumo de motor.

Fuente: Payri y Desantes, 2011, pág. 69.

### 2.2.6.6. Combustibles

Hoy en día el petróleo sigue siendo la materia prima utilizada para la producción de combustibles utilizados en el transporte, la gasolina o nafta y el diesel que son producidos a partir del petróleo son los predominantes aún hoy en día, siendo que este contiene una gran cantidad de diferentes derivados que van desde gases, líquidos y hasta ceras. (Heywood, 2018, pág. 44)

En la actualidad siguen predominando en gran medida lo que son gasolina y diesel, también existen otras alternativas de combustible que son aptas para el uso en motores, aunque algunos aún se encuentran en desarrollo, siendo las variantes más conocidas como son el GLP o gas licuado de petróleo, metanol e hidrogeno.

En la tabla 2-11 se observan los combustibles con mayor uso actual y que son gasolina y combustible, aquí se aprecia una explicación rápida de estos.

**Tabla 2-11:** Características combustibles gasolina y diesel

COMBUSTIBLES	
Tipos	Características
<i>Gasolina o nafta</i>	Es una mezcla de hidrocarburos destilados livianos (parafinas, naftenos, olefinas, aromáticos).
	Tiene una densidad de energía química muy alta; energía por unidad de masa o volumen.
	La energía química se almacena en los enlaces carbono-hidrógeno y carbono-carbono y se libera como energía térmica cuando estos se oxidan al quemar el combustible con aire.
	Las propiedades más críticas de la gasolina son su volatilidad y su resistencia a la autoignición durante la última parte del proceso de combustión.
	El combustible debe contener suficientes componentes altamente volátiles para garantizar un arranque en frío rápido y con bajas emisiones.
<i>Diesel</i>	Es un producto primario del proceso de destilación del petróleo crudo.
	Es una mezcla de parafinas, naftas, olefinas y aromáticos; estos tienen pesos moleculares más altos que este tipo de hidrocarburos en las gasolinas.
	La densidad del combustible diesel es importante porque los sistemas de inyección de combustible están diseñados para entregar un volumen de combustible mientras que las características de combustión dependen del combustible/aire en proporción de masa.
	El combustible diesel debe tener características de autoignición apropiadas, es decir, encenderse espontáneamente lo suficientemente rápido, debido a que los motores que lo usan son de encendido por compresión.

Realizado por: Silva, J & Simba, M. 2024.

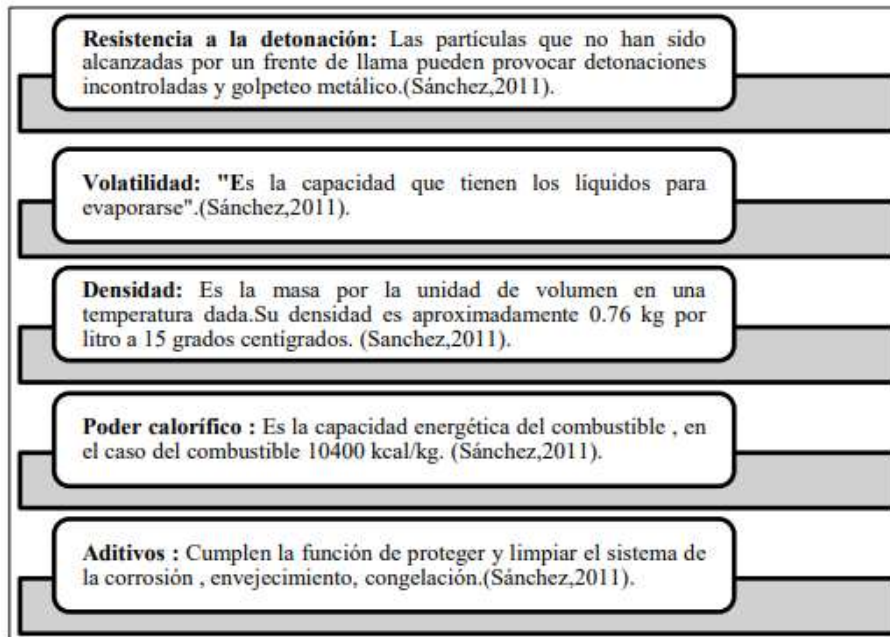
Observando la tabla 2-12, 2-13 y 2-14 se procede con la explicación de los combustibles alternativos que se pueden utilizar para el funcionamiento de un motor con menor frecuencia.

**Tabla 2-12:** Combustibles alternativos

<b>COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS</b>	
<b>Tipos</b>	<b>Características</b>
<b>Gas licuado de petróleo</b>	Consiste en hidrocarburos C3 y C4, se produce ya sea por su eliminación del gas natural durante el proceso de extracción del gas, o por la refinación del petróleo crudo.
	La fracción de GLP utilizada en el transporte varía ampliamente desde un porcentaje más o menos en los Estados Unidos hasta niveles significativamente más altos en algunos otros países.
	En los vehículos, el GLP se almacena como líquido comprimido a presiones entre unos 10 y 15 bar, en depósitos cilíndricos a bordo, a temperatura ambiente.
	Los componentes del GLP tienen índices de octanaje más altos o resistencia a los golpes que la gasolina, por lo que se pueden usar relaciones de compresión del motor más altas.
	Cuando se mezcla con el aire, el volumen que ocupa el combustible se vuelve más significativo, por lo que desplaza más aire que el vapor de gasolina y da como resultado una pérdida modesta de potencia.
<b>Etanol y metanol</b>	Alcoholes, como etanol C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O y metanol CH <sub>4</sub> O, se puede utilizar como combustibles para motores.
	El etanol se puede producir a partir de biomasa; El metanol se puede producir a partir del gas natural.
	Estos alcoholes contienen oxígeno, por lo que su contenido de energía química o poder calorífico por unidad de masa es inferior al de los hidrocarburos (0,45 para el metanol y 0,61 para el etanol).
	Estos alcoholes se pueden usar como combustibles independientes o mezclados con gasolina en fracciones altas o bajas.
	Tanto el etanol como el metanol tienen índices antidetonantes u octanos significativamente más altos que la gasolina.
<b>Hidrogeno</b>	Se puede producir a partir de gas natural, carbón, biomasa y electrolizando agua.
	Actualmente, el hidrógeno para uso industrial se produce en gran medida a partir del reformado con vapor de gas natural.
	El almacenamiento de hidrógeno a bordo de los vehículos es un gran desafío.
	Cuando se mezcla con aire en proporciones estequiométricas, el hidrógeno en la mezcla de aire y combustible ocupa alrededor del 30 % del volumen de la mezcla.
	Sus límites de inflamabilidad son amplios (4 a 75% por volumen en condiciones atmosféricas estándar) y su temperatura de autoignición es inferior a la de la gasolina.
	Sin embargo, tiene una mayor resistencia a los golpes y un octanaje mayor que las gasolinas.

Realizado por: Silva, J & Simba, M. 2024.

Los combustibles manejan características que deben cumplir, para dar un funcionamiento óptimo a los MCI, siendo estos los siguientes presentados en la ilustración 2-19.



**Ilustración 2-19:** Características de los combustibles

Fuentes: Cárdenas, 2021, pág. 24.

En esta investigación, los combustibles a considerar para el desarrollo serán las gasolinas o naftas, ya que requiere el motor para las pruebas, debido a esto en los combustibles están tanto la gasolina extra como super, comercializadas para vehículos de combustión interna.

La gasolina se define como una mezcla que contiene hidrocarburos relativamente volátiles y que no contiene agua, sedimentos ni materiales sólidos en suspensión, siendo está destinada para uso de motores de combustión interna de encendido por chispa. (Guzman et al., 2018, pág. 209)

El motor está en la región sierra y sus condiciones de trabajo se rigen a este ambiente, y se mencionó por ello se usarán gasolinas que se comercializan en esta región, específicamente en Riobamba, y la gasolina de 85 octanos llamada Extra y de 92 octanos conocida como Super. (INEN, 2021, pág. 3)

Según la norma INEN estos combustibles son medidos según el método RON, la cual se llega a determinar mediante el desarrollo de ensayos en laboratorios mientras el motor se encuentre a baja velocidad mientras la mariposa de aceleración se encuentra abierta por completo, este es el número de octanos que se presenta al público. (Cárdenas, 2021, pág. 25)

Los requisitos de los combustibles tanto extra como super se muestran en los anexos M y N.

### 2.2.6.7. Determinación consumo específico

De acuerdo con (Nunige, 2018), para determinar el consumo de combustible, debido a la crisis de petróleo que surgió durante los años 70 se desarrollaron normas las cuales permitían esto. (pág. 7)

Estas muestran métodos por los que se puede definir un estándar en vez de cotejar consumo y emisiones de los vehículos, por lo que se clasifican los vehículos dependiendo su eficiencia energética y niveles de contaminación. (Nunige, 2018, pág. 7)

Métodos de determinación: existen varios métodos por los que se puede determinar el consumo de un vehículo, así que se pueden dividir en pruebas de laboratorio y dinámicas.

Así tenemos varios métodos definidos, los cuales son tanto para procesos de laboratorio y mediciones dinámicas:

- Método Gravimétrico: donde su forma de actuar es medir el cambio en la masa del depósito y así determinar el volumen de combustible que consume en la prueba, esto sucede mientras fluye desde el tanque hacia el motor así cambiando el peso para determinar el consumo. (Nunige, 2018, págs. 7-8)
- Método volumétrico: en este se pueden hallar dos tipos, siendo por medida directa de flujo usando un flujómetro, así que este registrara el promedio de combustible, es necesario estimar la densidad del combustible para este tipo, mientras que para la segunda utilizando el OBDII conectado a la ECU, utilizando la señal de demanda para el combustible por parte del módulo de control, se puede usar de igual manera como estimación del consumo. (Nunige, 2018, pág. 8)
- El balance de carbono es uno de los más utilizados, ya que permite medir consumo y emisiones a la vez, pero requiere de un equipo de análisis de gases, la mayor ventaja de este método se puede realizar con un solo equipo. (Nunige, 2018, pág. 9)

De las tres mencionadas anterior mente se tomó como método a utilizar el gravimétrico debido a que se presta para pruebas de laboratorio, además que se mantenía el equipo pertinente para este procedimiento dentro de las instalaciones de la ESPOCH, siendo así que se reduce costos comparado que si se usara cualquiera de los otros dos en especial por parte del método de balance de carbono ya que su costo por requerimiento de equipo especializado es muy alto.



## 2.2.7. Descripción de elementos

### 2.2.7.1. Motor

Para la investigación realizada el motor que se tomo fue el Chevrolet Aveo de 1.6 litros, debido a su fácil accesibilidad, debido a que se encuentra en las instalaciones institucionales, las características del MCI correspondiente se muestran a continuación.

**Tabla 2-13:** Datos técnicos del motor

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

Fuente: Cusanguá y Asqui, 2021, pág. 33.

### 2.2.7.2. Banco dinamométrico

Este equipo permite el estudio del comportamiento de los motores de combustión interna y mide la energía entregada a través de un sistema de transmisión. El dinamómetro genera una carga de torque opuesta al torque entregado por el motor. (Guanga y Ugsiña, 2022, pág. 24)

El dinamómetro BORGHI & SAVERI FA 200SP que se muestra en la ilustración 2-20, es un quipo fabricado en Italia con una potencia de 100 KW que trabaja con corrientes parasitas. Este dinamómetro es de motor y permite la realización de pruebas exactas de potencia ya que evita las perdidas por transmisión, fricción o roturas. (Cusanguá y Asqui, 2021, pág. 25)

La funcionalidad de este es efectuada gracias al uso de una fuente de poder la cual suministra de energía al equipo para su funcionamiento, además de en conjunto con un programa desarrollado por investigaciones anteriores realizadas en este permite la obtención de las curvas características como son torque y potencia, estas sirviendo en el desarrollo del trabajo pertinente, al no saber si los datos obtenidos llegarán a obtener una fiabilidad del 100% estos se apoyarán en conjunto con datos de un dinamómetro homologado lo cual permitirá generar un factor de corrección obteniendo así datos más congruentes con el desarrollo del tema a realizar.



**Ilustración 2-20:** Banco dinamométrico

**Realizado por:** Silva, J & Simba, M. 2024.

Principio de funcionamiento; su funcionamiento se basa en la inducción de corriente para generar campos electromagnéticos producidos en los bobinados del tambor de freno, para producir un par de fuerza del motor. En este principio se generan las corrientes de Foucault que se oponen al movimiento rotativo del disco polar y convierten la energía, por este motivo al trabajar con altas cargas y velocidades el tambor de freno requiere un sistema de refrigeración ya sea por agua o aire. (Guanga y Ugsiña, 2022, pág. 25)

#### *2.2.7.3. Equipo de medición de consumo de combustible*

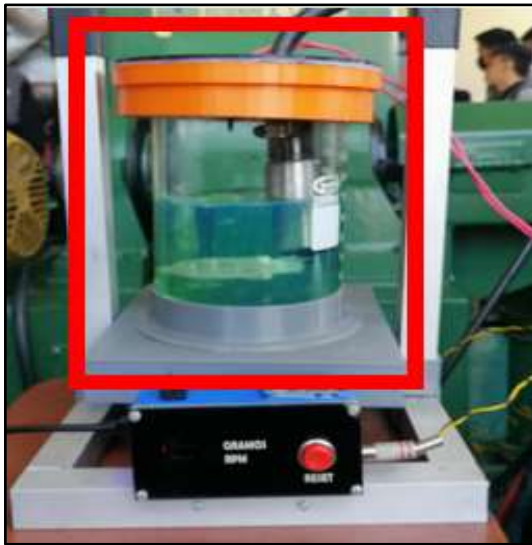
Se utilizó un equipo conformado por una balanza digital, recipiente con escala de medición, bomba de combustible y mangueras hidráulicas.

- a) Balanza digital: la balanza utilizada para el método gravimétrico de consumo de combustible posee un sistema que registrará la diferencia de peso existente, ilustración 2-21.
- b) Recipiente: este recipiente presentado en la figura hace la función de depósito de combustible con su escala en litros, ilustración 2-22.
- c) Bomba de combustible: es la misma bomba de combustible indicada por el fabricante para el Aveo 1,6 L, ilustración 2-23.



**Ilustración 2-21:** Balanza digital

Realizado por: Silva, J & Simba, M. 2024.



**Ilustración 2-22:** Recipiente de combustible

Realizado por: Silva, J & Simba, M. 2024.



**Ilustración 2-23:** Bomba de combustible

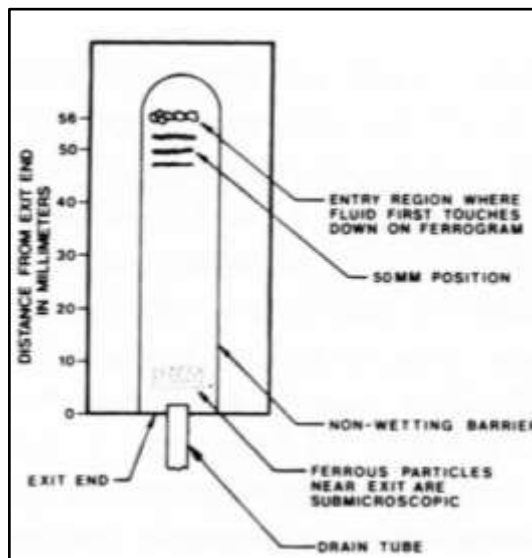
Fuente: Bosch, 2023.

#### 2.2.7.4. Ferrografía de laboratorio T2FM 500

El laboratorio de ferrografía es un equipo para analizar aceites, este es utilizado para preparar ferrogramas, nos permite la obtención de ferrogramas de manera eficiente. Sus prestaciones permiten un desarrollo intuitivo.

Los ferrogramas se logran obtener mediante el uso de un campo magnético de alto gradiente para atraer y retener las partículas que se encuentren en la muestra, esto durante el momento en que la muestra llega hacia el portaobjetos. (TRICO, 2008, pág. 8)

En la ilustración 2-24 se logra observar el patrón de deposición que se da en un ferrograma, haciendo referencia a la posición a lo largo de un ferrograma empezando en el extremo de salida. La entrada donde el fluido contacta con el portaobjetos por primera vez está aproximadamente a 56mm del extremo de salida. (TRICO, 2008, pág. 8)



**Ilustración 2-24:** Deposición de partículas en un ferrograma

Fuente: TRICO, 2008, pág. 8.

Las partículas más grandes de metal se depositan en la región de entrada debido a que la fuerza magnética es proporcional al volumen, debido a esto las partículas más grandes se depositan primero, debido a esto al llegar a la posición de los 50mm ya se han eliminado las partículas magnéticas mayores de aproximadamente 2 o 3  $\mu\text{m}$ , siendo estas las que expresan un desgaste importante durante el uso del motor, de los 50 mm hacia abajo las partículas son menores a los 2  $\mu\text{m}$  manteniendo un nivel de desgaste normal o aceptable. (TRICO, 2008, pág. 8)

Mientras que las partículas que se encuentran a la salida se encuentran en un tamaño aproximado de 0,5  $\mu\text{m}$  estas siendo inferiores al límite de resolución del microscopio. (TRICO, 2008, pág. 9)

Es un sistema completo de análisis que se utiliza para separar e interpretar partículas contaminantes y de desgaste presentes en aceites lubricantes usados, fluidos hidráulicos, refrigerantes y combustibles. Este sistema incluye varios componentes esenciales:

- a. Microscopio bicromático Olympus BX51: Permite observar las partículas capturadas en los ferrogramas y realizar un análisis detallado. (Spectro Scientific, 2018)

El equipo consta de la parte mecánica siendo el pie la cual nos da la estabilidad y su parte óptica la cual mantiene como parte los tubos porta lentes que, estos en su interior contienen prismas que desvía la luz que baña la muestra hasta llegar a nuestros ojos, incluye sistemas de corrección a infinito UIS (Universal Infinity System), acepta la tecnología en fluorescencia o el DIC (Differential Interference Contrast). (Sisalime, 2016, pág. 23)

Las especificaciones y características se muestran en la tabla 2-17 y 2-18.

**Tabla 2-14:** Características BX 51 Olympus

<b>CARACTERISTICAS MICROSCOPIO BX 51 OLYMPUS</b>
Luz transmitida desde la base con ajuste de foco. Lámpara halógena de 12 V/100W.
Integra dos filtros de densidad neutra (ND6, ND25), uno de ellos para balance de la luz día, y una bahía vacía para un filtro de fluorescencia opcional.
Su alta intensidad de luz y el botón de preselección aseguran una óptima iluminación para el trabajo fotográfico.
Estativo en forma de "Y" que permite ajustarlo a las necesidades del usuario para un fácil acceso a sus controles, previendo también una gran estabilidad.
El diseño modular y el sistema óptico UIS permiten el fácil intercambio de accesorios sin comprometer la calidad de la imagen.
El amplio campo de visión de 22mm reduce el tiempo de observación.
Imágenes de amplio campo de visión, brillo, nítidas y con elevado contraste son posibles gracias a la utilización de los objetivos universales UIS.
Condensador universal de 8 posiciones que permite observación continua sobre todos los rangos de magnificación 1.25X - 100X para uso en campo claro, campo oscuro, contraste de fase, polarización y contraste de fase diferencial DIC (Nomarski).

