

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA AUTOMOTRIZ

*Trabajo de titulación previo
a la obtención del título de
Ingeniero Mecánico Automotriz*

PROYECTO TÉCNICO:

**“ANÁLISIS TRIBOLÓGICO ENTRE SEGMENTO Y CILINDRO DEL MOTOR
HYUNDAI AVANTE 1.5L, MEDIANTE EL MÉTODO DE ARRASTRE PARA
DETERMINAR SU EFICIENCIA ENERGÉTICA”**

AUTORES:

ANGEL ALFREDO BARRERA LAZO
CLAUDIO ANDRÉS NIEVES MERCHÁN

TUTOR:

ING. RAFAEL WILMER CONTRERAS URGILÉS, MSC.

CUENCA - ECUADOR

2021

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, Angel Alfredo Barrera Lazo con documento de identificación N° 0107180093 y Claudio Andrés Nieves Merchán con documento de identificación N° 0105936991, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación: **“ANÁLISIS TRIBOLÓGICO ENTRE SEGMENTO Y CILINDRO DEL MOTOR HYUNDAI AVANTE 1.5L, MEDIANTE EL MÉTODO DE ARRASTRE PARA DETERMINAR SU EFICIENCIA ENERGÉTICA”**, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: *Ingeniero Mecánico Automotriz*, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En la aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, octubre de 2021.

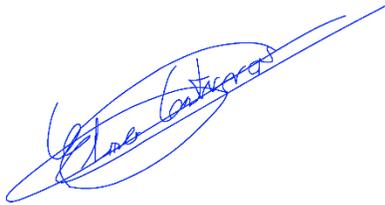
Angel Alfredo Barrera Lazo
C.I. 0107180093

Claudio Andrés Nieves Merchán
C.I. 0105936991

CERTIFICACIÓN

Yo, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **“ANÁLISIS TRIBOLÓGICO ENTRE SEGMENTO Y CILINDRO DEL MOTOR HYUNDAI AVANTE 1.5L, MEDIANTE EL MÉTODO DE ARRASTRE PARA DETERMINAR SU EFICIENCIA ENERGÉTICA”**, realizado por Angel Alfredo Barrera Lazo y Claudio Andrés Nieves Merchán, obteniendo el *Proyecto Técnico* que cumple con los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, octubre de 2021.



Ing. Wilmer Rafael Contreras Urgilés, MSc.

C.I. 010446332-8

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, Angel Alfredo Barrera Lazo con documento de identificación N° 0107180093 y Claudio Andrés Nieves Merchán con documento de identificación N° 0105936991, autores del trabajo de titulación: **“ANÁLISIS TRIBOLÓGICO ENTRE SEGMENTO Y CILINDRO DEL MOTOR HYUNDAI AVANTE 1.5L, MEDIANTE EL MÉTODO DE ARRASTRE PARA DETERMINAR SU EFICIENCIA ENERGÉTICA”**, certificamos que el total contenido del *Proyecto Técnico*, es de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Cuenca, octubre de 2021.



Angel Alfredo Barrera Lazo
C.I. 0107180093



Claudio Andrés Nieves Merchán
C.I. 0105936991

DEDICATORIA

Este trabajo de tesis va dedicado a mi querida familia mis padres: María y Claudio, mi hermana Rosa quien a pesar de la distancia siempre me brinda su apoyo, a mis hermanos: Carlos y Jonathan.

A las personas que me encaminaron para seguir la vida universitaria Flavio Pérez y su esposa Susana Matute.

A Don Carlos Molina, siempre estaré agradecido por sus grandes enseñanzas, su valentía y fortaleza para enfrentarse a las diferentes circunstancias de vida, será recordado como una excelente persona que fue.

A Diana Domínguez, por demostrarme su amor y apoyo durante el transcurso de estos años.

Dedico también a mis familiares y amigos, por compartir en los momentos más complicados y en los más alegres.

Angel Alfredo Barrera Lazo

DEDICATORIA

El siguiente proyecto dedico a mis seres queridos, a mis padres Imelda y Segundo, a mi hermano Julio que a pesar de la distancia este sueño se ve hecho realidad gracias a él, a mis demás hermanos Soledad, Pablo, Eugenia, Ana, Félix, Gabriela, a mis sobrinos, amigos, a Anabel que gracias a su infinita paciencia y sabiduría ha logrado guiarme por el camino de la educación enseñándome a ser una persona de bien y dedicada a su familia.

Claudio Andrés Nieves Merchán

AGRADECIMIENTO

A Dios y la Virgen por guiarme y bendecirme cada día para vivir esta gran experiencia en el recorrido de la universidad.

A mi hermana Rosa, por ser ejemplo de hermana y madre ser perseverante en sus estudios.

A mi mami María, por siempre brindarme su apoyo y aliento en los momentos más difíciles.

A mi papi Claudio, por su apoyo incondicional durante todo este tiempo.

Al Ing. Cristian Bermeo y su esposa Lorena Sarmiento, por su acogida en su taller, con su paciencia supo enfocarme en el mundo laboral.

Y por último un profundo agradecimiento al Ing. Wilmer Contreras, por estar siempre presto a cualquier inquietud y guiarnos para un buen desarrollo de este proyecto.

Angel Alfredo Barrera Lazo

AGRADECIMIENTO

Primeramente, doy gracias a Dios por brindarme sabiduría y entendimiento a lo largo de esta carrera universitaria, ha sabido guiarme de la mejor manera para no darme por vencido.

Tengo la dicha de agradecer a mi madre María Imelda Merchán que con su amor incondicional ha sabido transmitirme todo su cariño, amor y fortaleza para no darme por vencido en esta etapa de mi vida, este logro se lo dedico a ella que con todos sus deseos de no darme por vencido me ha permitido llegar a culminar un peldaño más de mi vida, gracias madre.

A mis hermanos: Soledad, Julio, María Eugenia, Pablo, Félix, Ana María, Gabriela y mis sobrinos también ustedes forman parte de este éxito.

Agradezco a mi persona favorita Anabel que, con todo su apoyo y amor incondicional, este logro también es gracias a ti.

De la misma manera agradecer al tutor de tesis el Ing. Rafael Wilmer Contreras Urgilés el mismo que nos ha guiado en el desarrollo de la tesis.

Claudio Andrés Nieves Merchán

RESUMEN

En el presente proyecto se explica la aplicación tribológica para determinar la eficiencia energética entre segmento y cilindro del motor Hyundai Avante 1.5 l, con enfoque al tipo de lubricante y variación de su temperatura entre los segmentos y cilindro.

En primer lugar, se realiza una investigación bibliográfica para catalogar los contactos tribológicos del motor, de los cuales se determinó que los más importantes son: conjunto pistón-segmentos y cilindro al ser atribuida cerca del 55% de pérdidas por fricción, además se revisa la metodología a emplearse para el desarrollo del presente proyecto, al ser el método de arrastre el que permite realizar pruebas con el encendido interrumpido del motor y sin culata.

En lo posterior se procedió a realizar pruebas pre-experimentales, al aplicar el método de arrastre y se obtuvo el valor de 8.02 (Nm). Al tener el valor de la magnitud a tratar, se selecciona la instrumentación necesaria para en el desarrollo del proyecto. Las instrumentaciones para la adquisición de los datos del torque son: un sensor de torque dinámico DYN-200, sensor de temperatura DS18B20 y un motor MY 1020. Se aplica un procedimiento para el muestreo de datos en la que se utiliza una tarjeta de adquisición de datos DAQ, para la selección y estudio de las señales del sensor se realiza en mayor aporte de la información y diferencias significativas con la aplicación de las viscosidades a diferentes temperaturas.

Con los datos adquiridos con la tarjeta DAQ se realizó una base datos en el software LabVIEW de torque vs temperatura vs revoluciones del motor. Las diferencias significativas entre las diferentes viscosidades se analizan a través del método estadístico ANOVA, que permite la evaluación del rendimiento energético del motor y compararlo con el rendimiento de fábrica. La potencia indicada por el fabricante del motor es de 49.52 Kw que atribuye al 100% de eficiencia energética. Con este estudio se estableció que existe una mayor eficiencia energética con el aceite lubricante 10w-30 a una temperatura de 70 °C con un valor de 46.65 Kw de potencia que atribuye al 95% de eficiencia energética y en el peor de los casos con el aceite lubricante 25w-60 a una temperatura de 20 °C con un valor 43.83 Kw que atribuye al 90% de eficiencia.

Palabras clave; Tribología, método del arrastre, segmentos del pistón, torque del MCIA, Eficiencia energética del MCIA.

SUMMARY

This project explains the tribological application to determine the energy efficiency between segments and cylinder of the Hyundai Avante 1.5 l engine, focusing on the type of lubricant and its temperature variation between the segments and cylinder.

First of all, a bibliographic research was carried out through institutional databases to catalog the tribological contacts of the engine, of which it was determined that the most important ones are: piston-segment and cylinder assembly, being attributed about 55% of friction losses.

Subsequently, pre-experimental tests were carried out, applying the drag method with interrupted ignition without cylinder head, to obtain the engine torque value and the value of 8.02 (Nm) was obtained. Knowing the order of magnitude of the measurement to be treated, the instrumentation necessary for the development of the project is selected. The instrumentations for the acquisition of the torque data are: a dynamic torque sensor DYN-200, temperature sensor DS18B20 and a MY 1020 motor, a rigorous sampling protocol is applied as well as a consequent statistical analysis through a DAQ data acquisition card, the selection and reduction of attributes of the sensor signal is done in greater contribution of the information and significant differences with the application of the viscosities at different temperatures.

With the data acquired by the sensors a database was made in LabVIEW software of torque vs temperature vs engine revolutions, the significant differences between the different viscosities are analyzed through the statistical method ANOVA, which allows the evaluation of the engine power performance and compare it with the factory performance. The power indicated by the engine manufacturer is 49.52 Kw which attributes to 100% energy efficiency, with this study it was established that there is a higher energy efficiency with the 10w-30 lubricating oil at a temperature of 70 °C with a value of 46.65 Kw of power which attributes to 95% energy efficiency and in the worst case with the 25w-60 lubricating oil at a temperature of 20 °C with a value of 43.83 Kw which attributes to 90% efficiency.

Keywords; Tribology, drag method, piston rings, MCIA torque, MCIA energy efficiency.

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	1
2. PROBLEMA	1
a. Antecedentes	1
b. Importancia y alcances	1
c. Delimitaciones	2
3. OBJETIVOS	3
3.1. Objetivo General.....	3
3.2. Objetivos Específicos	3
4. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
4.1. La tribología.....	5
4.1.1. La Fricción	6
4.1.2. El Desgaste	8
4.1.3. La Lubricación	11
4.2. Elementos constructivos del motor de combustión interna	20
4.2.1. Elementos Móviles	20
4.2.2. Elementos Fijos	24
4.3. Pérdidas mecánicas en un MCIA.....	26
4.3.1. Pérdidas por fricción	26
4.3.2. Factores que afectan a las pérdidas de fricción	28
4.4. Métodos Experimentales	29
4.4.1. Método de deceleración libre	29
4.4.2. Método de las rectas de Willans.....	29
4.4.3. Método de arrastre.....	30
4.4.4. Método Morse	30
4.4.5. Método del diagrama de indicador.....	30
4.5. Análisis de los contactos tribológicos y su clasificación.....	30
4.5.1. Clasificación según los regímenes de lubricación.....	30
4.5.2. Clasificación según las condiciones de lubricación.	33
4.5.3. Clasificación según el tipo de desgaste	34
4.6. Límites condonatorios de fricción entre el segmento y cilindro de un MCIA.....	34
5. MARCO METODOLÓGICO.....	37

5.1.	Aplicación metodológica de la investigación	37
5.2.	Desarrollo del ensayo experimental	38
5.3.	Revisión de la unidad experimental	40
5.4.	Montaje e Instrumentación.....	49
5.5.	Caracterización del sensor de torsión para el diseño	51
5.6.	Configuración para la toma de datos y categorización de la señal	55
5.7.	Toma de muestras y caracterización de la señal	63
5.8.	Atributos de las señales temporales (ANOVA)	64
6.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	70
6.1.	Resultados de los ensayos a 450 rpm.....	70
6.2.	Resultados de los ensayos a 850 rpm.....	73
6.3.	Comparación a diferentes temperaturas	77
6.4.	Comparaciones entre aceites	79
6.5.	Eficiencia energética del motor.....	82
6.6.	Comparación y resultados	90
7.	CONCLUSIONES	90
8.	RECOMENDACIONES	92
9.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	93
10.	ANEXOS	95