**Fuente:** Sisalima, 2016, págs. 23-24.

**Realizado por:** Silva, J & Simba, M. 2024.

**Tabla 2-15:** Especificaciones microscopio BX 51 Olympus

ESPECIFICACIONES BX 51 OLYMPUS		
Estativo	Sistema óptico	Sistema óptico universal UIS
	Foco	Movimiento vertical de la platina: 25mm con limitador de parada. Ajuste de tensión para los controles y soporte de la platina. Controles de ajuste de foco ultra sensitivos (mínima graduación micrométrica en incrementos de 1 $\mu$ m).
	Iluminador	Iluminación tipo Koehler para luz transmitida. Lámpara halógena de 12V/100W (pre-centrada). Botón de preselección de la intensidad. Indicador luminoso de alta intensidad. Filtros incluidos (LBD-IF, ND6, ND25, opcional).
Revólver porta objetivos		Intercambiable, quintuple invertido/séxtuple/séxtuple fijo.
Tubo de observación	Gran campo [F.N. 22]	Binocular, inclinado 30° y trinocular, inclinado 30°. Binocular ajustable, inclinado 5° - 35°. Binocular ergonómico, inclinado 0° - 25°.
	Super gran campo [F.N. 26.5]	Trinocular, inclinado 24°.
Platina mecánica		Superficie cerámica con mandos coaxiales a la derecha o a la izquierda; mecanismos de rotación y ajuste de tensión de los mandos.
Condensador		Acromatizo abatible (N.A. 0.9), 1.25x - 100X (abatible: 1.25X - 4X) y acromatizo aplanático (N.A. 1.4), 10X - 100X. Contraste de fase, campo oscuro (N.A. 1.1), 4X - 100X.

**Fuente:** Sisalima, 2016, pág. 24.

**Realizado por:** Silva, J & Simba, M. 2024.



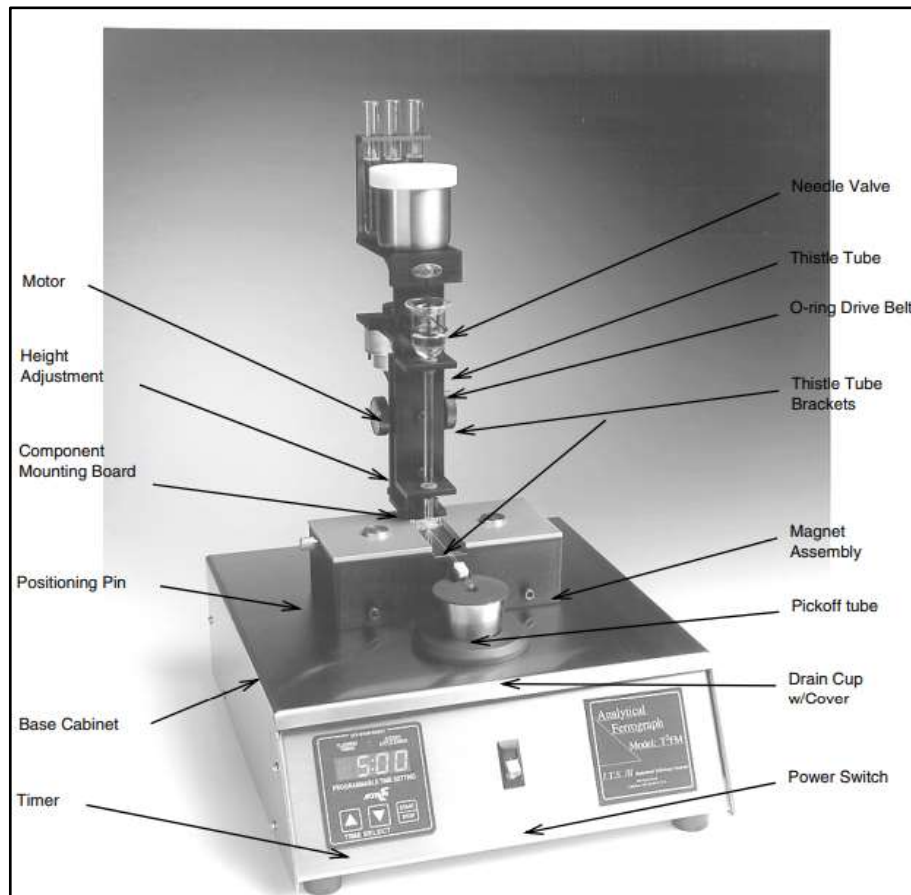
**Ilustración 2-25:** Microscopio BX 51 Olympus

**Fuente:** Sisalima, 2016, pág. 23.

- b. Desarrollador de ferrogramas T2FM: Se encarga de generar los ferrogramas, que son láminas especiales utilizadas para capturar las partículas presentes en la muestra, puede separar partículas de hasta 800  $\mu$ m de tamaño, lo realiza de acuerdo con el método al que se rige este

equipo el cual es ASTM D7690-"Práctica estándar para la caracterización microscópica de partículas de lubricantes en servicio mediante ferrografía analítica". (Spectro Scientific, 2018)

El equipo para obtención de ferrogramas se encuentra conformado por los elementos que se muestran en la ilustración 2-26.



**Ilustración 2-26:** Laboratorio de ferrografía T2FM 500

Fuente: Spectro, 2012, pág. 7.

- c. Cámara de video Q color 5 Olympus: Ayuda a capturar imágenes de alta calidad de las partículas para su posterior análisis y documentación. (Spectro Scientific, 2018)

Cuenta con una cámara de 5Mpx lo cual nos ofrece imágenes de alta resolución, estas tomadas con gran detalle y color real para publicaciones o documentos, trabaja a través de conexión Fire Wire para la transferencia de imágenes a alta velocidad, también incluye refrigeración para aplicación con luz baja que exigen mucho más, siendo óptimo para aplicaciones científicas. (Sisalima, 2016, pág. 25)



**Ilustración 2-27:** Q Color 5 Olympus

Fuente: Sisalima, 2016, pág. 25.

Las características se muestran en la tabla 2-20.

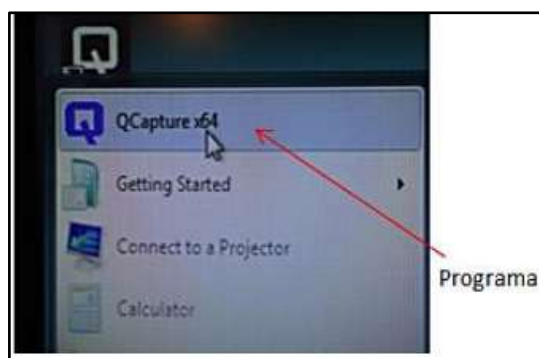
**Tabla 2-16:** Características Q color 5 Olympus

<b>CARACTERÍSTICAS Q COLOR 5 OLYMPUS</b>
Cámara digital Q Color 5 megapíxeles que utiliza la tecnología Fire Wire, con sensor de color Bayer 2/3" con alta resolución de 2580 y 1944 píxeles.
Digitalización de 30/24 bits y opciones de visualización previa.
Control de exposición / integración desde 1.6 ms hasta 18 minutos.
Fire Wire es una marca registrada de Apple Computer.
Unión de píxeles en color; hasta 44 X. Idóneo para visualizaciones previas y
Selección ROI para lograr mayor velocidad de imágenes.
Histograma en vivo para optimizar el rango dinámico.
Ganancia, zoom y compensación en vivo.
Equilibrio de blancos automáticos o equilibrio de colores en vivo de los canales individuales del rojo, azul y verde.
Modelo refrigerado opcional refrigerado Peltier de hasta 10° C menos que la
Software incluido Q Capture Suite.
PC & Mac o compatible.
Controlador TWAIN.
SDK disponible.

Realizado por: Silva, J & Simba, M. 2024.

- d. Software de captura de imágenes Q capture X64: Facilita la interpretación y análisis de las partículas, permitiendo una evaluación precisa y eficiente. (Spectro Scientific, 2018)
- Es un programa sencillo que permite visualizar las imágenes de partículas de manera previa, al instalarlo en la PC se encuentra en la lista de programas, configuraciones para lograr imágenes ideales durante el análisis. (Sisalima, 2016, págs. 26-27)





**Ilustración 2-28:** Q Capture X64

Fuente: Sisalima, 2016, pág. 27.

Una característica más apreciable del laboratorio es su rapidez, ya que no hay tiempo de demora en el proceso. La muestra se bombea a través de un tubo de plástico antes de alcanzar la superficie del ferrograma, lo que garantiza una entrega completa de la muestra y todas las partículas contenidas en él. Además, se logra un enjuague cristalino sin defectos en cada ferrograma, evitando la formación de gotas de aceite que podrían generar halos y distorsionar la observación de las partículas bajo el microscopio. (Spectro Scientific, 2018)

## CAPITULO III

### 3. MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1. Enfoque de investigación

El estudio se enfocó en determinar cómo intervienen en el consumo de combustible, características tribológicas de los aceites como las marcas y la viscosidad en conjunto con los tipos de combustibles. Con el interés de establecer los factores para reducir el consumo y por lo tanto reducir los gastos en cada carga.

Se mantiene en un enfoque cuantitativo porque durante la prueba se obtendrán datos para tratarlos mediante recolección y análisis, respondiendo a las preguntas del estudio y comprobando las hipótesis planteadas, centrándose en la medición numérica.

La investigación se desarrolla en Riobamba a 2754 msnm en un motor Aveo 1,6 L montado en el dinamómetro de motor BORGHI & SAVERI FA 200SP ubicado en el laboratorio de motores de la facultad de mecánica-ESPOCH, con aceites semisintéticos multigrados de marca TOP 1 y GOLDEN BEAR, en viscosidades 10W-30 y 20W-50 por aceite, además de combustibles Super de 92 octanos y Extra de 85 octanos.

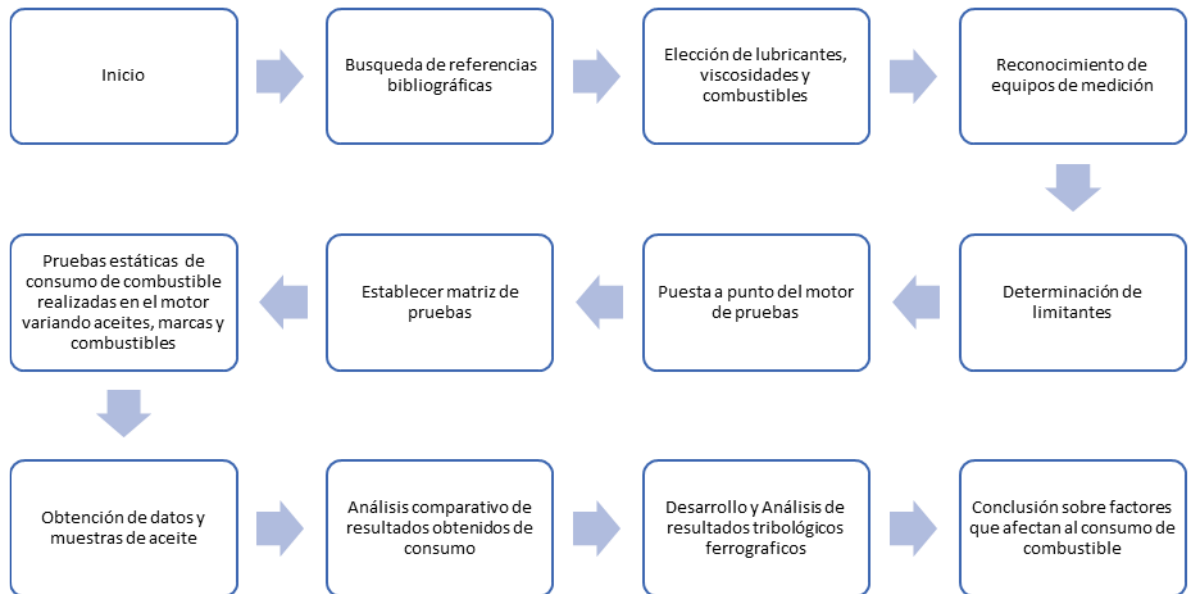
#### 3.2. Nivel de investigación

La investigación es de tipo explicativa y exploratoria, debido a que los resultados obtenidos son valores cuantitativos y permiten su interpretación, de manera que se pueden responder las hipótesis planteadas explicando como intervine el grado de viscosidad y el tipo de combustible en el consumo, llevando a comprobar la causalidad que mantienen.

#### 3.3. Tipo de estudio

Es un estudio experimental ya que se manipularon las condiciones en las que trabajó el motor Aveo 1,6 L que se encuentra fijado en el dinamómetro de motor BORGHI & SAVERI FA 200SP. Los resultados dependían del cambio periódico de aceite y combustible previo a la realización de las pruebas.

### 3.4. Diseño de investigación



#### Ilustración 3-1: Matriz metodológica

Realizado por: Silva, J & Simba, M. 2024.

### 3.5. Identificación de variables

Para esta investigación se tienen variables cuantitativas, las cuales se obtienen con una balanza digital, equipo ferrográfico, el dinamómetro de motor y rodillo.

#### 3.5.1. *Variable dependiente.*

- Potencia
- Torque
- Consumo de combustible
- Desgaste de motor

#### 3.5.2. *Variables independientes.*

- Gasolina Super de 92 Octanos.
- Gasolina Extra de 85 Octanos.
- Aceite marca TOP 1

- Aceite marca GOLDEN BEAR
- Grado de viscosidad 10W30
- Grado de viscosidad 20W50

### **3.6. Planificación**

La planificación fue desarrollada mediante el programa Gantt Project, para la revisar la planificación dirigirse al anexo O.

### **3.7. Métodos, técnicas e instrumentos de investigación**

#### **3.7.1. *Búsqueda de referencias bibliográficas***

Se procedió con la búsqueda de información referente a las variables de estudio, requerimientos y elementos necesarios como son: marcas de aceites lubricantes para motor, viscosidades, combustibles, tribología, método de obtención de consumo y normativas pertinentes, el método de búsqueda fue realizado principalmente extrayendo archivos de fuentes confiables siendo la base de datos bibliográfica de Scopus uno de los medios más importantes para nuestra búsqueda, además de la plataforma digital Google Académico además de varios repositorios como Elibro y otros de distintas universidades. La obtención de referencias se enfocó en la obtención de textos relevantes como son tesis, artículos de revistas, revisiones bibliográficas, libros, entre otros, basándonos en que los documentos sean pertinentes a la rama de estudio como es la ingeniería, también se consideró que los años de publicación se mantengan entre el 2016 hasta 2023, exceptuando los libros, manuales y fichas técnicas los cuales se los tomo con años menores dependiendo el requerimiento, así dando paso a la obtención necesaria de información para el desarrollo adecuado y veras de esta investigación a través de la adecuada revisión bibliográfica.

#### **3.7.2. *Elección de lubricantes, viscosidad y combustible***

Para la elección de lubricantes se procedió con la visita de distintos locales alcanzando un total de 12, los cuales mantienen en su inventario este artículo, procediendo mediante la observación y consulta, se realizó una lista con los aceites de diferentes marcas presentes en el mercado dentro de la ciudad de Riobamba siendo estos los que se muestran en la tabla 3-1.

**Tabla 3-1:** Aceites lubricantes semisintéticos

ACEITIS LUBRICANTES SEMISINTETICOS		
Frecuencia	Nombre	N tiendas que lo mantienen
<b>Mayor</b>	Havoline	10
	Castrol	8
	Valvoline	12
	Golden Bear	8
	Amalie	7
	Mobil	8
	Total	9
	Motul	9
	Liqui Moly	8
<b>Menor</b>	Top 1	6
	Elf	4
	Penzoil	4
	Repsol	5
	Motorex	4
	S-oil	2
	Ursa	3
	Wolver	5

Realizado por: Silva, J & Simba, M. 2024.

Tras realizar la investigación y la obtención del listado, se procedió con la selección de aceites para obtener los dos que servirán para trabajar durante el estudio, además de considerar los aceites más relevantes realizando entre estos una selección tomada en cuenta como parámetros principales lo que son:

- Disponibilidad de marcas en las tiendas.
- Mayor y menor frecuencia, considerada menor a partir de 6.
- Que sean de tipo semisintético.
- Costo de compra para los 4 galones de aceite que se ajuste al presupuesto.

Tras el descarte gracias a los parámetros, obtuvimos una reducción en las marcas para de esta manera teniendo una cantidad menor seleccionar los que nos servirían para el desarrollo de la investigación, haciendo esto por el método aleatorio (muestreo aleatorio simple). Gracias a esto, se optó por TOP1 siendo uno de los que mantiene mejor calidad en el mercado y GOLDEN BEAR, que ha mantenido en auge estos últimos años por sus nuevos productos y buen rendimiento. En cuanto a la viscosidad se estableció la primera según la ficha técnica del Aveo 1,6 L siendo así el 10W30 uno de los utilizados, mientras que para la segunda decidió tomar en

cuenta una viscosidad más alta, tanto para obtener un rango de diferencia y apreciar una variación pertinente de datos. Por último, los combustibles se seleccionaron como los admisibles para el MCI, además de que se comercializan en Riobamba donde está el motor de pruebas, así se obtuvo la gasolina EXTRA con 85 octanos y SUPER con 92 octanos rigiéndose a la normativa INEN que presenta los anexos M y N del marco teórico.

### **3.7.3. Reconocimiento de equipos de medición**

Se observó y reconoció los equipos de trabajo, como son: el dinamómetro Borghi & Saveri FA 200SP funciona con asistencia de un programa llamado LabVIEW para la obtención de datos, una fuente de alimentación DC para la aplicación de corriente al tambor de freno y el sistema de refrigeración; la balanza para medir el consumo de combustible por el método gravimétrico necesita la conexión al sensor CKP y una tarjeta de memoria microSD para guardar datos.

### **3.7.4. Determinación de limitantes**

El estudio se realizó en Riobamba en un motor Aveo 1,6L de la facultad de mecánica-ESPOCH, por lo que se estableció una altura de trabajo a 2750 msnm y el modelo de motor se limita al mencionado o similar. Para usar combustibles se determinó en base a la región, obteniendo tanto EXTRA como SUPER que son como se mencionó antes los comercializados en la ciudad. Nuestra investigación se limita a la comprobación del consumo y el nivel de protección de los aceites, este último sin considerar el cambio de combustible el cual no se consideró para este apartado.