ÍNDICE DE FIGURA

Figura 1: Fuerza de fricción estática F_e . Fuente: (Castillo F. , 2007).....	7
Figura 2: Creación de la fuerza de fricción F_e . Fuente: (Castillo F. , 2007)	7
Figura 3: Principales tipos de desgaste. Fuente: (Autores)	9
Figura 4: Desgaste por adherencia. Fuente: (Hernández & Espejo, 2002)	9
Figura 5: Desgaste por fatiga. Fuente: (García, n.d.)	10
Figura 6: Desgaste por erosión. Fuente: (García, n.d.).....	10
Figura 7: Desgaste por corrosión. Fuente: (García, n.d.)	11
Figura 8: Curva de Stribeck. Fuente: (García, n.d.)	12
Figura 9: Régimen de lubricación hidrodinámico. Fuente: (García, n.d.).....	13
Figura 10: Régimen de lubricación límite. Fuente: (Norton, 2015).....	14
Figura 11: Clase de aceites lubricantes y su composición. Fuente: (Sanz, 2017).....	15
Figura 12: Tipos de estructuras de la composición del aceite mineral. Fuente:(López, 2018)	15
Figura 13: Esquema de una planta de “Blending”. Fuente:(López, 2018).....	16
Figura 14: Tipo de aceites sintéticos. Fuente: (Autores).....	16
Figura 15: La viscosidad. Fuente:(García, n.d.)	18
Figura 16: Formas de viscosidad. Fuente: (Autores)	18
Figura 17: El índice de viscosidad. Fuente: (García, s.f.)	19
Figura 18: Ensayos sobre puntos de inflamación. Fuente:(García, n.d.).....	20
Figura 19: Pistón. Fuente: (Escudero, 2015).....	21
Figura 20: Segmentos del pistón. Fuente: (Escudero, 2015).....	22
Figura 21: Bulón del pistón. Fuente: (Escudero, 2015)	22
Figura 22: Biela. Fuente: (Escudero, 2015)	23
Figura 23: Volante motor bimasa y antivibrador. Fuente: (Escudero, 2015).....	24
Figura 24: Cabezote. Fuente: (Escudero, 2015).....	25
Figura 25: Carter. Fuente: (Escudero, 2015).....	25
Figura 26: Cigüeñal. Fuente: (Escudero, 2015)	26
Figura 27: Distribución de pérdidas por fricción en un MCIA. Fuente:(Iniesta, 2016).....	26
Figura 28: Desgaste generado por los segmentos del pistón en la camisa. Fuente:(López, 2018) 27	
Figura 29: Distribución de pérdidas por fricción en el cilindro. Fuente: (Iniesta, 2016).....	27
Figura 30: Distribución de pérdidas por fricción en los segmentos. Fuente:(Iniesta, 2016).....	28
Figura 31: Variación del coeficiente de película. Fuente: (Payri, 2011).....	31
Figura 32: Segmento de fuego. Fuente:(Iniesta, 2016)	31
Figura 33: Segmento de compresión. Fuente:(Iniesta, 2016).....	32
Figura 34: Segmento de aceite. Fuente: (Iniesta, 2016)	32
Figura 35: Aceites recomendados por Hyundai. Fuente: (Company, 2010).....	36
Figura 36: Partículas metálicas en suspensión en el aceite y su procedencia. Fuente:(Guerrero, 2016).....	36
Figura 37: Diagrama de flujo de los procesos de la metodología. Fuente: (Autores).....	37
Figura 38: Par necesario para el arrastre sin lubricación. Fuente: (Autores)	38
Figura 39: Motor Hyundai Avante 1.5 l. Fuente: (Autores).....	41
Figura 40: Motor eléctrico MY 1020. Fuente: (Autores).....	42
Figura 41: Sensor DYN-200 30Nm. Fuente: (Autores)	43
Figura 42: DAQ NI USB-6212. Fuente: (Autores).	44
Figura 43: Arduino uno. Fuente: (Autores).....	45
Figura 44: Sensor de temperatura DS18B20. Fuente: (Autores).....	46

Figura 45: Baño Maria para laboratorio. Fuente: (Autores).....	46
Figura 46: Software Arduino. Fuente: (Autores)	47
Figura 47: Software LabVIEW. Fuente: (Autores)	47
Figura 48: Batería. Fuente: (Autores).....	48
Figura 49: Motor Hyundai Avante 1.5L. Fuente: (Autores)	50
Figura 50: Acoples del ensamble. Fuente: (Autores).....	50
Figura 51: Bases para el motor eléctrico. Fuente: (Autores).....	51
Figura 52: Ensamble completo de la maqueta. Fuente: (Autores)	51
Figura 53: Toma de datos del sensor de torque DYN-200. Fuente: (Autores)	52
Figura 54: Ajuste de la curva. Fuente: (Autores)	53
Figura 55: Línea de tendencia. Fuente: (Autores).....	53
Figura 56: Opciones de línea de tendencia. Fuente: (Autores)	54
Figura 57: Presentar ecuación y valor de R. Fuente: (Autores)	54
Figura 58: Curva característica del sensor de torque. Fuente: (Autores)	55
Figura 59: Programación para leer datos de la temperatura. Fuente: (Autores).....	55
Figura 60: Estructura de adquisición de datos. Fuente: (Autores)	56
Figura 61: Reconocimiento de la tarjeta DAQ con el ordenador. Fuente: (Autores).....	56
Figura 62: Crear un nuevo proyecto en LabVIEW. Fuente: (Autores)	57
Figura 63: Asignación de los canales para los voltajes de entrada. Fuente: (Autores)	57
Figura 64: Configuración de parámetros para la toma de datos. Fuente: (Autores)	58
Figura 65: Conexión del sensor de torsión. Fuente: (Autores).....	58
Figura 66: Desarrollo del programa en el Block Diagram. Fuente: (Autores).....	59
Figura 67: Bloques de programación para la adquisición de datos. Fuente: (Autores).....	59
Figura 68: DAQ Assistant. Fuente: (Autores).....	60
Figura 69: Programación y datos de la curva característica del sensor de torque. Fuente: (Autores)	60
Figura 70: Bloque de programación para guardar los datos. Fuente: (Autores)	60
Figura 71: Programación para el sensor de temperatura DS18B20. Fuente: (Autores)	61
Figura 72: Puerto de comunicación. Fuente: (Autores)	61
Figura 73: Programación del sensor de temperatura. Fuente: (Autores).....	61
Figura 74: Impresión de los datos de ambos sensores en archivo xls. Fuente: (Autores).....	62
Figura 75: Contador de datos. Fuente: (Autores)	62
Figura 76: Panel frontal de programación. Fuente: (Autores).....	63
Figura 77: Proceso de adquisición de datos. Fuente: (Autores)	64
Figura 78: Dirección de entrada Minitab. Fuente: (Autores)	64
Figura 79: Ingreso de los datos estadísticos en el MINITAB. Fuente: (Autores)	65
Figura 80: Método estadístico ANOVA. Fuente: (Autores)	65
Figura 81: Modelo lineal general para respuestas y factores. Fuente: (Autores)	66
Figura 82: Variables para el análisis. Fuente: (Autores)	66
Figura 83: Nivel de confianza del tipo de intervalos. Fuente: (Autores)	67
Figura 84: Tipo de gráficas para el análisis. Fuente: (Autores)	67
Figura 85: Resultados de residuos vs ángulos. Fuente: (Autores)	68
Figura 86: Análisis de variación. Fuente: (Autores).....	69
Figura 87: Agrupación mediante el método de Tukey. Fuente: (Autores).....	69
Figura 88: Curva de potencia por pérdidas mecánicas de los segmentos, del aceite 10w-30. Fuente: (Autores).....	83

Figura 89: Curva de potencia real indicada y curva de potencia por pérdidas mecánicas. . Fuente: (Autores).....	84
Figura 90: Curva de potencia por pérdidas mecánicas de los segmentos, del aceite 20w-50. Fuente: (Autores).....	85
Figura 91: Curva de potencia real indicada y curva de potencia por pérdidas mecánicas. . Fuente: (Autores).....	85
Figura 92: Curva de potencia por pérdidas mecánicas de los segmentos, del aceite 25w-60. Fuente: (Autores).....	86
Figura 93: Curva de potencia real indicada y curva de potencia por pérdidas mecánicas. Fuente: (Autores).....	87
Figura 94: Eficiencia del motor con diferentes lubricantes. Fuente: (Autores)	88
Figura 95: Distribución de las pérdidas mecánicas en un MEC. Fuente: (Payri & Desantes, 2011)	88
Figura 96: : Distribución de las pérdidas mecánicas en un MEC. Fuente: (Autores)	90

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Valores de coeficientes de fricción. Fuente:(Castillo, 2007)	8
Tabla 2: Límites de regímenes de lubricación. Fuente: (Blázquez, 2016)	12
Tabla 3: Viscosidad cinemática. Fuente:(García, n.d.)	17
Tabla 4: Viscosidad cinemática. Fuente: (Autores)	19
Tabla 5: Regímenes de lubricación. Fuente: (Autores).....	33
Tabla 6: Tipos de desgaste en diversas partes del motor. Fuente: (Autores)	34
Tabla 7. Límites de desgaste y degradación en los aceites de MCIA. Fuente: (Estrada, 2013)....	35
Tabla 8: Variables de entrada. Fuente: (Autores).....	39
Tabla 10: Factores de Interferencia. Fuente: (Autores).....	40
Tabla 11: Características del motor Hyundai Avante 1.5L. Fuente: (Autores).....	41
Tabla 12: Características del motor eléctrico MY 1020. Fuente: (Autores)	42
Tabla 13: Sensor de Torsión DYN-200. Fuente: (Autores)	43
Tabla 14: Características de la DAQ NI USB-6212. Fuente: (Autores)	44
Tabla 15: Características tarjeta Arduino Uno. Fuente: (Autores).....	44
Tabla 16: Características del cable. Fuente: (Autores).....	45
Tabla 17: Características sensor de Temperatura DS18B20. Fuente: (Autores).....	45
Tabla 18: Batería 12 V en DC. Fuente: (Autores).....	48
Tabla 19: Características aceite 10w-30, 20w-50, 25w-60. Fuente: (Autores).....	49
Tabla 20: Caracterización del sensor DYN-200. Fuente: (Autores)	52
Tabla 21: Resultado de las pruebas a 450 rpm a 20°C. Fuente: (Autores).....	70
Tabla 22: Resultado de las pruebas a 450 rpm a 40 °C. Fuente: (Autores).....	71
Tabla 23: Resultado de las pruebas a 450 rpm a 70°C. Fuente: (Autores).....	72
Tabla 24: Resultado de las pruebas a 850 rpm a 20°C. Fuente: (Autores).....	73
Tabla 25: Resultado de las pruebas a 850 rpm a 40°C. Fuente: (Autores).....	73
Tabla 26: Resultado de las pruebas a 850 rpm a 70°C. Fuente: (Autores).....	73
Tabla 27: Resultados de los aceites a diferentes temperaturas. Fuente: (Autores)	77
Tabla 28: Resultado de las pruebas a 850 rpm a diferentes temperaturas. Fuente: (Autores)	78
Tabla 29: Comparación de los tres tipos de aceite a 850 rpm. Fuente: (Autores).....	80
Tabla 30: Resultado de las pruebas comparaciones de Tukey. Fuente: (Autores).....	81
Tabla 31: Cálculos obtenidos de kW a Bar. Fuente: (Autores).....	89

1. INTRODUCCIÓN

El desgaste es uno de los fenómenos más importantes dentro del estudio para la industria en el ámbito mundial, debido a que cualquier rama de la tecnología y maquinaria, está ligada a fenómenos relativos al movimiento. Es así que dentro del sector automotriz los motores han experimentado mejoras continuas durante el transcurso de los años, en los procesos de mayor rendimiento, producción de menor emisiones contaminantes y reducción de consumo de combustible.

Al comprender el comportamiento tribológico de los elementos móviles del motor es una forma de poder reducir estos factores que generan grandes pérdidas económicas, esta ciencia y tecnología estudia los procesos de fricción, desgaste y lubricación de las zonas en contacto que están expuestas a movimientos relativos entre ellas, esta rama científico-técnico ha favorecido ampliamente al desarrollo de los sistemas mecánicos.

Las pérdidas que producen principalmente por fricción mecánica en un MCI están ligadas a los elementos pistón-segundo-camisa, con un porcentaje cercano al 55%. Estos estudios relevantes hicieron que los segmentos-cilindro sea el foco de investigación y ensayos experimentales, (Linares, 2005)

2. PROBLEMA

a. Antecedentes

La fricción o rozamiento es un fenómeno que, a pesar de que en un motor de combustión es casi imposible evitar, debe ser reducido al máximo posible ya que provoca una pérdida de energía en manera de calor que debe ser aportada por el combustible. El estudio tribológico es una herramienta para reducir esta pérdida energética que aplicado a la industria automotriz actual ha demostrado un avance tecnológico en superficies de fricción, lubricantes y por ende en la eficiencia energética. Los estudios que determinan este tema en la Universidad Politécnica Salesiana y en la carrera de Ingeniería Automotriz son pocos por lo que a través de este trabajo se pretende crear una base teórica de este tema en específico. (Ronda, 2017)

b. Importancia y alcances

Esta investigación tiene la finalidad de generar conocimientos referentes al comportamiento tribológico entre segmento y cilindro de un MCI, por medio del método de arrastre. Con un sensor de torsión dinámico se obtendrá una base de datos para el análisis de las pérdidas mecánicas entre segmentos y cilindro. Lo cual, permitirá reducir niveles de incertidumbre con respecto al

comportamiento de los elementos que generan mayor desgaste dentro del motor como son los segmentos-cilindro, Joseph James en su trabajo final de master, presenta el porcentaje de pérdidas por fricción mecánicas con el conjunto pistón-segmento-camisa, que toma su atribución cercana al 55%. Que, tiene un efecto negativo para el rendimiento del motor. Adicionalmente los datos obtenidos de esta investigación podrán ser de utilidad para futuras investigaciones encaminadas hacia el estudio de los desgastes internos de un motor de combustión interna alternativos.(Iniesta, 2016)

c. Delimitaciones

i. De contenido

El presente trabajo de grado se lo realizará dentro de la carrera de Ingeniería Mecánica Automotriz, incluidas diferentes áreas como es la Termodinámica, diseño de elementos, Análisis estadístico, al considerar como fuentes de consulta bases de proyectos desarrolladas por diferentes autores afines con el tema.

ii. Espacial

La presente investigación se realiza en un motor Hyundai Avante 1.5 L, de combustión interna alternativo, que se encuentra en los laboratorios de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca en el área de Ingeniería Mecánica Automotriz.

iii. Temporal

El análisis de los contactos tribológicos entre segmento y cilindro del motor Hyundai Avante 1.5 l, en el que se aplicará el método de arrastre, se realizará desde febrero del 2021 hasta agosto de 2021.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo General

Analizar el contacto tribológico entre segmento y cilindro del motor Hyundai Avante 1.5 l, mediante el método de arrastre para determinar la eficiencia energética del motor.

3.2. Objetivos Específicos

- Realizar una investigación bibliográfica a través de las bases de datos institucionales para catalogar el fundamento teórico del comportamiento tribológico, presente en diferentes elementos en contacto del motor.
- Analizar los contactos tribológicos existentes en un motor de combustión interna alternativo a través de sus características principales para su clasificación.
- Describir los límites condonatorios de fricción que existen entre el segmento y cilindro del motor Hyundai Avante 1.5L.
- Realizar el análisis del contacto tribológico entre segmento y cilindro en el que se aplicará el método experimental de arrastre al motor Hyundai Avante 1.5L en los laboratorios de la Universidad Politécnica Salesiana.

4. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Historia y evolución de la tribología.