### **3.7.5. Puesta a punto del motor**

Se revisó el funcionamiento de los sensores y actuadores del motor con un multímetro y un osciloscopio, luego se reemplazó los elementos defectuosos y luego se realizó un ABC de motor con cambio de aceite, bujías, cables de bujías y limpieza de inyectores.

Primero se realizó una inspección visual para determinar el estado físico externo del motor, esta inspección permitió hallar una fuga de aceite producto de una fisura en el cárter que luego se cambió, como se observa en la ilustración 3-2.



**Ilustración 3-2:** Cambio de cárter fisurado

**Realizado por:** Silva, J & Simba, M. 2024.

Una vez revisado el estado físico externo del motor, se realizaron pruebas de funcionamiento de fusibles, sensores y actuadores, en dichas pruebas se realizó la medición de continuidad de conexiones, niveles de tensión, señales de trabajo y conectores. Al igual que con el cárter, se reemplazaron los fusibles, sensores y actuadores en mal estado.

Luego de las inspecciones y cambios necesarios, se realizaron pruebas de funcionamiento del motor estudiado, aquí se determinó que era necesaria la rectificación del motor, por lo que se procedió a desmontar, ilustración 3-3.



**Ilustración 3-3:** Desmontaje de motor

**Realizado por:** Silva, J & Simba, M. 2024.

Con el motor ya rectificado se procedió a montarlo en el banco de pruebas y se realizaron pruebas de funcionamiento.

### 3.7.6. *Establecer matriz de pruebas*

Al tener dos marcas de aceite, dos grados de viscosidad y dos combustibles se estableció diferentes combinaciones para determinar cuál de ellas ofrece menor consumo de combustible, obteniendo la siguiente tabla:

**Tabla 3-2:** Matriz de pruebas

<b>N# Combinación</b>	<b>Marca</b>	<b>Grado de viscosidad</b>	<b>Combustible</b>
1	A	1	Extra
2	A	1	Super
3	A	2	Extra
4	A	2	Super
5	B	1	Extra
6	B	1	Super
7	B	2	Extra
8	B	2	Super

Realizado por: Silva, J & Simba, M. 2024.

### 3.7.7. *Tiempo de funcionamiento*

Teniendo en cuenta que el motor montado en el dinamómetro Borghi y Saveri solo cuenta con sensores que permiten su funcionamiento y no tiene un elemento que mida la distancia recorrida. Para realizar las pruebas en las mismas condiciones se estableció una medición del funcionamiento por horas. Para esto se tomó en cuenta que se evaluará dos factores diferentes como lo son el desgaste interno del motor y el consumo de combustible en función de los grados de viscosidad de los aceites.

Se estableció 5 horas de funcionamiento en ralentí y dos pruebas de 0,5 horas para rendimiento, descanso y cambio de combustible del motor junto con el dinamómetro de rodillo, ya que este último solo permite 2 puestas diarias por su nivel de exigencia en altas revoluciones. Además de considerar 2 horas por cambio de aceite.



**Tabla 3-3:** Tiempo de uso por prueba

Marca	Grado de viscosidad	Combustible	# pruebas	Tiempo en Ralentí	Tiempo prueba 1	Tiempo prueba 2	Tiempo total
A	1	1	2	5 H	0,5 H	0,5 H	6 H
A	1	2	2	5 H	0,5 H	0,5 H	6 H
Cambio de aceite							2 H
<b>Tiempo de uso</b>							14 H
A	2	1	2	5 H	0,5 H	0,5 H	6 H
A	2	2	2	5 H	0,5 H	0,5 H	6 H
Cambio de aceite							2 H
<b>Tiempo de uso</b>							14 H
B	1	1	2	5 H	0,5 H	0,5 H	6 H
B	1	2	2	5 H	0,5 H	0,5 H	6 H
Cambio de aceite							2 H
<b>Tiempo de uso</b>							14 H
B	2	1	2	5 H	0,5 H	0,5 H	6 H
B	2	2	2	5 H	0,5 H	0,5 H	6 H
Cambio de aceite							2 H
<b>Tiempo de uso</b>							14 H

Realizado por: Silva, J & Simba, M. 2024.

El tiempo de uso de cada aceite se estableció debido a la cantidad de aceites y pruebas, por lo que el tiempo total de uso es de 14 Horas y el tiempo total de operación del motor fue de 56 horas.

### 3.7.8. *Dinamómetro BORGHI & SAVERI FA 200SP*

Para su uso se debe cumplir varias condiciones las cuales ayudaran con el correcto funcionamiento y una adecuada obtención de datos durante las distintas pruebas, debido que al ser un equipo con años de funcionamiento requiere de una adecuada atención para que no existan errores durante el proceso siendo estos los siguientes:

**Tabla 3-4:** Accionamiento dinamómetro BORGHI & SAVERI

<b>Pasos para accionamiento de dinamómetro</b>	
<b>Paso</b>	<b>Descripción</b>
1	Verificar el adecuado acoplamiento del motor y sus condiciones adecuadas para un correcto funcionamiento, verificando que ningún componente externo provoque algún accidente fortuito o errores para su accionar.
2	Colocar la fuente de energía al panel de control para así proporcionar el voltaje requerido para accionar el componente que ayuda con la obtención de curvas del dinamómetro a través de un interruptor.
3	Verificación del sistema de refrigeración ya que este requiere del mismo para el funcionamiento optimo.
4	Conexión de cables del circuito electrónico para obtención de datos al computador.
5	Ejecución del programa DYNO_BORGHI&SAVERI que se incorpora en el computador.
6	Accionamiento del motor para verificación de correcta obtención de curvas torque y potencia.

Realizado por: Silva, J & Simba, M. 2024.

### 3.7.9. *Dinamómetro DYNOCOM*

El dinamómetro de rodillos DYNOCOM se utilizó para obtener curvas características de un vehículo con el mismo motor usado en las pruebas de laboratorio para así mediante la comparación de los dos obtener un mejor resultado.

En la tabla 3-5 se muestran sus características y en la ilustración 3-4 vemos sus características de manera visual.

**Tabla 3-5:** Características dinamómetro de rodillos

<b>Características DYNOCOM</b>	
<b>Tipo:</b>	Dinamómetro de inercia
<b>Marca:</b>	DYNOCOM INC
<b>Modelo:</b>	AWD 5000 GDFX
<b>Velocidad:</b>	175 MPH
<b>Capacidad:</b>	12000 lbs.
<b>Resultados:</b>	Potencia al motor Torque al motor Potencia a la Rueda Torque a la Rueda

Fuente: DYNOCOM INC, 2023.

Realizado por: Silva, J & Simba, M. 2024.



**Ilustración 3-4:** Dinamómetro de rodillos DYNOCOM

Fuente: DYNOCOM INC, 2023

### 3.7.10. *Balanza digital*

Su funcionamiento se presenta gracias al método gravimétrico, conocido por determinar la masa o concentración de una sustancia al medir su cambio, la diferencia en la masa del combustible al iniciar la prueba y terminarla, por eso se consume el motor, gracias al sensor de presión en la balanza, captando las variaciones mínimas generadas y registrando gracias a la placa digital o Arduino equipada. Tras las pruebas se graba en una memoria SD los datos obtenidos así facilitando su lectura e interpretación para el análisis posterior.

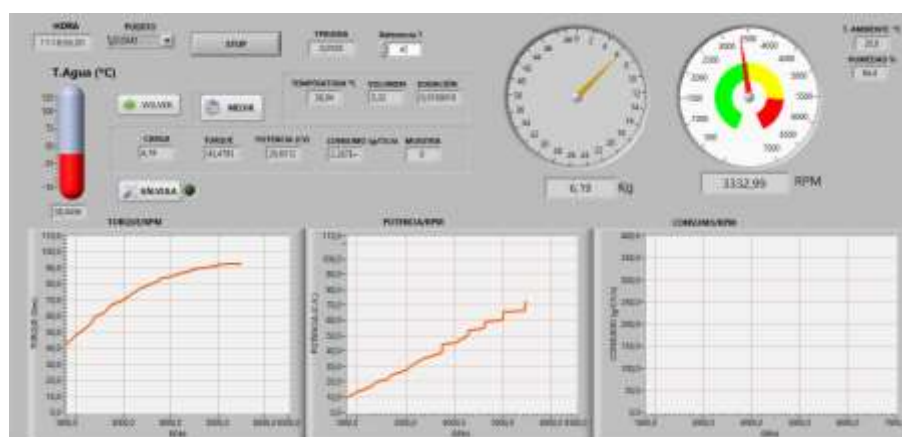
**Tabla 3-6:** Componentes balanza digital

Componentes
Balanza gravimétrica con sensor de presión.
Arduino Nano.
Fuente de alimentación de 5V.
Accesorios para análisis (CPU o laptop).
Recipiente con capacidad de 2L.
Bomba externa Bosch (4 Bares).
Almacenamiento por tarjeta SD.

Realizado por: Silva, J & Simba, M. 2024.

### 3.7.11. Pruebas estáticas de torque, potencia y consumo de combustible realizadas en el motor variando aceites, marcas y combustibles

Las pruebas realizadas para la obtención de los parámetros necesarios de la investigación, se lo realizo como se mencionó con anterioridad utilizando el banco dinamométrico Borghi & Saveri FA 200SP, el cual nos proporcionó las curvas de torque y potencia, esto se realizó aplicando una carga al motor necesaria para obtener las gráficas, se logró esto utilizando la fuente de poder HPS305D con la cual se aplica el voltaje necesario al dinamómetro de  $\pm 8V$ , con esto y en conjunto con el programa de control LabVIEW para el dinamómetro se obtuvo los datos esto llevando al motor hasta su límite con 5000 RPM lo cual permitió datos claros con gráficas de curvas concisas como se muestra en la ilustración 3-5.



**Ilustración 3-5:** Programa Labview toma de datos

Realizado por: Silva, J & Simba, M. 2024.

Para el consumo se aplicó el método gravimétrico para lograr obtenerlo con el uso de la balanza digital que cumple la normativa técnica ecuatoriana INEN-2134 (OIML R 76-1-2013), esta consta

de un circuito eléctrico en conjunto con una pantalla digital lo cual permite obtener datos a través del tiempo mediante el cambio en el peso del combustible consumido el cual se coloca en un recipiente con escala de medición, es decir, mientras se vaya consumiendo el combustible en el recipiente se obtendrá la cantidad que se consume a través del tiempo, constando con bomba de combustible y mangueras hidráulicas, estos elementos permiten realizar una conexión directa al motor para el funcionamiento de la balanza aplicando el método mencionado. El elemento permite grabar los datos a través de la tarjeta electrónica que mantiene un adaptador para la introducción de una tarjeta SD la cual se utilizó, siempre reiniciando el sistema para una nueva toma de datos por cada prueba realizada.

Con los dos procesos mencionados anteriormente en conjunto, el cambio de aceites y combustibles rigiéndonos a la matriz de pruebas que se muestra en la tabla 16, se repitiendo cada parámetro 2 veces realizaron 16 pruebas en total para lograr una obtención de datos más veras y precisa.

#### **3.7.12. *Obtención de datos***

El dinamómetro al igual que la balanza registraron los valores de las pruebas, por otra parte, para el análisis tribológico se extrajo 4 muestras de los aceites utilizados una carga al motor necesaria para obtener las gráficas, se logró esto utilizando la fuente de poder HPS305D con la cual se aplica el voltaje necesario al dinamómetro de  $\pm 8V$ , con esto y en conjunto con el programa de control LabVIEW para el dinamómetro se obtuvo los datos, esto llevando al motor hasta su límite con 5000 RPM lo cual permitió datos claros con graficas de curvas concisas como se muestra en la ilustración 3-5.

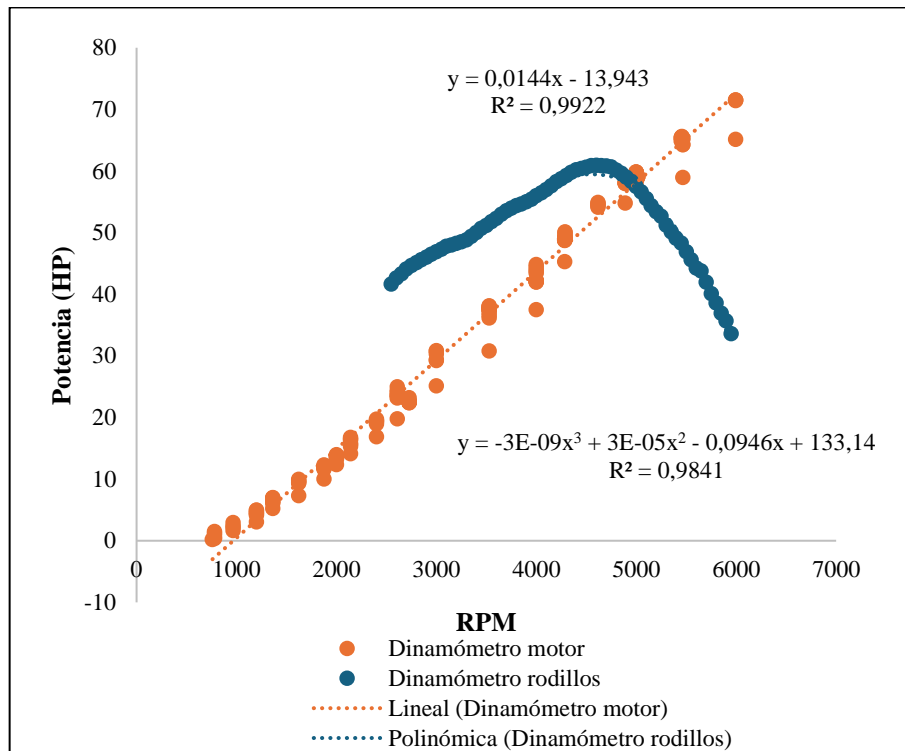
#### **3.7.13. *Obtención del factor de corrección para dinamómetro BORGHI Y SAVERI***

Cada dinamómetro tiene parámetros establecidos para obtener valores, y estos a su vez pueden variar, aunque se trate de un mismo motor. Por lo que hay que tener al menos dos dinamómetros para compararlos y obtener valores promedios.

En la ilustración 3-6 se observó los resultados de la medición de potencia de un mismo motor con diferentes dinamómetros. El dinamómetro Borghi registró valores de forma creciente y el

dinamómetro Dyno inició con valores bajos hasta llegar a un punto máximo y empezó a descender.

El dinamómetro Dyno empieza a registrar valores a partir de 2500 rpm, mientras que el otro dinamómetro registra valores desde 800 rpm. Para poder obtener un factor de corrección más acertado se tomó valores desde 2500 rpm con intervalos de 500 rpm hasta llegar a 5500 rpm.



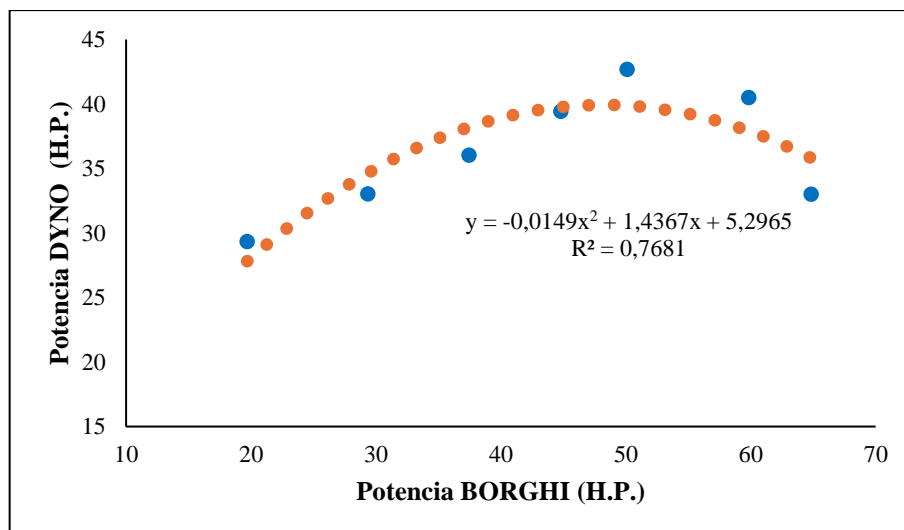
**Ilustración 3-6:** Comparativa dinamómetros, Borghi VS Dyno

Realizado por: Silva, J & Simba, M. 2024.

**Tabla 3-7:** Datos Borghi y Dyno

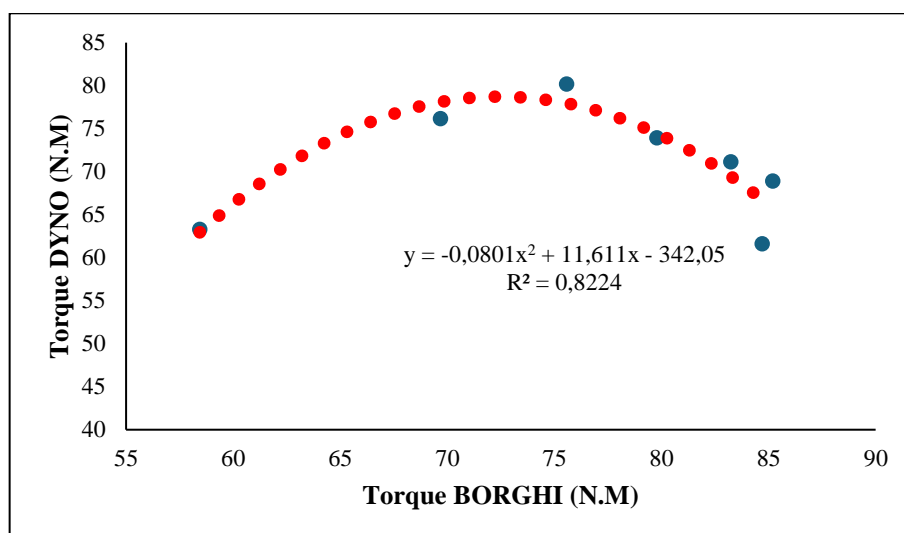
RPM	DINAMÓMETRO DE MOTOR		DINAMÓMETRO DE RODILLO	
	TORQUE (N.M)	POTENCIA(HP)	TORQUE (N.M)	POTENCIA(HP)
2500	58,439	19,694	63,302	29,338
3000	69,677	29,35	76,182	33,03
3500	75,577	37,457	80,211	36,028
4000	79,792	44,8	73,948	39,422
4500	83,233	50,099	71,169	42,68
5000	85,2	59,836	68,926	40,485
5500	84,708	64,853	61,631	33,007

Realizado por: Silva, J & Simba, M. 2024.



**Ilustración 3-7:** Factor de corrección para Potencia

Realizado por: Silva, J & Simba, M. 2024.



**Ilustración 3-8:** Factor de corrección para torque

Realizado por: Silva, J & Simba, M. 2024.