La tribología desde una forma tradicional ha existido desde el comienzo de la historia sin embargo hay dificultades para especificar con claridad la fecha específica en la que sucedieron sus desarrollos, sus comienzos con hallazgo del fuego, con la invención de la rueda para carruajes y el cojinete de deslizamiento, la aplicación de líquidos naturales para disminuir el rozamiento y el desgaste, son invenciones tribológicas muy sofisticados que se descubren antes de Cristo.

El estudio científico tribológico tiene una larga historia, y muchas de las leyes básicas de la fricción, como la proporcionalidad entre la fuerza normal y fuerza de fricción limitante, fueron creadas por el genio del Renacimiento, Leonardo da Vinci. En 1485 en el Códice Madrid I Da Vinci describe el aporte con sus estudios experimentales de los fenómenos más destacados como son de rozamiento y desgaste.(Popov, 2020)

Los descubrimientos de da Vinci se abandonaron para ser redescubiertos en (1699) 200 años después por Guillaume Amontons, un físico de origen francés al que se atribuye como ley de Amonton la proporcionalidad entre la fuerza de fricción y la fuerza normal. Para los años de (1750)

Leonardo Euler se enfocó a la investigación del rozamiento desde otra perspectiva matemática experimental. Euler dio solución al problema del rozamiento de la cuerda, al introducir la desigualdad a entre la fuerza de rozamiento estática y dinámica. Otra atribución importante para Euler es la notación para el coeficiente de fricción

Charles Agustín llegó con la siguiente contribución al publicar su libro “Théorie des Machines Simples” en (1781), al marcar la distinción, desde el punto de vista cuantitativo, entre la fricción estática y dinámica. Coulomb fue más allá de Euler, al desarrollar la contribución de la adherencia. En los años (1841-1842) Morin y Dupuit disputaron de cómo debería formularse la ley del rozamiento, para Morin el rozamiento rodante debería ser inversamente proporcional al radio de la rueda, por otra parte, Dupuit defendía la proporcionalidad inversa al cuadrado del radio, estas dos posturas hoy en día son correctas en condiciones diferentes.(Popov, 2020)

Sin embargo, en los años de (1886) se publica la teoría de lubricación hidrodinámica realizada por Reynolds, que hoy se constituye la base para el cálculo en sistema hidrodinámicamente lubricado. Por otra parte, en (1902) aparece la curva de Stribeck donde representa la dependencia de la fuerza de rozamiento con la velocidad de deslizamiento. Es así que en 1966 se da el reporte homónimo “The Jost Report” (en honor al Dr. Hans Peter Jost) padre de la ciencia moderna que estudia la fricción, el desgaste y la lubricación, considerándose esta fecha como el nacimiento de la tribología como ciencia.(Castillo Herrera & Toapanta Cunalata, 2019)

Por otra parte, en (1972) se dan a conocer los experimentos de Dieterich donde demuestra que hay una relación entre el coeficiente de fricción estático que va crece paulatinamente, con el tiempo de contacto y el coeficiente de fricción dinámico que depende directamente de la velocidad de deslizamiento.(Popov, 2020). Posteriormente en el año (1973) se desarrolla el primer congreso europeo de tribología y en (1998) el Primer Congreso Mundial de Tribología en Inglaterra.(Castillo Herrera & Toapanta Cunalata, 2019)

En enero del 2010 un estudio introductorio a la aplicación de la tribología en el campo de la Biomecánica en las articulaciones del ser humano, toma en consideración que todas las articulaciones del ser humano constituyen sistemas tribológicos. Estos se establecen por dos cuerpos sólidos distanciados por un lubricante para evitar lo más posible la fricción y el desgaste, al ser similar a distintos sistemas mecánicos, esas articulaciones se desgastan producto de la fricción.(Navarro, 2010)

Los avances a finales del siglo XX e inicios del siglo XXI en tribología han permitido la aplicación de esta en nuevas áreas de investigación y desarrollo como son los sistemas micro electromecánicos y nanos electromecánicos (NES), las aplicaciones aeroespaciales, la mejora del rendimiento de los motores, los aditivos nanos articulados, los productos de cosméticos y medicinales y el diseño de estructuras y materiales basados en sistemas biológicos que sean más respetuosos con el medio ambiente.(Chimeno, 2019)

4.1. La tribología

La tribología proviene de las palabras griegas “tribos”, que se refiere al frotamiento o rozamiento y “logos” que significa estudio, es así que, el significado literal es “la ciencia del frotamiento”.

La tribología se vincula con la ciencia y tecnología que se enfoca en la investigación de la fricción, el desgaste y la lubricación de las diferentes superficies que están sometidas a contactos con movimientos relativos entre ellas, esta disciplina científico-técnica ha permitido mejorar el desarrollo para los sistemas mecánicos, al tener en cuenta esta disciplina se podrán disminuir las pérdidas como son:

- Las pérdidas de energía.
- Las pérdidas por periodos de tiempo improductivos,
- Las pérdidas de piezas por desgastes excesivos
- Las pérdidas económicas para la reparación y mantenimiento de equipos.

Al tener en cuenta lo anterior trae como resultado máquinas y equipos de alta productividad, durabilidad y fiabilidad.(Castillo Herrera & Toapanta Cunalata, 2019)

En el presente trabajo se enfoca a la tribología en el estado de la pérdida energética del motor.

4.1.1. La Fricción

Al aproximar dos superficies rígidas, el roce que se encuentra en ellas se produce en estas partes aisladas, en los puntos de unión son muy pocos o demasiados, llamada zona de contacto real. Si se utiliza una fuerza normal sobre estos puntos, será la encargada de generar fricción. (Peña, 2002)

En relación al término de la fricción es la pérdida gradual de energía cinética en distintas situaciones, donde los cuerpos o las sustancias se relacionan entre sí. Como resultado, la fricción se puede definir como lo opuesto a un cuerpo cuando se desplaza tangencialmente sobre otro con el que está en contacto. Se explica en términos de coeficiente específico para el material.

Se deben considerar las siguientes leyes de fricción.(Peña, 2002)

- ❖ **Primera ley:** La fricción es igual al peso-carga
- ❖ **Segunda ley:** El coeficiente de fricción es libre del espacio aparente de contacto.
- ❖ **Tercera ley:** El coeficiente de fricción estático a comparación del coeficiente de fricción dinámico es mayor.
- ❖ **Cuarta ley:** El coeficiente de fricción es independiente con relación a la velocidad de deslizamiento.

La primera ley es correcta menos en circunstancias de alta presión donde el área real de contacto se acerca al área supuesta de contacto. La segunda ley únicamente es válida para materiales rígidos como los metales que contienen puntos definidos de contacto, pero no es aplicable a materiales con propiedades plásticas o visco-plásticas. La tercera ley no es aplicable a materiales visco-plásticos, los cuales no presentan coeficiente de fricción estática. La cuarta ley, de la misma manera, no es aplicable a materiales como los elastómeros sino sólo en metales.(Castillo, 2007)

4.1.1.1. Tipos de fricción.

- **Fuerza de fricción estática.**

La fuerza de fricción estática es la fuerza de fricción que está presente entre dos objetos que no se encuentran en movimiento relativo. Como se observa en la figura 1, la fuerza F aplicada sobre el bloque de peso $W = mxg$ acrecienta progresivamente, pero el bloqueo persiste estáticamente, en este caso la aceleración es nula la fuerza que se emplea es la misma y contraria a la fuerza de rozamiento estático F_e .

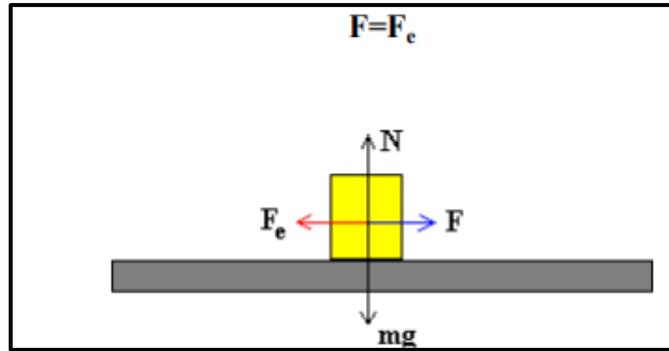


Figura 1: Fuerza de fricción estática F_e . Fuente: (Castillo F. , 2007)

En la ecuación 1, indica que la máxima fuerza de fricción corresponde al momento en que el bloque está a punto de deslizar.

$$F_{em\acute{a}x} = \mu_e * N \quad (1)$$

La constante de proporcionalidad μ_e se designa coeficiente de rozamiento estático

- **Fuerza de fricción cinética.**

En el caso de tener un movimiento relativo entre dos superficies, se enfoca a una fricción cinética. En la figura 2, se observa un bloque movido por una fuerza F horizontal. Se tiene un peso $m * g$ en la que actúa sobre el bloque a una fuerza normal N que es semejante al peso, y la fuerza de rozamiento F_k entre el bloque y el plano sobre el cual desliza, al aplicar la ecuación 2, si el bloque resbala con una velocidad constante la fuerza aplicada F será la misma a la fuerza de rozamiento F_k , la fuerza de rozamiento dinámico F_k es igual a la fuerza normal N.

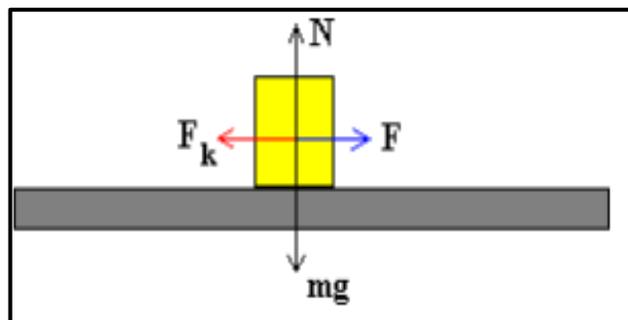


Figura 2: Creación de la fuerza de fricción F_e . Fuente: (Castillo F. , 2007)

$$F_k = \mu_k * N \quad (2)$$

Donde

F_k =Fuerza de rozamiento cinético (N)

μ_k *= coeficiente de rozamiento cinético

N =Fuerza normal (N)

- **Valores de los coeficientes de fricción.**

En la Tabla 1, se observan los coeficientes de fricción estático y dinámico estos son valores adimensionales y característico de los materiales que están en contacto, que resultan de la división entre la fuerza de fricción y la normal.(Castillo, 2007)

Tabla 1: Valores de coeficientes de fricción. Fuente:(Castillo, 2007)

Valores de coeficientes de fricción.		
Materiales en contacto	Fricción estática	Fricción cinética
Hielo//Hielo	0.1	0.03
Vidrio//Vidrio	0.9	0.4
Madera//Cuero	0.4	0.3
Madera//Piedra	0.7	0.3
Acero//Acero	0.74	0.57
Acero//Hielo	0.03	0.02
Acero//Latón	0.5	0.4
Acero//Teflón	0.04	0.04
Teflón//Teflón	0.04	0.04
Caucho//Cemento (seco)	1.0	0.8
Caucho//Cemento (húmedo)	0.3	0.25
Cobre//Hierro (fundido)	1.1	0.3
Esquí(encerado)//Nieve(0°C)	0.1	0.05
Articulaciones humanas	0.01	0.003

Al producirse la fricción entre dos elementos que están en contacto, se genera una pérdida de material o desgaste el cual se analiza a continuación.

4.1.2. El Desgaste

El desgaste está relacionado como una pérdida de material al estar dos o más cuerpos en contacto sometidos a una fuerza y movimiento relativo, este proceso se da cuando las capas superficiales de un sólido se rompen o desprenden de la superficie, este desprendimiento del material puede ser progresivo, en la figura 3, se han distinguido seis tipos principales de desgaste. (Díaz, 2007)

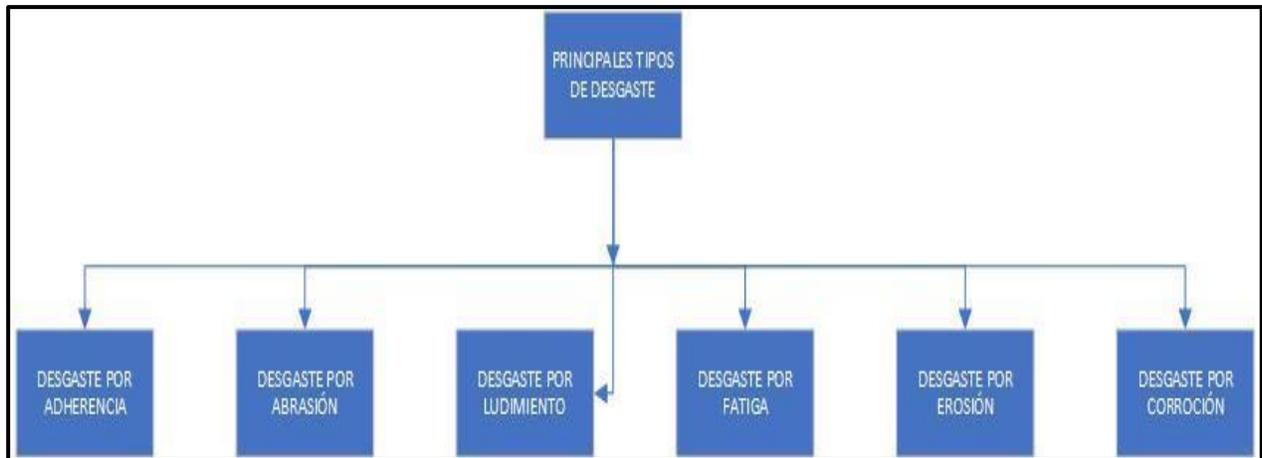


Figura 3: Principales tipos de desgaste. Fuente: (Autores)

4.1.2.1. Desgaste por adherencia

El desgaste por adherencia progresa rápidamente, la temperatura de la superficie no está controlada, puede suceder que no haya lubricante entre las superficies de desgaste. Debido a esta situación, cuando hay un movimiento relativo entre las partes de las piezas de baja presión, las irregularidades de la superficie del material más blando se fracturan y permanecen en las irregularidades de la parte más dura como se muestra en la figura 4. (Hernández & Espejo, 2002)