En la ilustración 3-7 y 3-8 se observa las comparativa de potencia Dyno vs potencia Borghi y torque Dyno vs torque Borghi para determinar el factor de corrección tanto para potencia como para torque.

#### 3.7.14. *Obtención muestras de aceite*

Para la obtención de cada una de las muestras de aceite se procedió según la metodología aplicada por Caterpillar, mediante uno de sus métodos, la extracción por vacío.

Para la toma de muestras se requiere una Bomba de Vacío, este método se utiliza cuando no existe una válvula para toma de muestras. Tras este proceso se recomienda el remplazo del tubo empleado tras cada toma realizada, por la posibilidad de que haya hollín y aditivos de aceite que se queden dentro, al realizarlo se procura evitar la contaminación de otras muestras. (CATERPILLAR, 2008)

**Tabla 3-8:** Proceso de intervención para extracción de muestras

<b>Procedimiento para toma de muestras</b>	
PASO A (ANEXO E)	Poner en funcionamiento la máquina para asegurar que el aceite alcance la temperatura óptima de funcionamiento.
	Apague el motor.
	Medir y cortar un tubo nuevo del largo de la varilla para medir nivel de aceite.
PASO B (ANEXO F y G)	Inserte el tubo a través de la cabeza de la bomba de vacío.
	Apriete la tuerca de retención.
	La tubería debe extenderse unos 4 cm más allá de la base del cabezal de la bomba de vacío.
PASO C (ANEXO H)	Instalar una nueva botella de muestreo en la bomba de vacío.
	Insertar el extremo del tubo en el sumidero de fluido.
	No permitir que el tubo toque el fondo del compartimento.
PASO D (ANEXO I y J)	Accionar la manija de la bomba de vacío para crear un vacío.
	Sostenga la bomba en posición vertical, para evitar la contaminación de la bomba.
	Si entra aceite en la bomba, desmontar y limpiar antes de tomar la nueva muestra.
	Llenar la botella de muestra tres cuartas partes de su capacidad.
PASO E	Retirar el tubo del compartimento.
	Retirar la botella de la bomba de vacío y asegurar la tapa de la botella.

**Fuente:** CATERPILLAR, 2008.

**Realizado por:** Silva, J & Simba, M. 2024.

### 3.7.15. *Análisis tribológico de ferrografía para obtención de ferrograma*

Para el análisis de las muestras obtenidas durante la investigación, se lo realizó mediante el ferrógrafo T2FM 500, este equipo nos facilita el uso para el desarrollo y preparación de ferrogramas manteniendo el método ATM D7690, cumple con el desarrollo de ensayos ferrográficos en aceites mediante la aplicación minuciosa de magnetización de partículas ferrosas que se encuentran en las muestras de aceite a las cuales se aplican las pruebas. (Sisalima, 2016, pág. 21)

Para el procedimiento y realización de los ensayos se tomó en cuenta las siguientes condiciones para la obtención adecuada de los ferrogramas, siendo de la siguiente manera:

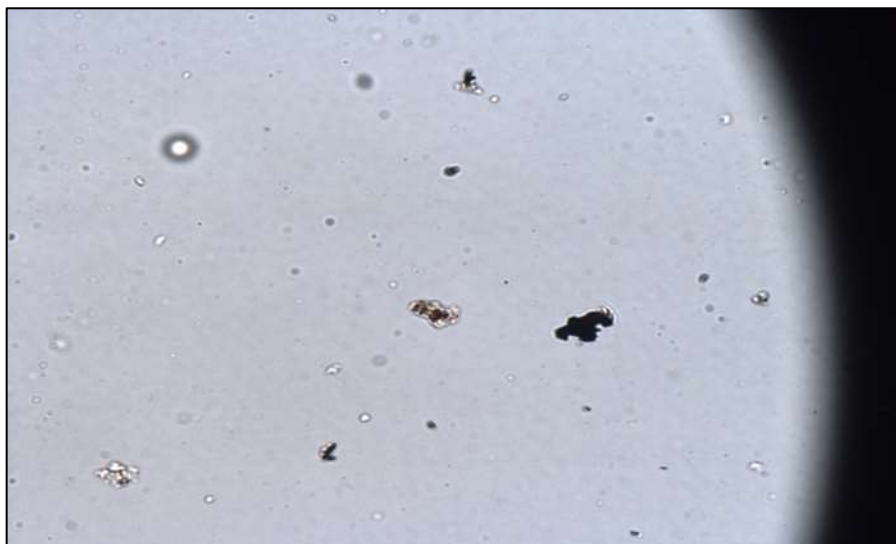
1. Para preparar el equipo se realizó una revisión general, para verificar el estado de los componentes, se requiere la nivelación adecuada del equipo, que mantiene un nivel incorporado para ello.
2. Tras realizar el paso anterior por primera ocasión procedemos con la limpieza del cardo de vidrio que posee el equipo esto con la finalidad de retirar residuos de aceites de procesos anteriores o cualquier impureza que se mantenga dentro esto durante 10 minutos para que sea efectivo, utilizando el propio sistema de limpieza del equipo, para la limpieza ocupa HEPTANO, pero se pueden utilizar otros disolventes en este caso se utilizó ETANOL ABSOLUTO ANHIDRO, ya que este cumple las características que se pide en el manual del ferrógrafo siendo. (Spectro, 2012, pág. 5)
  - El disolvente no puede ser demasiado volátil. Si el solvente se evapora demasiado rápido, las cadenas de partículas en la superficie del ferrograma se saldrán de su lugar por el movimiento del solvente que se seca rápidamente. (Spectro, 2012, pág. 5)
  - Si el solvente se evapora muy lentamente, se pasará demasiado tiempo esperando que se seque el ferrograma. (Spectro, 2012, pág. 5)
  - El disolvente debe estar libre de residuos y partículas. (Spectro, 2012, pág. 5)
  - El solvente no debe afectar los componentes de Viton de las válvulas solenoide y de aguja, o la tubería de conexión de Viton. (Spectro, 2012, pág. 5)
3. Luego de la limpieza pertinente se debe cambiar el portaobjetos donde se obtendrá el ferrograma para así tener una muestra limpia para el estudio.
4. Se usa aceite para el ensayo, aplicado junto a este el disolvente, se realiza una mezcla, la mezcla se presenta en el manual que nos dice que la mezcla se puede hacer de 3 a 1, es decir, tres partes de aceite por una de disolvente, esta es la general para aceites de viscosidad baja, para mayor viscosidad se aplica una mezcla de 3 a 2. (Spectro, 2012, pág. 4)
5. Ya obtenida la mezcla esta se la agitará durante unos minutos, para así permitir que ambos compuestos se mezclen adecuadamente, tras esto se verterá en la parte superior del tubo de cardo, atravesará por el tubo hasta el portaobjetos y luego de unas cuantas horas se obtendrá la muestra para su estudio. (Spectro, 2012, pág. 5)
6. Tras la obtención de la muestra esta se la enjuagará con el mismo sistema de limpieza del equipo, esto durante unos 10 minutos aproximada mente dependiendo del tipo de aceite puede ser un menor tiempo. (Spectro, 2012, pág. 5)



En la investigación se utilizó una mezcla la cual mantenía una relación de 3 a 1 esto por ser aceites no tan pesados los cuales fluyeron con normalidad a través del cardo, esto sin mayor dificultad y obteniendo excelentes muestras para nuestro estudio. La limpieza mínima para cada una fue de 10 minutos los cuales se programaron en el equipo para una confiable limpieza. Estos pasos se realizaron 4 veces, una por cada aceite con el que se trabajó durante el estudio.

### **3.7.16. Evaluación de muestras por microscopio**

Tras la obtención de los ferrogramas, se procedió con la observación de las muestras a través del microscopio BX51 OLYMPUS, así se obtuvieron imágenes las cuales permitieron observar las partículas de desgaste que mantenía cada muestra, se las capturó a través de la cámara digital Q COLOR 5 OLYMPUS en conjunto con el programa Q CAPTURE X64, esto mientras se realizó un análisis exhaustivo, una muestra de las imágenes obtenidas se muestran en la ilustración 3-9.



**Ilustración 3-9:** Fotografía, muestra de aceite a través del microscopio

**Realizado por:** Silva, J & Simba, M. 2024.

### **3.7.17. Normativas y procesos aplicados**

- a) ISO/IEC 17025:2017 (OIML R 76-1-2013): En esta normativa se establece procedimientos a realizar para determinar la eficiencia de equipos de medición, dentro de estos están las balanzas digitales. El procedimiento es medir con la balanza digital un conjunto de pesas con valores fijos y verificar si existen variaciones con respecto a la medición.

- b) ISO 1585: Esta normativa presenta un método para la obtención de la potencia que entrega un motor para vehículos en función de las revoluciones. («ISO 1585:1992 - Vehículos de carretera. Código de prueba del motor. Potencia neta.» 1992, p. 8)
- c) Cat S.O.S SM Services, NTE INEN 2027: Se establece un procedimiento para la correcta obtención de muestras de aceite, sin contaminar las muestras. Estos procedimientos se basan en la normativa NTE INEN 2027 que menciona los parámetros que deben cumplir los aceites para cárter y como manipularlos en caso de necesitar muestras.
- d) ISO 4021: Esta metodología para extraer muestras de aceites y tiempo para tomar un muestreo, expresa que el intervalo para la toma de muestras puede recomendar el fabricante o programa establecido según el funcionamiento del equipo para las pruebas.

## CAPITULO IV

### 4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

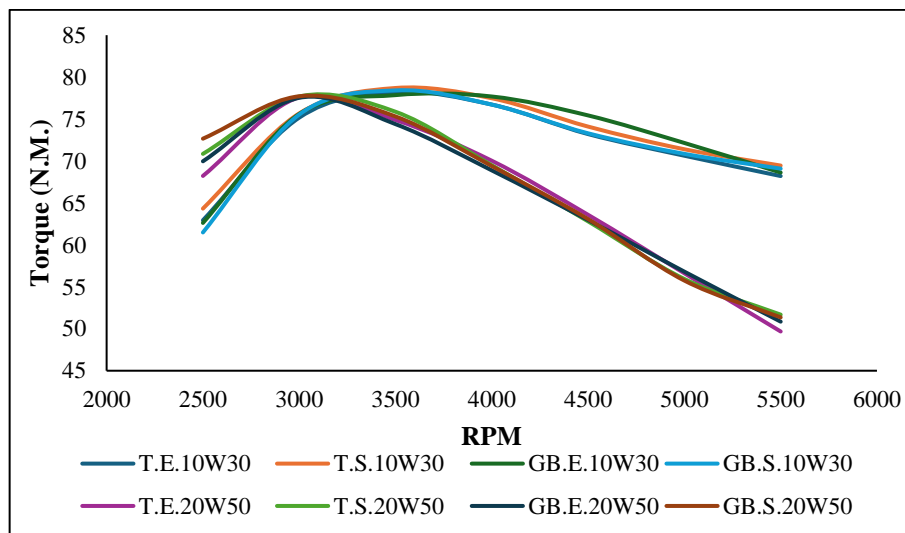
#### 4.1. Procesamiento, análisis e interpretación de resultados

Tras concluir con las pruebas planteadas para obtener datos en las curvas características del MCI, procesando cada uno para analizarlos, clasificamos cada uno de estos datos tanto por grado de viscosidad del aceite y dentro de estos también por marca y tipo de combustible utilizado.

La obtención de muestras correspondientes a cada uno de los aceites que se utilizaron durante el transcurso de la investigación se les realizó un análisis tribológico de ferrografía, dividiéndolos tanto por viscosidad y marca, únicamente para su clasificación en conjunto con su evaluación pertinente.

##### 4.1.1. Efectos de la variación de viscosidad y combustible sobre el torque.

En la ilustración 4-1 se observa una gráfica de Torque (Nm) vs RPM que muestra el comportamiento del Torque al variar la marca del aceite, el combustible y el grado de viscosidad. Además, se nota que los torques máximos se obtienen a diferentes revoluciones, como lo son 3000 y 3500 RPM en aceites 20W50 y 10W30 respectivamente.



**Ilustración 4-1:** Torque vs rpm

Realizado por: Silva, J & Simba, M. 2024.

Los valores obtenidos en la tabla 4-1 muestran los torques (Nm) de cada prueba y se encuentra que los torques máximos son similares ya que varían entre 77,53 Nm y 78,70 Nm, pero las RPM

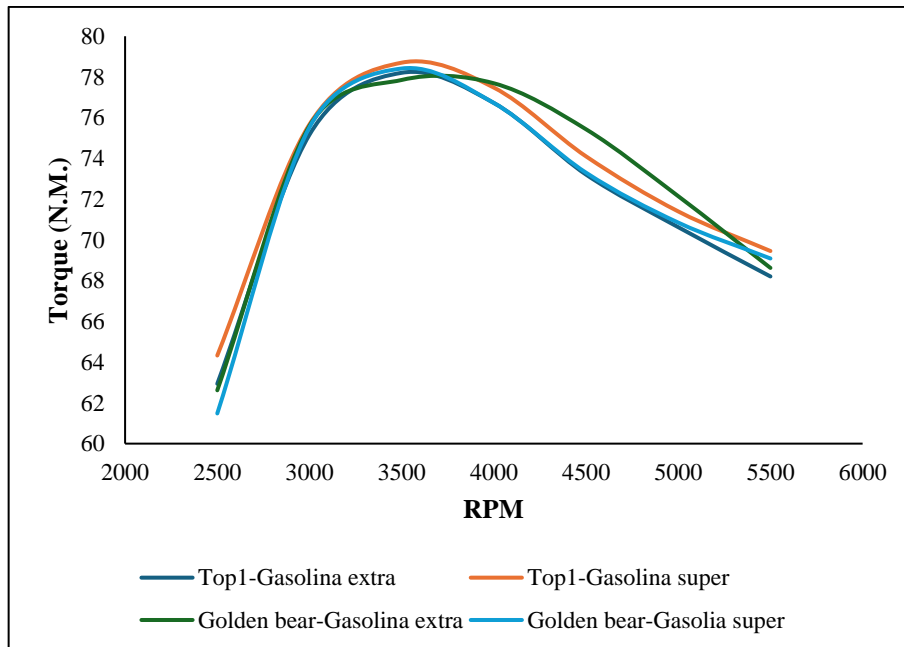
para llegar al torque máximo son diferentes para cada grado de viscosidad, obteniendo que para alcanzar el torque máximo con un aceite 20W50 y 10W30 se necesita 3000 y 3500 rpm respectivamente.

**Tabla 4-1:** Torque vs rpm

RPM	T.E.	T.S.	GB.E.	GB.S.	T.E.	T.S.	GB.E.	GB.S.
	10W30	10W30	10W30	10W30	20W50	20W50	20W50	20W50
2500	62,94	64,32	62,62	61,48	68,22	70,85	69,96	72,66
3000	75,17	75,67	75,6	75,53	77,59	77,69	77,53	77,72
3500	78,21	78,7	77,85	78,41	74,89	75,87	74,39	75,31
4000	76,72	77,48	77,69	76,72	70,03	69,49	68,88	69,39
4500	73,21	74,1	75,43	73,3	63,58	62,8	62,96	63,07
5000	70,63	71,4	72,15	70,85	56,61	55,93	56,81	55,74
5500	68,21	69,46	68,63	69,09	49,67	51,68	50,85	51,36

Realizado por: Silva, J & Simba, M. 2024.

La ilustración 4-2 muestra cómo influye el uso de diferentes combustibles al torque (Nm) con aceites de viscosidad 10W30. Además, en la tabla 4-2 observa que el torque máximo se obtiene cerca de las 3500 RPM con el aceite marca Top1-10W30 utilizando combustible Super, también el porcentaje de diferencia que existe con las otras combinaciones.



**Ilustración 4-2:** Extra vs Super con aceite 10W30

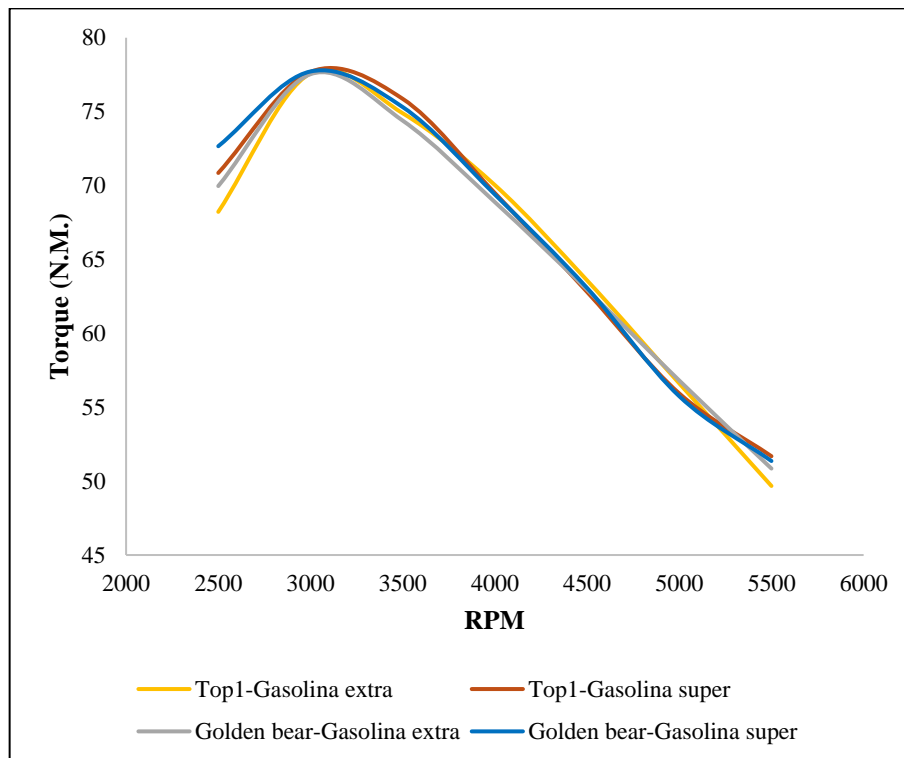
Realizado por: Silva, J & Simba, M. 2024.

**Tabla 4-2:** Torque máximo con aceite 10W30

ACEITE-COMBUSTIBLE	TORQUE MAX. (N.M.)	DIFERENCIA (%)	RPM
TOP1-EXTRA	78,21	0,63	3500
TOP1-SUPER	78,7	-	3500
GOLDEN BEAR-EXTRA	77,85	1,08	3500
GOLDEN BEAR- SUPER	78,41	0,36	3500

Realizado por: Silva, J & Simba, M. 2024.

La ilustración 4-3 muestra que el consumo de combustible aumenta con las RPM para ambos aceites, TOP 1-EXTRA-20W50 y GOLDEN BEAR-EXTRA-20W50. GOLDEN BEAR-EXTRA-20W50 tiene un mayor consumo de combustible que TOP 1-EXTRA-20W50 en todo el rango de RPM, especialmente a bajas RPM. La diferencia de consumo entre ambos aceites se reduce a altas RPM.