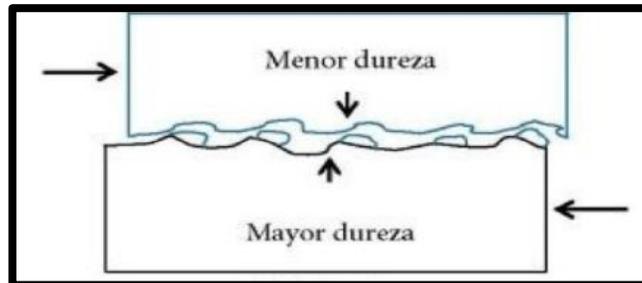


Figura 4: Desgaste por adherencia. Fuente: (Hernández & Espejo, 2002)

4.1.2.2. Desgaste por abrasión

El desgaste abrasivo se presenta en el momento que una superficie dura, entra en contacto con una superficie blanda, que provoca así la pérdida de material o ralladuras. No obstante, las ranuras abrasivas también se pueden encontrar en las pistas de desgaste de la fricción deslizante entre metales similares. Con lo cual pueden formarse partículas abrasivas durante el proceso de desgaste debido al endurecimiento por trabajo, las transformaciones de fase y la formación de un tercer cuerpo en la interfaz. (Gómez, 2007)

4.1.2.3. Desgaste por ludimiento.

El desgaste por ludimiento implica la iteración de algún fenómeno físico como es la fricción, el desgaste, la transferencia entre dos superficies en contacto. Además, se deben tener en cuenta las reacciones químicas, las que acontecen en la superficie y las intercaras, al estar se encuentran sometidos a un movimiento oscilatorio, inducido por vibraciones.(Totten, 2006)

4.1.2.4. Desgaste por fatiga.

Este tipo de desgaste produce un deslizamiento o rodadura cíclica repetido entre dos superficies cargadas. Las discontinuidades crean puntos de alta tensión que hacen que el área se cargue y descargue cíclicamente, por lo que da lugar a una deformación plástica de la superficie hacia adelante y hacia atrás, lo que lleva a la formación de grietas debajo de la superficie tensionada. A medida que las grietas se propagan por la superficie, pueden ocurrir deterioros, como resultado la destrucción de la pieza como se observa en la figura 5.(García, 2010)

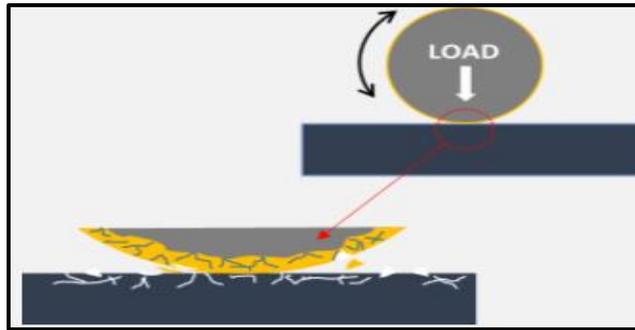


Figura 5: Desgaste por fatiga. Fuente: (García, n.d.)

4.1.2.5. Desgaste por erosión.

En la figura 6, se puede ver este tipo de desgaste que ocurre mientras las partículas afiladas chocan, de manera que se desprenden pequeños pedazos de material. Por lo general el desgaste erosivo se controla al filtrar el fluido para limitar el tamaño y la cantidad de partículas erosivas.(Hernández, 2002)

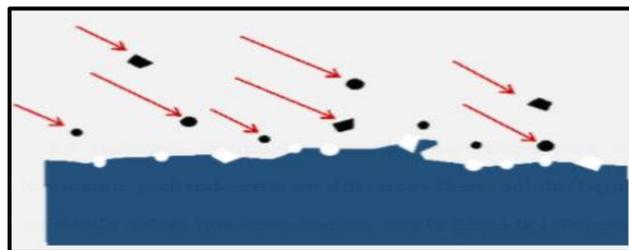


Figura 6: Desgaste por erosión. Fuente: (García, n.d.)

4.1.2.6. Desgaste por corrosión.

El desgaste corrosivo figura 7, ocurre en el instante que la pérdida o degradación del material, debido a reacciones químicas con la superficie de la pieza y el entorno circundante. Los ambientes incluyen humedad, agua salada, soluciones cáusticas, ácido, etc. El ataque puede ser uniforme en la superficie o intergranular (ataque realizado a través de los límites de grano). La corrosión se puede realizar como picaduras en la superficie o debajo de la superficie en el instante de la penetración ocurre en ambientes líquidos agresivos.

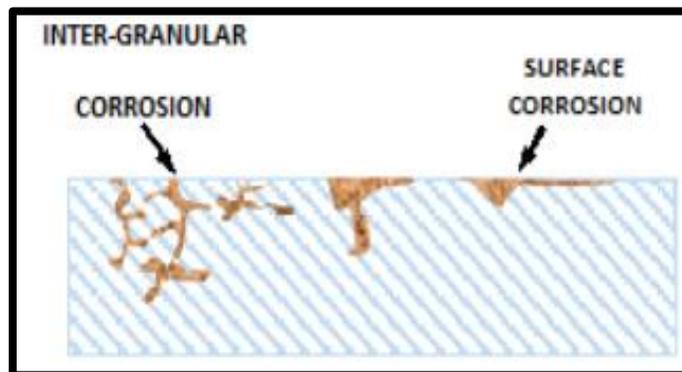


Figura 7: Desgaste por corrosión. Fuente: (García, 2010.)

Al encontrarse dos superficies en contacto con un movimiento relativo se genera una fricción consecuencia de esta un desgaste, para evitar esto se interponen entre estas dos superficies una película de lubricación del que se dará paso a su estudio del mismo.

4.1.3. La Lubricación

El objetivo de la lubricación es minimizar la fricción entre dos superficies que están sometidos a movimientos relativos, llegar a un rozamiento cero es imposible, para ello es necesario interponer entre las dos superficies una delgada capa (película) de lubricante que reduzca dicha fricción.

Las funciones principales de la lubricación son:

- Reducir el consumo de energía.
- Aumentar la durabilidad de las piezas.
- Eliminar el calor de piezas en movimiento.
- Reducir el daño causado por el contacto entre superficies al mínimo posible.
- Sellado de la cámara combustión
- Limpieza interna del motor

En función de la capacidad del lubricante para mantener separadas las superficies se establecen tres regímenes de lubricación: lubricación límite, lubricación mixta y lubricación hidrodinámica, Se establece la ecuación (5), para limitar de forma cuantitativa los diferentes regímenes de lubricación. Esta variable relaciona el espesor mínimo de la película lubricante (h), con la rugosidad media de las superficies (σ_1 y σ_2) en el que se obtiene el espesor específico de película (λ). (Blázquez, 2016)

$$\lambda = \frac{h}{\sigma} = \frac{h}{\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}} \quad (5)$$

Los valores del parámetro de la película como se ilustra en la siguiente Tabla 2, marcan los límites aproximados entre los regímenes de lubricación.

Tabla 2: Límites de regímenes de lubricación. Fuente: (Blázquez, 2016)

Límites de regímenes de lubricación	
Lubricación Límite	$\lambda < 1$
Lubricación mixta	$1 < \lambda < 2.5$
Lubricación hidrodinámica	$\lambda > 2.5$

En la figura 8, se indica la curva de Stribeck que representa el coeficiente de fricción según el parámetro específico de película (λ).