**Ilustración 4-3:** Extra vs Super con aceite 20W50

Realizado por: Silva, J & Simba, M. 2024.

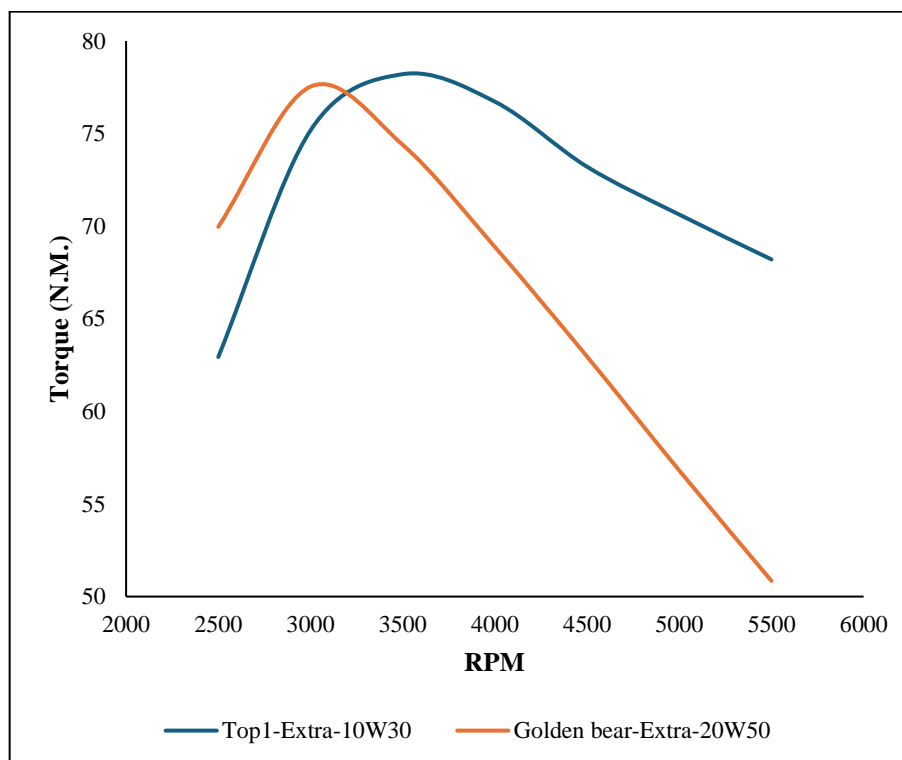
En la tabla 4-3 se logra observar a que revoluciones se logra obtener el mayor torque esto para los aceites 20W50.

**Tabla 4-3:** Torque máximo con aceite 20W50

ACEITE-COMBUSTIBLE	TORQUE MAX. (N.M.)	DIFERENCIA (%)	RPM
TOP1-EXTRA	77,59	0,16	3000
TOP1-SUPER	77,69	0,04	3000
GOLDEN BEAR-EXTRA	77,53	0,24	3000
GOLDEN BEAR- SUPER	77,72	-	3000

Realizado por: Silva, J & Simba, M. 2024.

La ilustración 4-4 muestra que ambos aceites, TOP1-EXTRA-10W30 y GOLDEN BEAR-EXTRA-20W50, tienen un mayor torque a bajas RPM, el cual disminuye a medida que aumentan las RPM. GOLDEN BEAR-EXTRA-20W50 presenta un mayor torque que TOP1-EXTRA-10W30 en todo el rango de RPM, especialmente a bajas RPM. Si bien GOLDEN BEAR-EXTRA-20W50 parece tener un mejor rendimiento, es importante considerar que la gráfica solo muestra datos para dos aceites y se necesitan más estudios para determinar la tendencia general del torque en función de las RPM.



**Ilustración 4-4:** Torque vs rpm según grado de viscosidad

Realizado por: Silva, J & Simba, M. 2024.

Al observar la tabla 4-4 nos damos cuenta de que el torque máximo correspondiente de cada uno de los aceites por grupo de grado de viscosidad y sus respectivos rpm a las cuales se obtiene.

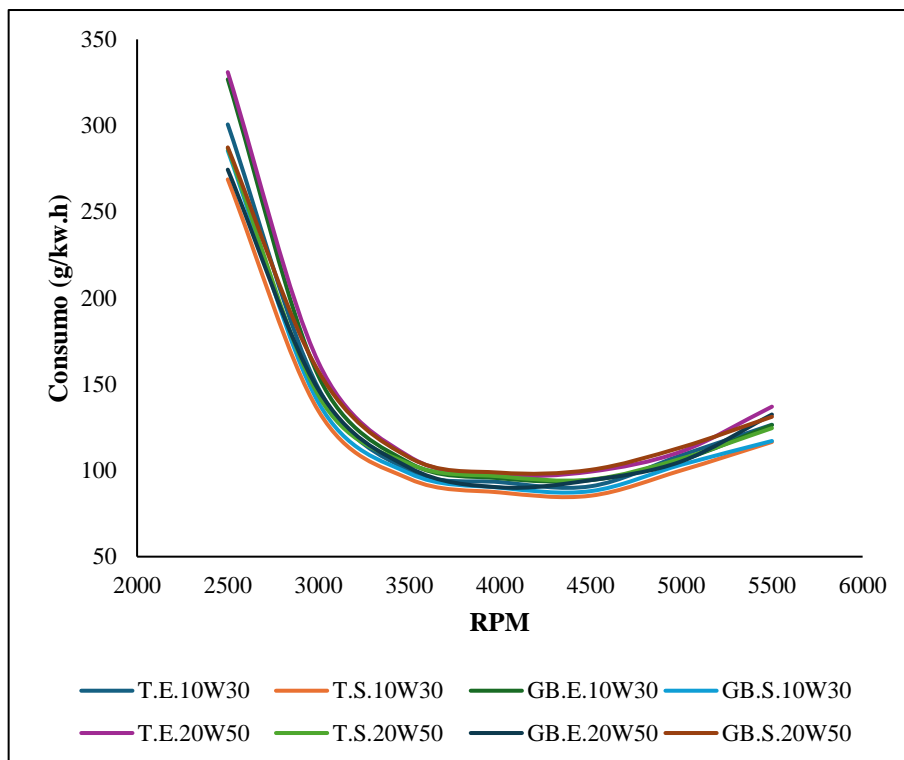
**Tabla 4-4:** Torques con diferentes viscosidades

ACEITE-COMBUSTIBLE-VISCOSIDAD	TORQUE MAX. (N.M)	DIFERENCIA (%)	RPM
TOP1-EXTRA-10W30	78,21	-	3500
GOLDEN BEAR-EXTRA-20W50	77,53	0,8	3000

Realizado por: Silva, J & Simba, M. 2024.

#### 4.1.2. Efectos de la variación de viscosidad y combustible sobre el consumo de combustible.

En la ilustración 4-5 se muestra que el consumo de combustible es más alto con las RPM bajas para ambos aceites GOLDEN BEAR y TOP 1. La viscosidad del aceite aparentemente puede influir en el consumo: un aceite más viscoso tendrá un mayor consumo.



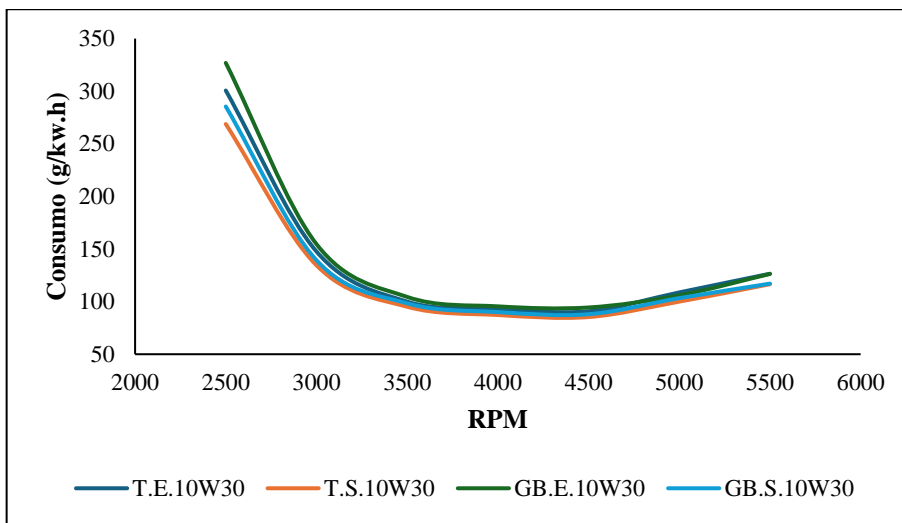
**Ilustración 4-5:** Consumo Específico

Realizado por: Silva, J & Simba, M. 2024.

**Tabla 4-5:** Consumos de combustible

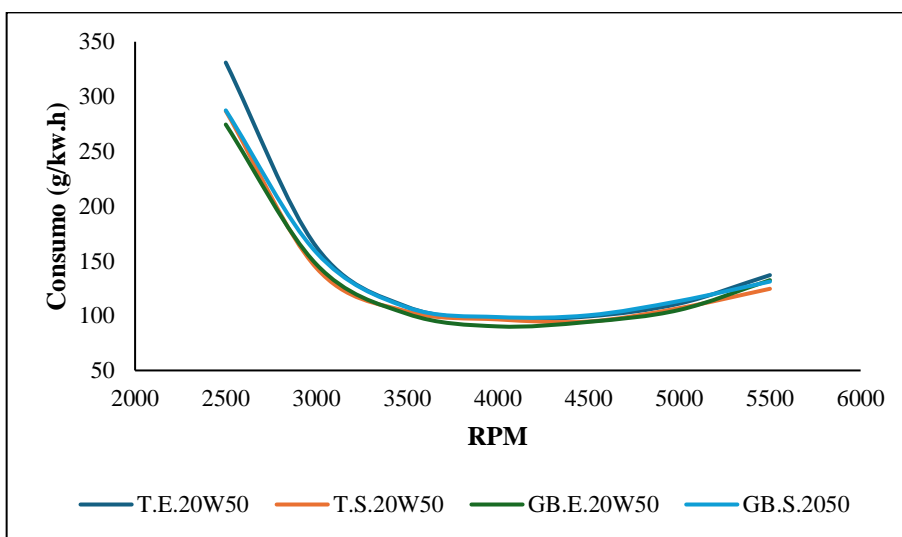
RPM	T.E.	T.S.	GB.E.	GB.S.	T.E.	T.S.	GB.E.	GB.S.
	10W30	10W30	10W30	10W30	20W50	20W50	20W50	20W50
2500	300,66	268,8	326,85	285,48	330,99	286,8	274,44	287,36
3000	147,62	134,51	154,65	139,35	162,65	143,43	146,76	157,48
3500	99,98	95,15	104,47	98,37	108,09	103,86	101,66	107,53
4000	93,23	87,26	95,48	90,03	97,34	94,72	90,19	98,73
4500	90,82	85,34	94,42	88	99,33	96,57	94,35	100,34
5000	108,76	100,02	105,99	103,3	110,98	106,88	105,22	113,39
5500	126,5	116,52	126,29	117,08	137	124,53	132,44	131,14

Realizado por: Silva, J & Simba, M. 2024.



**Ilustración 4-6:** Consumo vs rpm con aceite 10W30

Realizado por: Silva, J & Simba, M. 2024.

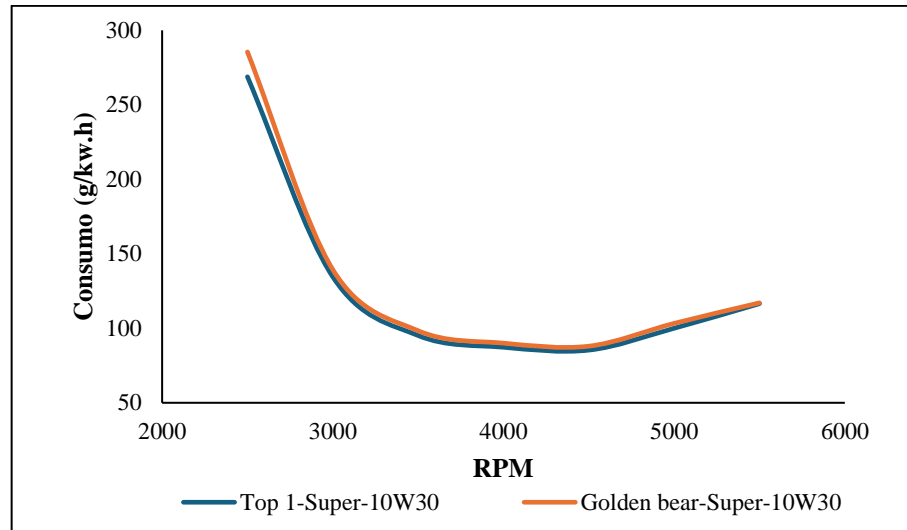


**Ilustración 4-7:** Consumo vs rpm, con aceite 20W50

Realizado por: Silva, J & Simba, M. 2024.



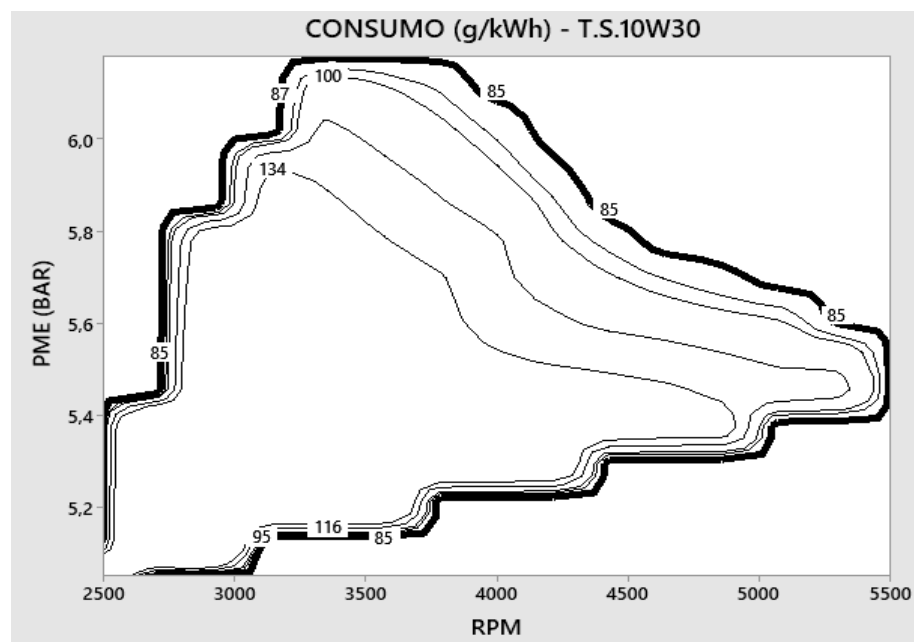
La ilustración 4-8 muestra la tendencia del consumo de combustible (en g/kw.h) en función de las RPM (en miles) para dos aceites: TOP 1-SUPER-10W30 y GOLDEN BEAR-SUPER-10W30. El consumo de ambos aceites varía ligeramente según las RPM. A bajas RPM, el consumo de GOLDEN BEAR-SUPER-10W30 es ligeramente mayor que el de TOP 1-SUPER-10W30. Sin embargo, a altas RPM, la diferencia de consumo entre ambos aceites es menor.



**Ilustración 4-8:** Consumo más bajo de combustible

Realizado por: Silva, J & Simba, M. 2024.

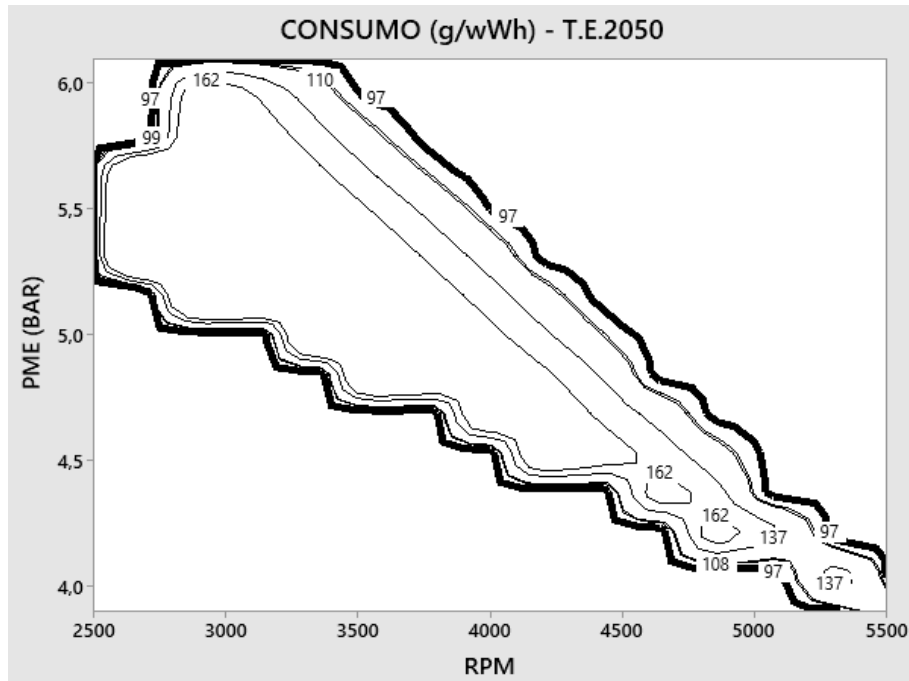
#### 4.1.3. Mapa de consumo



**Ilustración 4-9:** Consumo de combustible más bajo

Realizado por: Silva, J & Simba, M. 2024.

En la ilustración 4-9 se muestra un mapa de consumo más bajo, correspondiente a la combinación marca TOP1- combustible Super- viscosidad 10W30, se expresa en los ejes X: valores de RPM, Y: Presión media efectiva (BAR), Z: Consumo de combustible (g/kWh).



**Ilustración 4-10:** Consumo de combustible más alto

Realizado por: Silva, J & Simba, M. 2024.

En la ilustración 4-10 se muestra un mapa de consumo más alto, correspondiente a la combinación marca TOP1- combustible Extra- viscosidad 20W50, se presenta en los ejes X: valores de RPM, Y: Presión media efectiva (BAR), Z: Consumo de combustible (g/kWh).

#### 4.1.4. Pruebas tribológicas de ferrografía para los aceites

Tras haber obtenido los ferrogramas, se procedió con la observación de estos a través del Microscopio BX 51 Olympus, el cual, acompañado de la cámara Q Color 5 Olympus y el programa Q Capture X64, se obtuvo fotografías las cuales permitieron el análisis correspondiente de cada uno de los aceites, verificando el tipo de desgaste en las muestras en comparación a estudios y documentos bibliográficos previamente desarrollados.

Para un mejor estudio se tomó imágenes con distintos lentes de acercamiento siendo estos el X100 y X 50 obteniendo así diferentes puntos de vista en cada fotografía obtenida además de un mejor enfoque para el reconocimiento de partículas.

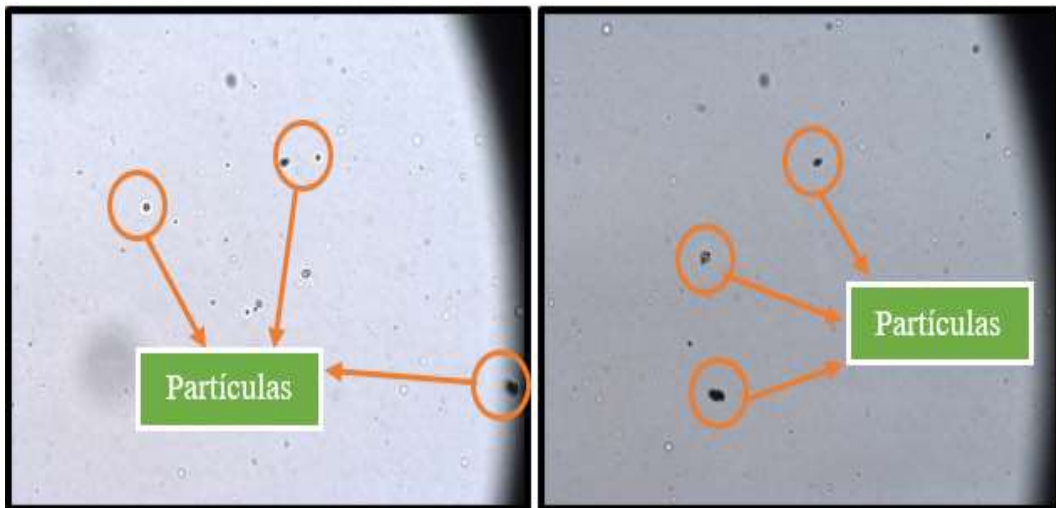
4.1.4.1. Imágenes obtenidas en Microscopio BX 51 Olympus

**Top 1 10W30**



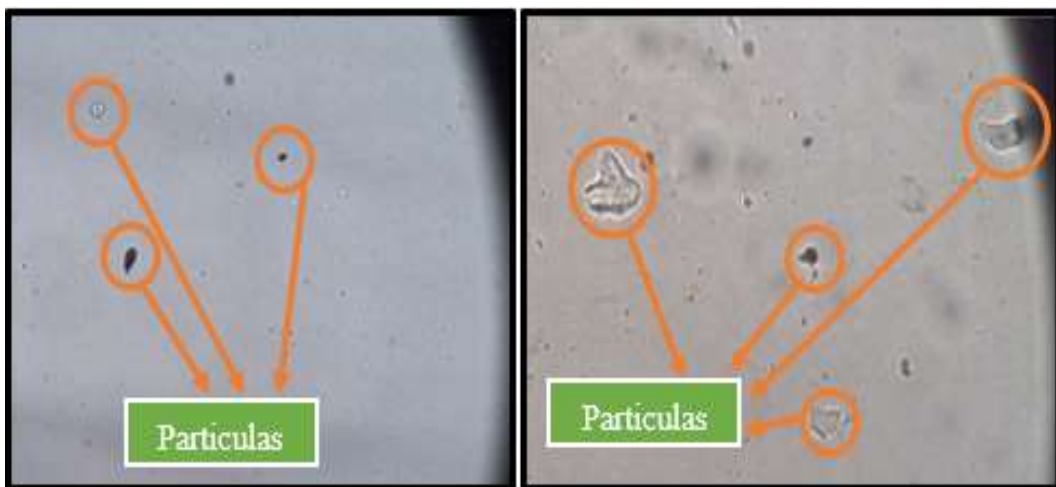
**Ilustración 4-11:** Ferrograma Top 1 10W30

Realizado por: Silva, J & Simba, M. 2024.



**Ilustración 4-12:** Imágenes muestra de aceite Top 1 10W30 (aumento X50)

Realizado por: Silva, J & Simba, M. 2024.



**Ilustración 4-13:** Imágenes muestra aceite Top 1 10W30 (aumento X100)

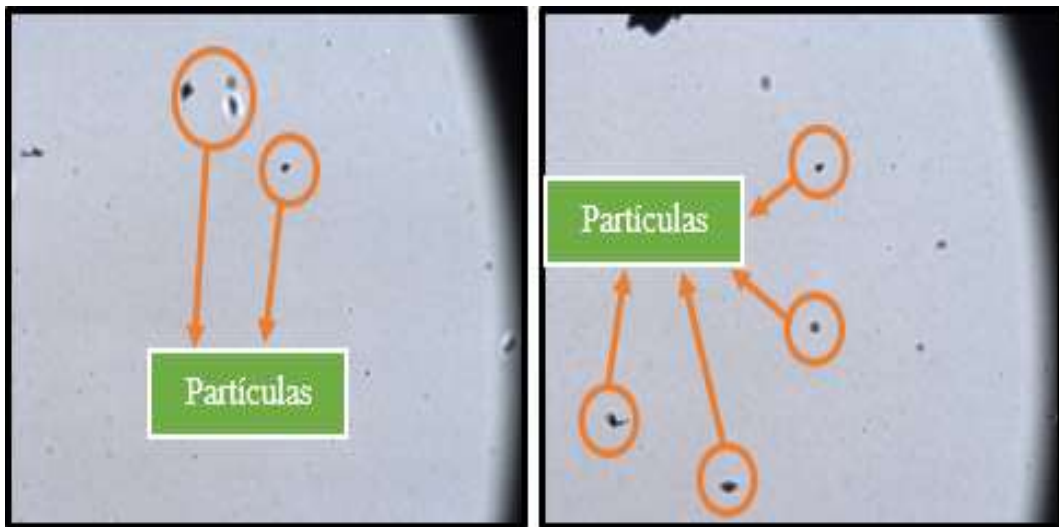
Realizado por: Silva, J & Simba, M. 2024.

## Golden Bear 10W30



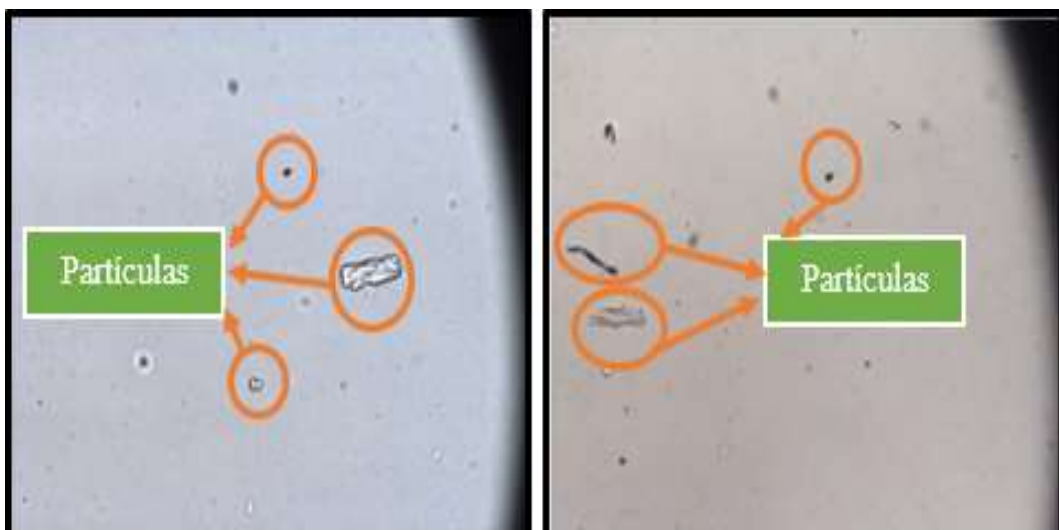
**Ilustración 4-14:** Ferrograma Golden Bear 10W30

Realizado por: Silva, J & Simba, M. 2024.



**Ilustración 4-15:** Imágenes muestra aceite Golden Bear 10W30 (aumento X50)

Realizado por: Silva, J & Simba, M. 2024.



**Ilustración 4-16:** Imágenes muestra aceite Golden Bear 10W30 (aumento X100)

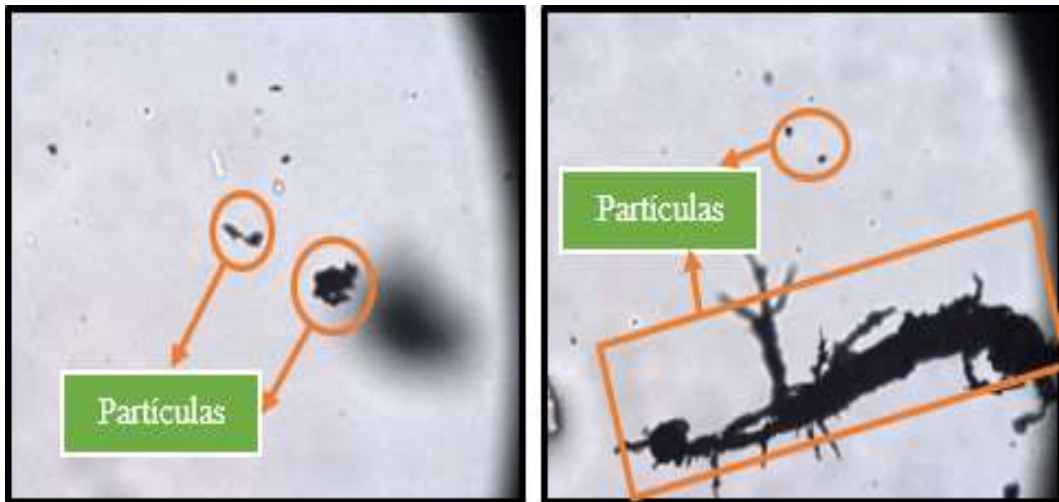
Realizado por: Silva, J & Simba, M. 2024.

## Top 1 20W50



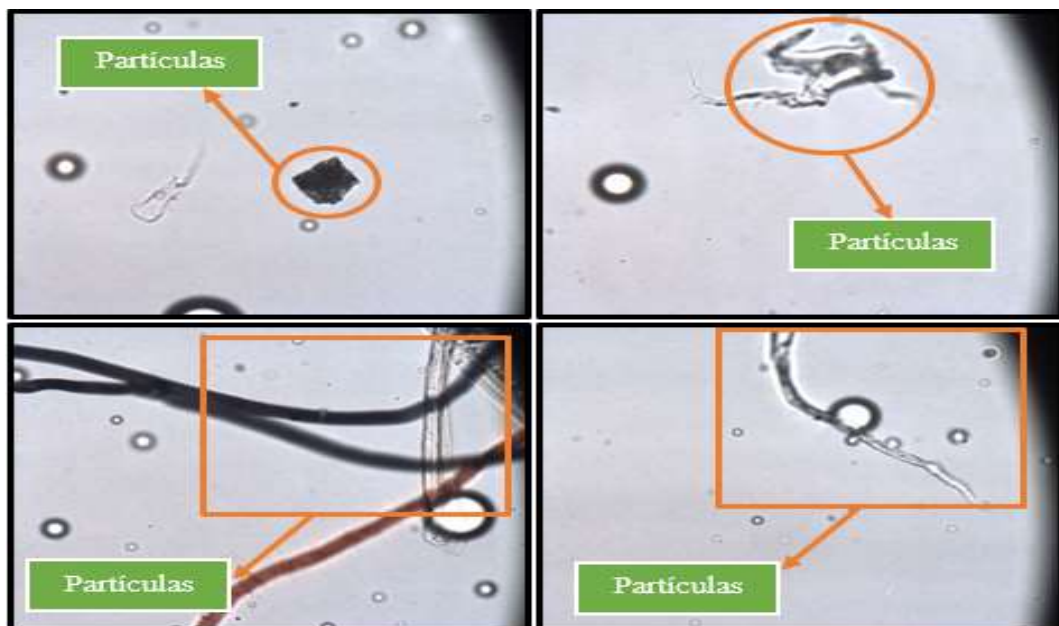
**Ilustración 4-17:** Ferrograma Top 1 20W50

Realizado por: Silva, J & Simba, M. 2024.



**Ilustración 4-18:** Imágenes muestra aceite Top 1 20W50 (aumento X50)

Realizado por: Silva, J & Simba, M. 2024.



**Ilustración 4-19:** Imágenes muestra aceite Top 1 20W50 (aumento X100)

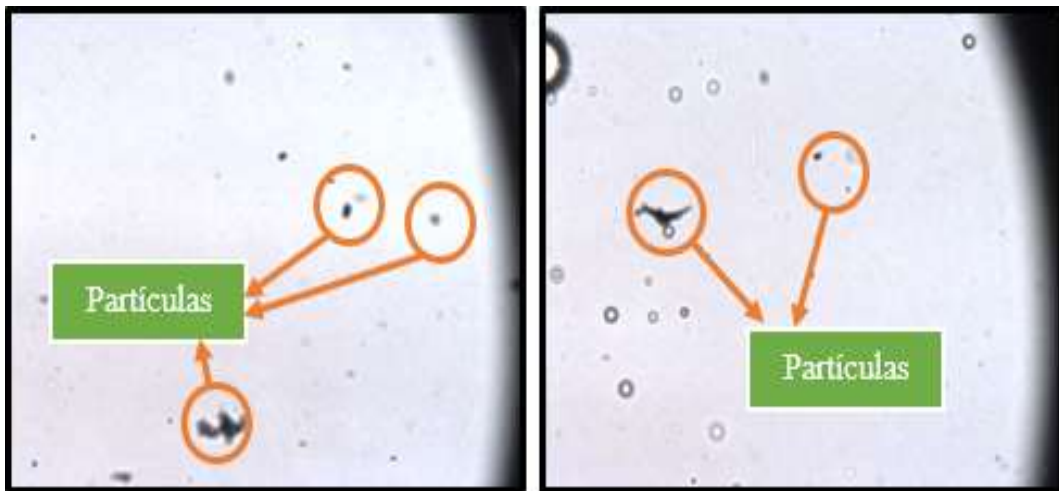
Realizado por: Silva, J & Simba, M. 2024.

## Golden Bear 20W50



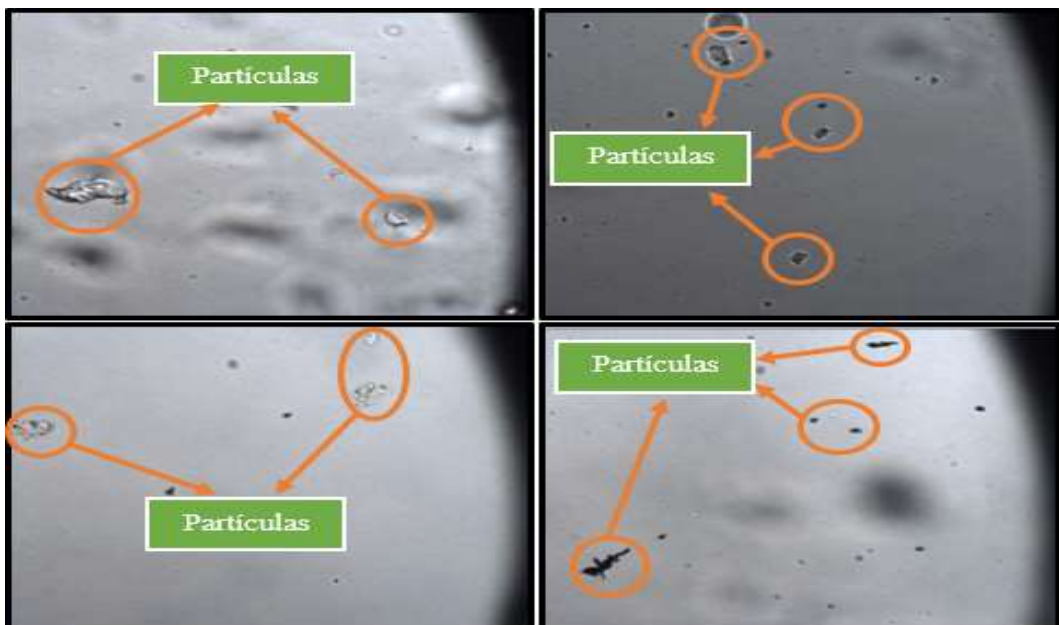
**Ilustración 4-20:** Ferrograma Golden Bear 20W50

Realizado por: Silva, J & Simba, M. 2024.



**Ilustración 4-21:** Imágenes muestra aceite Golden Bear 20W50 (aumento X50)

Realizado por: Silva, J & Simba, M. 2024.

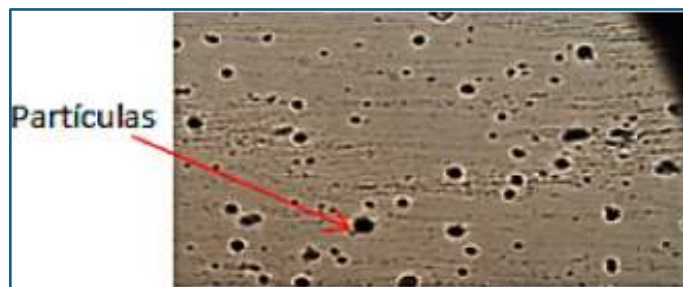


**Ilustración 4-22:** Imágenes muestra aceite Golden Bear 20W50 (X100)

Realizado por: Silva, J & Simba, M. 2024.

#### 4.1.4.2. Comparativas de imágenes de muestra

- a) Top 1 10W30: al realizar el análisis visual, se puede observar en la ilustración 4-12 partículas de silicio (partículas sólidas, por lo general provienen del polvo atmosférico), se encontraron en el trayecto de 50 a 30 mm basándonos en la ilustración 2-24 que se presenta anteriormente. El rango de tamaño de estas partículas es menor a los 2  $\mu\text{m}$ , estas partículas se visualizaron con un aumento del X50, se logra comparar estas partículas basándonos en la ilustración 4-23.



**Ilustración 4-23:** Partículas de silicio

Fuente: Granizo, 2017, pág. 56.

En la ilustración 4-13 se logra observar varias partículas las cuales mantienen un color blanco, siendo estas partículas de aluminio, estos elementos no ferrosos se encuentran dispersos por el ferrograma, se las localizó dentro del rango de 50 a 40 mm con un aumento X100, su tamaño llega a ser de 2  $\mu\text{m}$  o menos, para la comparación se realiza con la ilustración 4-24.



**Ilustración 4-24:** Partículas de aluminio

Fuente: Granizo, 2017, pág. 56.

- b) Golden Bear 10W30: en la ilustración 4-15, se logra observar partículas de silicio (partículas sólidas, por lo general provienen del polvo atmosférico), estas encontradas entre el rango de 50 a 30 mm en el ferrograma, estas partículas mantienen un tamaño menor a

los 2  $\mu\text{m}$ , estos se lograron visualizar con un aumento X50, se lo compara con la ilustración 4-23 anteriormente propuesta.

Se logra visualizar en la ilustración 4-16 partículas, las cuales son de aluminio y se distinguen por su característico color blanco. Se logró localizarlas en el rango de 40 a 30 mm del ferrograma. Estos mantienen un tamaño de 2  $\mu\text{m}$  o menos dependiendo de su localización. Se las visualiza con un aumento X100, se las puede comparar con la ilustración 4-24.

Por último, aunque en una cantidad menor o despreciable, en la ilustración 4-16 también se observan partículas de hierro (desgaste cortante producido por contaminantes abrasivos producidos por desgaste de elementos), se localizó en el rango de 40 a 30 mm, su tamaño se encuentra en un valor menor a los 2  $\mu\text{m}$ , esto se logró con un aumento X100, se puede realizar su comparación con la ilustración 4-25.



**Ilustración 4-25:** Partículas de hierro por desgaste

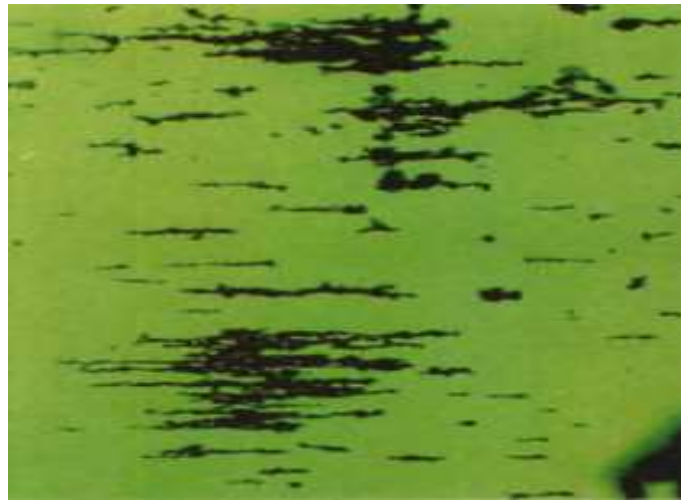
Fuente: TRICO, 2008, pág. 19.

- c) Top 1 20W50: se puede observar en la ilustración 4-18 partículas de silicio (partículas sólidas, por lo general provienen del polvo atmosférico), se localizaron en el rango de 50 a 30 mm en el ferrograma, el tamaño que mantienen llega a ser menor a los 2  $\mu\text{m}$ , se lograron observar con el aumento X50, se lo compara con la ilustración 4-23.

En la ilustración 4-18 anteriormente mencionada también se puede identificar lo que son cúmulos de partículas metálicas libres, óxidos negros y desechos cristalinos no metálicos, en este caso se los encontró en una cantidad mínima y muy reducida en su tamaño, se localizaron en el rango de 50 a 30 mm en el ferrograma estudiado, su tamaño llega a ser de 1  $\mu\text{m}$  o



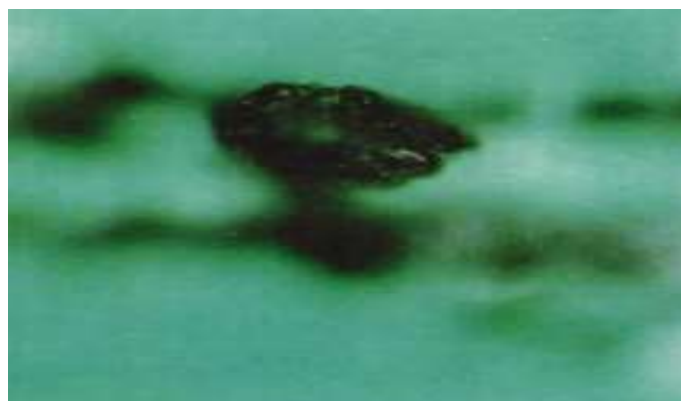
menor aún que se encuentran en acumulaciones, se logró observar con aumento X50, se la compara con la ilustración 4-26.



**Ilustración 4-26:** Cumulo de partículas

Fuente: TRICO, 2008, pág. 47.

En la ilustración 4-19, se puede visualizar lo que se considera como aglomeración de óxido negro. Se las distingue debido a su forma, además de que transmiten algo de luz debido a su estructura metálica. Esta partícula se localizó en el rango de 50 a 30 mm en el ferrograma. El tamaño de la aglomeración es inferior a 2  $\mu\text{m}$ . Se logró observar con un aumento X100. Esta la comparamos con la ilustración 4-27.

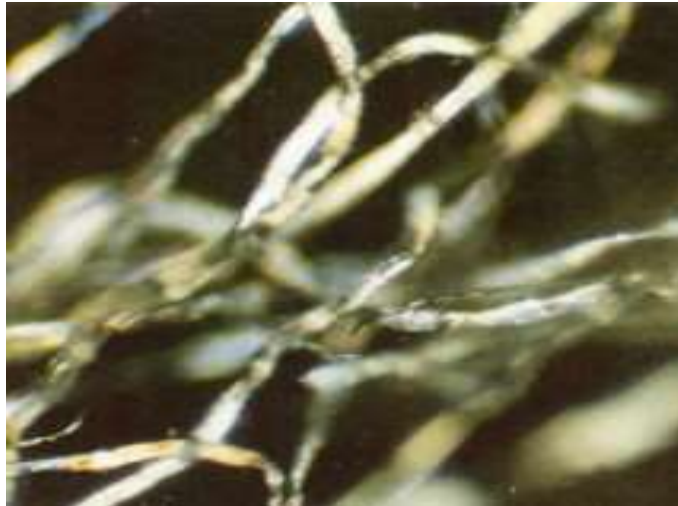


**Ilustración 4-27:** Aglomeración de partículas de óxido negro

Fuente: TRICO, 2008, pág. 39.

Basándonos en la ilustración 4-19, se pueden visualizar partículas de aluminio, aunque, de un tamaño mayor, al presentado para su comparación en la ilustración 4-24, está lograda encontrar en un rango de 50 a 40 mm del ferrograma, se la visualizó con aumento X100, siendo su tamaño posible de un valor de 2  $\mu\text{m}$  o inferior.

Al realizar el análisis visual, en el ferrograma se encontraron en el rango de 56 a 30 mm partículas de fibras, las cuales llegan a generarse por desprendimiento de material, ya sea de filtro de aire o contaminaciones externas. El tamaño de estas llega a ser de mayor a 3  $\mu\text{m}$  y también de un valor mucho menor a estos, como se puede observar en la ilustración 4-19. Están llegando a observarse con aumento X100, se comparan dichas partículas con la ilustración 4-28.



**Ilustración 4-28:** Partículas contaminantes (Fibras)

Fuente: TRICO, 2008, pág. 48.

- a) Golden Bear 20W50: Al realizar el análisis del ferrograma se logró identificar partículas de silicio y cúmulos de partículas. Estas se muestran en la ilustración 4-21, las partículas se encuentran en la zona de 50 a 30 mm, siendo lograda observar con un aumento X50, su tamaño es menor a los 2  $\mu\text{m}$ , se compara con la ilustración 4-23 y 4-26.

En un siguiente análisis esta vez con un aumento X100 se logra observar lo que son partículas de aluminio de distintos tamaños además de partículas de silicio muy pequeñas esto se observa en la ilustración 4-22, se encontró en el rango de 50 a 30 mm, su tamaño llega a ser de 2  $\mu\text{m}$  o menos, se compara con las ilustraciones 4-23 y 4-24.

Basándonos según (TRICO, 2008, págs. 8-9), los tamaños de mencionados de las partículas son un estimado de acuerdo al rango en el que se encuentran concerniente a las distancias en el ferrograma.

## 4.2. Comprobación de la hipótesis

En la tabla 4-6 se indica que hay tres factores en el análisis: Viscosidad, Marca, Combustible y Extra-Super. Todos los factores son fijos y cada factor tiene dos niveles.

**Tabla 4-6:** Información de factores

FACTOR	TIPO	NIVELES	VALORES
VISCOCIDAD	Fijo	2	10W30; 20W50
MARCA	Fijo	2	GOLDEN BEAR; TOP1
COMBUSTIBLE	Fijo	2	EXTRA; SUPER

Realizado por: Silva, J & Simba, M. 2024.

En la tabla 4-7 se muestran varios factores, de los que para el estudio se tomaron en cuenta los grados de libertad (GL), valor F (Fisher) y error, en la tabla 4-8, además, se observa el valor de la tabla de Fisher de 0,005 según los grados de libertad y el error.

**Tabla 4-7:** Análisis de Varianza

FUENTE	GL	SC AJUST.	MC AJUST.	VALOR F	VALOR P
RPM	1	102225	102225	34,54	0
VISCOCIDAD	1	453	453	0,15	0,697
MARCA	1	3	3	0	0,976
COMBUSTIBLE	1	752	752	0,25	0,616
Error	51	150933	2959		
Total	55	254365			

Realizado por: Silva, J & Simba, M. 2024.

**Tabla 4-8:** Valor de Fisher y Análisis de varianza

FACTOR	GL Numerador	GL Denominador	F tabla	F rendimiento
VISCOCIDAD	1	51	4	0,15
MARCA	1	51	4	0
COMBUSTIBLE	1	51	4	0,25

Realizado por: Silva, J & Simba, M. 2024.

En la tabla 4-9 se muestra la comparación de los valores obtenidos en la tabla de Fisher con los factores de rendimiento y cómo afectan al análisis estadístico, demostrando que se aprueba la hipótesis nula.

**Tabla 4-9:** Comparativa de factores

Factor tabla 0,05	F rendimiento	Resultado	Decisión
4 >	0,15	No afecta	Hp. Nula
4 >	0	No afecta	
4 >	0,25	No afecta	

Realizado por: Silva, J & Simba, M. 2024.

Conteo de partículas; se procedió mediante una inspección visual de las imágenes obtenidas durante la investigación con el conteo de partículas a través de estas, logrando obtener lo siguiente.

**Tabla 4-10:** Conteo de partículas (Lente factor X100)

CONTEO DE PARTICULAS (LENTE FACTOR X100)			
TIPO DE ACETE	NUMERO DE INSPECCIÓN	N. PARTICULAS	TOTAL
TOP 1 10W30	INSPECCIÓN 1	78	250
	INSPECCIÓN 2	89	
	INSPECCIÓN 3	83	
GOLDEN BEAR 10W30	INSPECCIÓN 1	80	240
	INSPECCIÓN 2	79	
	INSPECCIÓN 3	81	
TOP 1 20W50	INSPECCIÓN 1	82	247
	INSPECCIÓN 2	82	
	INSPECCIÓN 3	83	
GOLDEN BEAR 20W50	INSPECCIÓN 1	79	236
	INSPECCIÓN 2	77	
	INSPECCIÓN 3	80	

Realizado por: Silva, J & Simba, M. 2024.

En la tabla 4-10 se puede visualizar la cantidad de partículas encontradas en cada una de las pruebas del análisis ferrográfico ya que se realizaron tres por cada una de las muestras de aceites. Se presentan tres inspecciones con su respectivo conteo, obteniendo así tanto para el TOP 1 10W30 y 20W50 una mayor cantidad de partículas siendo estas 250 y 247 respectivamente, a comparación de los GOLDEN BEAR 10W30 y 20W50 se obtuvo una menor cantidad de partículas, siendo estas 240 y 235, esto nos demuestra una diferencia, aunque no en gran medida para cada uno de estos.

## CAPITULO V

### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

- Tras definir referencias bibliográficas para la investigación se obtuvieron conocimientos gracias a los cuales se tuvo el punto de partida para la investigación, determinando las mejores vías para nuestro fin, así concluyendo que la aplicación del método gravimétrico para la obtención del consumo además del método ferrográfico para análisis tribológico eran las más adecuadas, estas compensándolas mediante normativas las cuales rigen el camino de la investigación.
- En el estudio sobre el consumo de combustible se logró determinar que el valor más bajo de consumo es 85,34 g/kWh con la combinación Top 1-combustible Super- viscosidad 10w30 a 3500 RPM y el consumo más alto es 97,34 g/kWh con la combinación Top 1-combustible Extra- viscosidad 20w50 a 3000 RPM. Presentando una diferencia de 12,32% entre el consumo más alto y bajo.
- Tras el desarrollo del análisis ferrográfico, el detallado de los elementos y materiales encontrados es necesario para poder determinar el nivel de protección que ofrecen los aceites, esto mediante el método analítico, siendo practico y eficiente, así se determina que la protección que ofrece cada aceite a través tanto del conteo como reconocimiento de partículas es similar en el caso de todos, manteniendo una variación baja en el conteo de partículas encontradas, obteniendo que TOP 1 10W30 mantiene 250 partículas, GOLDEN BEAR 10W30 con 240, TOP 1 20W50 registro 247 y GOLDEN BEAR 20W50 obtuvo 235, con estos datos logramos observar una diferencia máxima del 0,6% esta no siendo significativa por lo que se puede determinar que ambos aceites ofrecen una protección similar y adecuada.
- Con el estudio estadístico ANOVA aplicado a los factores de marca, combustible y viscosidad, se obtuvo resultados que indican que no existe una diferencia significativa entre el consumo de combustible, como para afirmar que los factores antes mencionados afectan a dicho consumo en un motor de 1,6 L operando a una altura de 2745 m.s.n.m. Esto se confirmó con los valores resultantes de Fisher y su comparación con la tabla de 0,05, lo que dio como decisión la aceptación de la hipótesis nula.

- El dinamómetro de motor presentó un 37,44% de diferencia en valores medidos con respecto al dinamómetro de rodillos, dicha diferencia se consideró para la determinación de un factor de corrección. Con el factor de corrección se estableció un ajuste de potencia ( $R^2=0,7681$ ) y torque ( $R^2= 0,8224$ ), siendo este último el que presentó mejor ajuste.
- Los torques máximos obtenidos de las pruebas al variar la marca, combustible, y grado de viscosidad son similares variando entre 77,53 Nm correspondiente a la combinación marca Golden Bear- combustible Extra- viscosidad 20W50 hasta 78,70 Nm correspondiente a la combinación marca Top 1-combustible Super- viscosidad 10w30. La diferencia se encuentra en las RPM, ya que para aceites 20W50 se alcanza el torque máximo a 3000 RPM y para aceites 10W30 a 3500 RPM.

## 5.2. Recomendaciones

- El mantenerse dentro de los métodos señalados limita las investigaciones por tanto el probar nuevas metodologías e investigarlas proporcionaría más puntos de vista y datos para comparar en los obtenidos con los demás métodos.
- Realizar pruebas con intervalos más seguidos para determinar el impacto de las diferentes variables. Esto podría proporcionar información adicional y más completa sobre las implicaciones del consumo de combustible.
- Aumentar el tiempo de duración de las pruebas además de variar las características de los aceites para determinar si el tiempo de funcionamiento como el cambio de los elementos de prueba llegaron a influir en el consumo de combustible. Considerando el tiempo necesario para que el motor esté en su temperatura normal de funcionamiento.
- Para el conteo de partículas, hacerlo manualmente, es un método válido, pero no tienen el nivel de eficiencia que ofrecería un contador de partículas en el que se podía observar el tamaño, aplicable para próximos estudios para lograr un mejor conteo y reconocimiento.
- Realizar pruebas adicionales tras el primer análisis ANOVA, realizado esto, permitirá tener un mejor análisis y amplio dentro de las investigaciones, con una certeza mucho mayor al verificar el análisis estadístico y contrastar los datos, y se pueden implementar nuevos métodos de análisis estadístico que permitirán distintos puntos de vista.

- Para determinar el factor de corrección, un punto importante para el estudio realizar más pruebas, extender el tiempo de investigación ayudaría a mejorar y tener un factor mucho más exacto que ayude a determinar con más certeza los datos de próximas investigaciones.
- Variar las viscosidades y marcas de los aceites por otras no utilizadas en esta investigación para comprobar si existe una variación importante tanto en torque y potencia al momento de realizar las pruebas o en su defecto también la variación llegue a ser mayor en cuanto a las RPM denotadas como el factor con cambios relevante en cuanto a la viscosidad.

## BIBLIOGRAFIA

1. **AGUIAR ZUMBA, Kleber Jeovanny & ROJANO HERRERA, Dennis Javier.** ANÁLISIS COMPARATIVO DE DOS ESTRATEGIAS PARA LA MEDICIÓN DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE Y VALIDACIÓN DE LAS MISMAS EN UN DINAMÓMETRO. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Grado). Escuela Superior Politécnica del Chimborazo. Riobamba-Ecuador. 2021. págs. 5-17. [Consulta: 2023-05-06]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/15382>
2. **ALZALLÚ, José.** “Clasificación ACEA para aceites de Motor”. *PublicacionesDidácticas* [en línea], 2015, (España), vol. 61 (1), págs. 57-60. [Consulta: 25 mayo 2023]. ISSN 1989-7073. Disponible en: <https://publicacionesdidacticas.com/?id=02>
3. **AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE.** *Categorías de aceites.* [blog]. [consulta: 25 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.api.org/products-and-services/es/eolcs-oil-categories>
4. **ANDRADE CORDERO, Juan Pablo & BAUTISTA LLIESCAS, Wellington Patricio.** DESARROLLO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO DE CÁLCULO PARA AUMENTAR LA EFICIENCIA VOLUMÉTRICA Y PRESIÓN MEDIA DEL PISTÓN EN LA REPOTENCIACIÓN DE MOTORES CICLO OTTO EN AUTOS DE COMPETENCIA. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Maestría). Escuela Politécnica Nacional. Quito-Ecuador. 2019. págs. 4-12. [Consulta: 2023-11-27]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/20147>
5. **BARRERA LAZO, Ángel Alfredo & NIEVES MERCHÁN, Claudio Andrés.** ANÁLISIS TRIBOLÓGICO ENTRE SEGMENTO Y CILINDRO DEL MOTOR HYUNDAI AVANTE 1.5L, MEDIANTE EL MÉTODO DE ARRASTRE PARA DETERMINAR SU EFICIENCIA ENERGÉTICA. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Grado). Universidad Politécnica Salesiana. Cuenca-Ecuador. 2021. págs. 5-36. [Consulta: 2023-05-16]. Disponible en: <https://lc.cx/-qkiWN>
6. **BHUSHAN, Bharat.** *Introduction to Tribology* [en línea]. 2ª ed. New York-USA: John Wiley & Sons, 2013. [Consulta: 24 mayo 2023]. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9781118403259>
7. **BLÁZQUEZ MINGO DE, Álvaro Lorenzo.** ANÁLISIS DE LA LUBRICACIÓN TERMO-ELASTOHIDRODINÁMICA Y MIXTA MEDIANTE LA APLICACIÓN DE MODELOS NUMÉRICOS. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Grado). Universidad Politécnica de Madrid. Madrid-España. 2016. págs. 12-100. [Consulta: 2023-05-23]. Disponible en: <https://lc.cx/NHu2bn>



8. **CAÑABERAL BARRIENTOS, Juan Daniel.** ANÁLISIS TRIBOLÓGICO EN MOTORES ISUZU 4JJ1 DE LA EMPRESA COORDINADORA MERCANTIL S.A. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Maestría). Universidad de Antioquia. Medellín-Colombia. 2021. págs. 12-53. [Consulta: 2023-05-23]. Disponible en: <https://lc.cx/GzoBwZ>
9. **CÁRDENAS VALENCIA, Andrés Daniel.** ANÁLISIS DE EMISIONES CONTAMINANTES Y CONSUMO DE COMBUSTIBLE A DIFERENTES PROPORCIONES Y MARCAS DE ACEITES LUBRICANTES PARA MOTORES DE DOS TIEMPOS EMPLEANDO GASOLINA EXTRA Y SUPER. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Grado). Escuela Superior Politécnica del Chimborazo. Riobamba-Ecuador. 2021. págs. 6-27. [Consulta: 2023-05-23]. Disponible en: <https://lc.cx/OgcIbG>
10. **CASTILLO, Willan & TOAPANTA, Oscar.** *PRINCIPIOS DE TRIBOLOGÍA APLICADOS EN LA INGENIERÍA MECÁNICA* [en línea]. 1ª ed. Alicante-España: Editorial Área de innovación y desarrollo, 2019. [Consulta: 16 mayo 2023]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/libro/779863.pdf>
11. **CATERPILLAR.** *Cat S • O • S SM Services How To Take A Good Coolant Sample Making S • O • S SM Sampling Easier.* [blog]. [Consulta: 16 mayo 2023]. Disponible en: <https://lc.cx/Ck8mTX>
12. **CHÁVEZ, Jessica G; et al.** “*Desgaste de aceros resistentes a la abrasión Wear of abrasion resistant steels (review)*”. *CienciAcierta*, vol. 1, n° 69, (2022), (Mexico). págs. 1-16.
13. **CUSANGUÁ ARÉVALO, Iván Patricio & ASQUI CALERO, Carlos Fabián.** REACONDICIONAMIENTO DEL DINAMÓMETRO BORGHI&SAVERI FA200 INSTALADO EN EL TALLER DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ DE LA ESPOCH PARA LA OBTENCIÓN DE CURVAS DE TORQUE, POTENCIA Y CONSUMO DE COMBUSTIBLE DE MANERA DIGITAL. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Grado). Escuela Superior Politécnica del Chimborazo. Riobamba-Ecuador. 2021. págs. 20-41. [Consulta: 2023-05-06]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/16007>
14. **DÍAZ DEL CASTILLO, Felipe.** *TRIBOLOGÍA: FRICCIÓN, DESGASTE Y LUBRICACIÓN* [en línea]. Cuatitlan-Mexico: Departamento de ingeniería, 2007. [Consulta: 23 mayo 2023]. Disponible en: <http://profefelipe.mex.tl/imagesnew/4/6/9/5/1/TRIBOLOGIA.pdf>
15. **GRANIZO, José.** “Diagnóstico del mecanismo de desgaste aplicado en pares tribológicos mediante ferrografía”. *Ciencia UNEMI* [en línea], 2017, (Ecuador), vol. 10 (22), págs. 49-57. [Consulta: 5 diciembre 2023]. ISSN 2528-7737. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=582661263005>

16. **GUANGA GUANCA, Andy Patricio & UGSIÑA COLCHA, Miguel Ángel.** REPOTENCIACIÓN DEL DINAMÓMETRO ANALÓGICO DEL LABORATORIO DE MOTORES DE LA FACULTAD DE MECÁNICA Y ELABORACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Grado). Escuela Superior Politécnica del Chimborazo. Riobamba-Ecuador. 2022. págs. 2-24. [Consulta: 2023-05-30]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/18851>
17. **GUZMAN, Alex; et al.** “Estudio del rendimiento dinámico de un motor Otto utilizando mezclas de dos tipos de gasolinas «Extra y Súper». *Enfoque UTE* [en línea], 2018, (Ecuador), vol. 9 (4), págs. 208-220. [Consulta: 28 noviembre 2023]. ISSN 1390-9363. Disponible en: <http://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/>
18. **HEYWOOD, John.** *INTERNAL COMBUSTION ENGINE FUNDAMENTALS*. 2ª ed. Chicago-New York: McGraw-Hill Education, 2018, págs. 1-13.
19. **ISO 1585.** *Road vehicles — Engine test code — Net power.*
20. **ISO 4021.** *Particulate contamination analysis — Extraction of fluid samples from lines of an operating system.*
21. **ISO/IEC 17025.** *Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración.*
22. **LÓPEZ HIDALGO, Miguel Andrés & ÁVILA HERAS, Juan Carlos.** DETERMINACIÓN DEL DESGASTE DE LOS ELEMENTOS MECÁNICOS DEL MOTOR MEDIANTE EL ANÁLISIS DEL ACEITE USADO. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Maestría). Universidad del Azuay. Cuenca-Ecuador. 2017. págs. 5-128. [Consulta: 2023-05-17]. Disponible en: <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/8281>
23. **NTE INEN 935.** *Norma técnica ecuatoriana: productos derivados de petróleo. Gasolina. Requisitos.*
24. **NTE INEN 2027.** *Productos derivados del petróleo. Aceites lubricantes para motores de combustión interna de ciclo otto. Requisitos.*
25. **NUNIGE, Oliver.** EVALUACION Y COMPARACION DE METODOS DE MEDICION CONSUMO DE COMBUSTIBLE PARA LABORATORIO Y RUTA EN UN VEHICULO LIVIANO. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Maestría). Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira-Colombia. 2018. págs. 5-9. [Consulta: 28 noviembre 2023]. Disponible en: <https://repositorio.utp.edu.co/items/0b5a5887-e096-4b8a-b02d-e19021f4b1dc>
26. **ORDÓÑEZ, Manuel.** *Mantenimiento de sistemas de refrigeración y lubricación de los motores térmico* [en línea]. 1ª ed. Málaga-España: IC Editorial, 2012. [Consulta: 16 mayo 2023]. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/esPOCH/54341>

27. **POPOV, Valentin.** *Principios y aplicaciones de la mecánica de contacto en tribología, fricción y adherencia* [en línea]. Alicante-España: Universitat de Alacant, 2020. [Consulta: 17 mayo 2023]. Disponible en: <https://rua.ua.es/dspace/handle/10045/108392>
28. **ROVIRA, Antonio & MUÑOZ, Marta.** *Motores de combustión interna* [en línea]. Madrid-España: UNED, 2015. [Consulta: 17 mayo 2023]. Disponible en: <https://lopezva.wordpress.com/wp-content/uploads/2019/11/343564272-motores-de-combustion-interna.pdf>
29. **SISALIMA CAYOGO, Wilmer Octavio.** MANTENIMIENTO PREDICTIVO DE LOS GENERADORES DIESEL FG WILSON, CUMMINS, HIMOINSA DE LA EMPRESA SOCIEDAD MINERA LIGA DE ORO S.A. MEDIANTE FERROGRAFÍA ANALÍTICA. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Grado). Escuela Superior Politécnica del Chimborazo. Riobamba-Ecuador. 2016. págs. 5-46. [Consulta: 2023-12-01]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/4570>
30. **SPECTROINC.** *Setup & Operation Manual Thistle-Tube Ferrogram Maker Part Number F9600*. Chelmsford-Inglaterra: Laser Net Fines, 2012, págs. 1-8.
31. **SPECTRO SCIENTIFIC.** *T2FM 500 Ferrography Laboratory*. [blog]. Chelmsford-Inglaterra: Laser Net Fines, 2018. [Consulta: 2 diciembre 2023]. Disponible en: <https://lc.cx/2BQP90>
32. **TEJADA, Candelaria; et al.** “Caracterización físico-química de aceites usados de motores para su reciclaje”. *Prospect* [en línea], 2017, (Colombia), vol. 15 (2), págs. 135-144. [Consulta: 16 mayo 2023]. ISSN 1692-8261. Disponible en: <https://lc.cx/iQpCH4>
33. **TORMOS, Bernardo.** *Diagnóstico de motores diesel mediante el análisis del aceite usado* [en línea]. Valencia-España: EDITORIAL REVERTÉ, S.A., 2005. [Consulta: 23 mayo 2023]. Disponible en: <https://lc.cx/0z4vVr>
34. **TRICO.** *WEAR PARTICLE ATLAS*. New Jersey-USA: Lakehurst, 2008, págs. 17-48.



## ANEXOS

### ANEXO A: EQUIPO PARA OBTENCIÓN CURVAS TORQUE Y POTENCIA



**ANEXO B: EQUIPO PARA OBTENCIÓN DE CURVA DE CONSUMO**



### ANEXO C: ACEITES PARA USO DE PRUEBAS



### ANEXO D: DESARROLLO DE PRUEBAS



**ANEXO E: CORTE DE MANGUERA PARA OBTENCIÓN DE MUESTRAS DE ACEITE**



**ANEXO F: INGRESO DE SONDA PARA OBTENCIO DE MUESTRA**



**ANEXO G: ACOUPLE DE MANGUERA A BOMBA MANUAL**



**ANEXO H: ACOUPLE DE FRASCO PARA OBTENCIÓN DE MUESTRA**





**ANEXO I: ACCIONAMIENTO DE BOMBA MANUAL PARA EXTRACCIÓN**



**ANEXO J: MUESTRA OBTENIDA DE ACEITE USADO**




**ANEXO K: REVISIÓN DE FERROGRAMA POR MICROSCOPIO**



ANEXO L: TABLA DE FISHER DE 0,05

**Distribución F 0.05**

En las columnas se encuentran los valores F que corresponden al área 0.05 a la derecha  
 En las columnas se encuentran los grados de libertad del numerador  
 En los renglones se encuentran los grados de libertad del denominador.



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	15	20	24	30	40	60	120
1	161.4	199.5	215.7	224.6	230.2	234.0	236.8	238.9	240.5	241.9	243.0	243.9	245.9	248.0	249.1	250.1	251.1	252.2	253.3
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.40	19.41	19.43	19.45	19.45	19.46	19.47	19.48	19.49
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.76	8.74	8.70	8.66	8.64	8.62	8.59	8.57	8.55
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.94	5.91	5.86	5.80	5.77	5.75	5.72	5.69	5.66
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.70	4.68	4.62	4.56	4.53	4.50	4.48	4.43	4.40
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.03	4.00	3.94	3.87	3.84	3.81	3.77	3.74	3.70
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.60	3.57	3.51	3.44	3.41	3.38	3.34	3.30	3.27
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.31	3.28	3.22	3.15	3.12	3.08	3.04	3.01	2.97
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.10	3.07	3.01	2.94	2.90	2.86	2.83	2.79	2.75
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.94	2.91	2.85	2.77	2.74	2.70	2.66	2.62	2.58
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.82	2.79	2.72	2.65	2.61	2.57	2.53	2.49	2.45
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.72	2.69	2.62	2.54	2.51	2.47	2.43	2.38	2.34
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.63	2.60	2.53	2.46	2.42	2.38	2.34	2.30	2.25
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.57	2.53	2.46	2.39	2.35	2.31	2.27	2.22	2.18
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.51	2.48	2.40	2.33	2.29	2.25	2.20	2.16	2.11
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.46	2.42	2.35	2.28	2.24	2.19	2.15	2.11	2.06
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.41	2.38	2.31	2.23	2.19	2.15	2.10	2.06	2.01
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.37	2.34	2.27	2.19	2.15	2.11	2.06	2.02	1.97
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.34	2.31	2.23	2.16	2.11	2.07	2.03	1.98	1.93
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.31	2.28	2.20	2.12	2.08	2.04	1.99	1.95	1.90
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.28	2.25	2.18	2.10	2.05	2.01	1.96	1.92	1.87
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.26	2.23	2.15	2.07	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.24	2.20	2.13	2.05	2.01	1.96	1.91	1.86	1.81
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.22	2.18	2.11	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.79
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.20	2.16	2.09	2.01	1.96	1.92	1.87	1.82	1.77
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22	2.18	2.15	2.07	1.99	1.95	1.90	1.85	1.80	1.75
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	2.20	2.17	2.13	2.06	1.97	1.93	1.88	1.84	1.79	1.73
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19	2.15	2.12	2.04	1.96	1.91	1.87	1.82	1.77	1.71
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18	2.14	2.10	2.03	1.94	1.90	1.85	1.81	1.75	1.70
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.13	2.09	2.01	1.93	1.89	1.84	1.79	1.74	1.68
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.04	2.00	1.92	1.84	1.79	1.74	1.69	1.64	1.58
60	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	1.99	1.95	1.92	1.84	1.75	1.70	1.65	1.59	1.53	1.47
120	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.18	2.09	2.02	1.96	1.91	1.87	1.83	1.75	1.66	1.61	1.55	1.50	1.43	1.35

Para calcular el valor F en excel, se utiliza la función de la distribución F inversa  
**=distr.f.inv(0.05; g1 num; g1 den)**

© Ing. Jesús Alberto Meillado Bosque

## ANEXO M: REQUISITOS DE GASOLINA EXTRA 85 OCTANOS (RON)

Requisitos	Unidad	Mínimo	Máximo	Método de ensayo <sup>a</sup>
Número de Octano Research <sup>b</sup> (RON)	--	85,0	--	NTE INEN 2102 ASTM D2699
Temperatura de destilación:				ASTM D86
10 %	°C	--	70	
50 %	°C	77	121	
90 %	°C	--	189	
Punto final de ebullición	°C	--	220	
Residuo de destilación	% <sup>c</sup>	--	2,0	
Temperatura para la relación vapor/líquido igual a 20	°C	56,0	--	ASTM D5188
Presión de vapor	kPa	--	60,0	ASTM D323 ASTM D4953 ASTM D5191
Corrosión a la lámina de cobre (3 h a 50 °C)	--	--	No.1	ASTM D130
Contenido de gomas	mg/100 mL	--	3,0	ASTM D381
Contenido de azufre	% <sup>d</sup>	--	0,0650	ASTM D2622 ASTM D4294 ASTM D5453
Contenido de aromáticos	% <sup>e</sup>	--	30,0	ASTM D1319 ASTM D6730 ASTM D6733
Contenido de benceno	% <sup>e</sup>	--	1,00	ASTM D3606 ASTM D5580 ASTM D6277 ASTM D6730
Contenido de olefinas	% <sup>e</sup>	--	18,0	ASTM D1319 ASTM D6730 ASTM D6733
Estabilidad a la oxidación	min	240	--	ASTM D525 ASTM D7525
Contenido de plomo	mg/L	--	1,0	ASTM D3237 ASTM D5059 ASTM D5185
Contenido de manganeso	mg/L	--	1,0	ASTM D3831 ASTM D5185
Contenido de hierro	mg/L	--	1,0	ASTM D5185
<sup>a</sup> Para determinar los requisitos de la gasolina de 85 octanos (RON), se pueden utilizar cualesquiera de los métodos de ensayo establecidos.				
<sup>b</sup> Para determinar el Número de Octano Research en ciudades de altura, se debe considerar la ecuación descrita en NTE INEN 2102.				
<sup>c</sup> % corresponde a la fracción de volumen expresada en porcentaje.				
<sup>d</sup> % corresponde a la fracción de masa expresada en porcentaje.				

Fuente: INEN, 2021, pág. 4.

**ANEXO N: REQUISITOS DE GASOLINA SUPER 92 OCTANOS (RON)**

Requisitos	Unidad	Mínimo	Máximo	Método de ensayo <sup>a</sup>
Número de Octano Research <sup>b</sup> (RON)	--	92,0	--	NTE INEN 2102 ASTM D2699
Temperatura de destilación:				ASTM D86
10 %	°C	--	70	
50 %	°C	77	121	
90 %	°C	--	190	
Punto final de ebullición	°C	--	220	
Residuo de destilación	% <sup>c</sup>	--	2,0	
Temperatura para la relación vapor/líquido igual a 20	°C	56,0	--	ASTM D5188
Presión de vapor	kPa	--	60,0	ASTM D323 ASTM D4953 ASTM D5191
Corrosión a la lámina de cobre (3 h a 50 °C)	--	--	No. 1	ASTM D130
Contenido de gomas	mg/100 mL	--	4,0	ASTM D381
Contenido de azufre	% <sup>d</sup>	--	0,0450	ASTM D2622 ASTM D4294 ASTM D5453
Contenido de aromáticos	% <sup>e</sup>	--	35,0	ASTM D1319 ASTM D6730 ASTM D6733
Contenido de benceno	% <sup>c</sup>	--	2,00	ASTM D3606 ASTM D5580 ASTM D6277 ASTM D6730
Contenido de olefinas	% <sup>e</sup>	--	25,0	ASTM D1319 ASTM D6730 ASTM D6733
Estabilidad a la oxidación	min	240	--	ASTM D525 ASTM D7525
Contenido de plomo	mg/L	--	1,0	ASTM D3237 ASTM D5059 ASTM D5185
Contenido de manganeso	mg/L	--	1,0	ASTM D3831 ASTM D5185
Contenido de hierro	mg/L	--	1,0	ASTM D5185
<sup>a</sup> Para determinar los requisitos de la gasolina de 92 octanos (RON), se pueden utilizar cualesquiera de los métodos de ensayo establecidos. <sup>b</sup> Para determinar el Número de Octano Research en ciudades de altura, se debe considerar la ecuación descrita en NTE INEN 2102. <sup>c</sup> % corresponde a la fracción de volumen expresada en porcentaje. <sup>d</sup> % corresponde a la fracción de masa expresada en porcentaje.				

Fuente: INEN, 2021, pág. 6.

## ANEXO O: PLANIFICACION REALIZADA EN GANTT PROJECT



Realizado por: Silva, J & Simba, M. 2024.



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**CERTIFICADO DE CUMPLIMIENTO DE LA GUÍA PARA**  
**NORMALIZACIÓN DE TRABAJOS DE FIN DE GRADO**

Fecha de entrega: 31/07/2024

**INFORMACIÓN DEL AUTOR**

**Nombres – Apellidos:** Jonathan Josué Silva Gamboa  
Mauricio Xavier Simba Rodríguez

**INFORMACIÓN INSTITUCIONAL**

**Facultad:** Mecánica

**Carrera:** Ingeniería Automotriz

**Título a optar:** Ingeniero Automotriz

  
Ing. Paúl Alejandro Montufar Paz

**Director del Trabajo de Integración Curricular**

  
Ing. Fernando Mauricio Tello Oquendo

**Asesor del Trabajo de Integración Curricular**