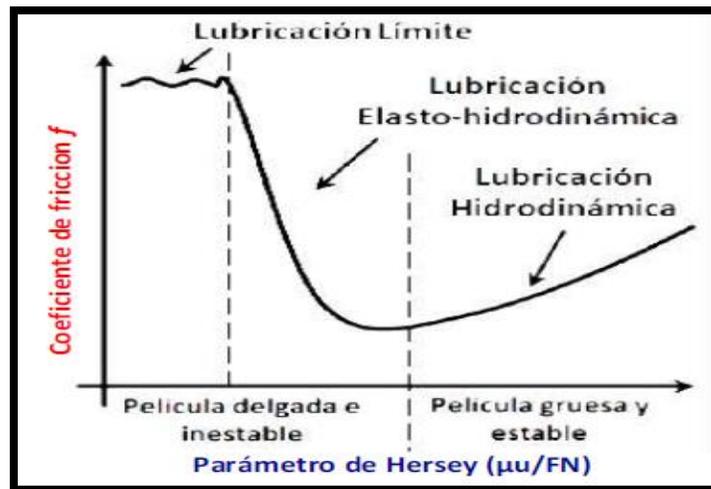


Figura 8: Curva de Stribeck. Fuente: (García, n.d.)

-Lubricación límite: La película de lubricante es mínima y se producen contactos entre las superficies, que originan micro soldaduras.

-Lubricación Mixta: Se produce una situación intermedia con fricciones ocasionales que coexisten con otras áreas con espesor de película.

-Lubricación Hidrodinámica: El fluido realiza una lubricación total, no existe el contacto entre las superficies.

4.1.3.1. Regímenes de lubricación

- **Régimen de lubricación hidrodinámica.**

Esta es la forma ideal de lubricación ya que dispone de baja fricción y mínimo desgaste, debido a que se logra que el espacio en un punto de contacto de deslizamiento sea ocupado por una película dinámica de fluido, como se observa en la figura 9. (Norton, 2015)

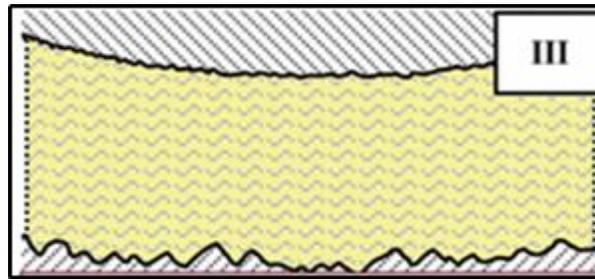


Figura 9: Régimen de lubricación hidrodinámico. Fuente: (García, n.d.)

Los fenómenos que promueven la lubricación hidrodinámica son:

- ❖ Desarrollo del trabajo a velocidad constante
- ❖ Temperatura estable del lubricante
- ❖ Un adecuado régimen de carga
- ❖ Una adecuada viscosidad del lubricante

Dentro de la lubricación existen diferentes regímenes de lubricación que se detallarán a continuación para el estudio de la tribología.

- **Régimen de lubricación límite.**

La lubricación límite vista en la figura 10, sucede en el instante que el espesor de la película de lubricante sea muy pequeño, lo cual no separa adecuadamente las superficies de los sólidos, lo que produce elevadas temperaturas y un desgaste debido a la fricción. (Norton, 2015)

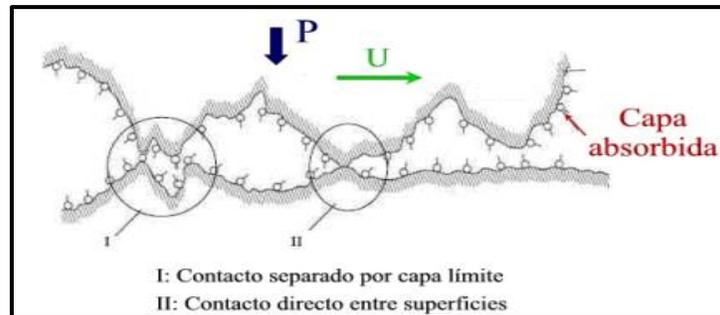


Figura 10: Régimen de lubricación límite. Fuente: (Norton, 2015)

- **Régimen de lubricación mixta**

Están presentes al estar las superficies de trabajo parcialmente alejadas por una película de lubricante, al estar la carga únicamente aguantada por la acción hidrodinámica y por la película límite que cubre las rugosidades de las dos superficies.

- **Régimen de lubricación elastohidrodinámica.**

En este régimen de lubricación es el proceso más característico de la tribología y en el cual se encuentran implicados la mayoría de los factores que conforman esta disciplina, como, la fricción, el desgaste y lubricación, el diseño, los materiales, la operación del equipo y las situaciones de operación.

El modo de lubricación existente entre dos superficies deslizantes puede cambiar entre si dependiendo de variables las como: carga, velocidad, contacto o rugosidad superficial de las dos superficies. La lubricación elastohidrodinámica ocurre tanto en la zona de lubricación mixta como en la zona hidrodinámica.(López, 2018)

A continuación, se describen los tipos de lubricantes y su composición que deriva en un nuevo lubricante para mejorar la eficiencia del motor.

4.1.3.2. Clase de aceites lubricantes

El aceite del motor está combinado por aceite base y diferentes aditivos, actualmente se emplean aceite base de tres tipos: mineral, sintético y semisintético como se muestra en la figura 11.

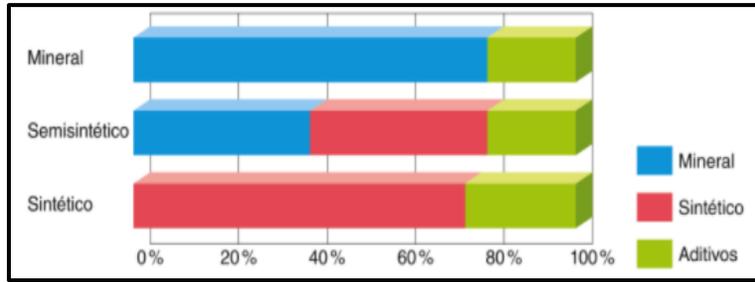


Figura 11: Clase de aceites lubricantes y su composición. Fuente: (Sanz, 2017)

1. Aceites minerales

Los aceites minerales sedan del origen del petróleo a partir de un proceso de fabricación en el que el aceite, por métodos que se basan en la destilación fraccionada como se observa en la figura 12, los aceites de base mineral del que conforman: hidrocarburos parafínicos, Nafténicos y Aromáticos.(Sanz, 2017)

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

Figura 12: Tipos de estructuras de la composición del aceite mineral. Fuente:(López, 2018)

Los aceites lubricantes que se emplean en el motor están combinados mediante una composición fundamental de iso-parafina y nafténicos con una igualdad conveniente de compuestos aromáticos para proveer solubilidad a los aditivos y estabilidad a la oxidación. (Parafínico con un 75% de su compuesto y un 25 % de nafténicos y aromáticos), cómo se observa en la figura 13,(Sanz, 2017)

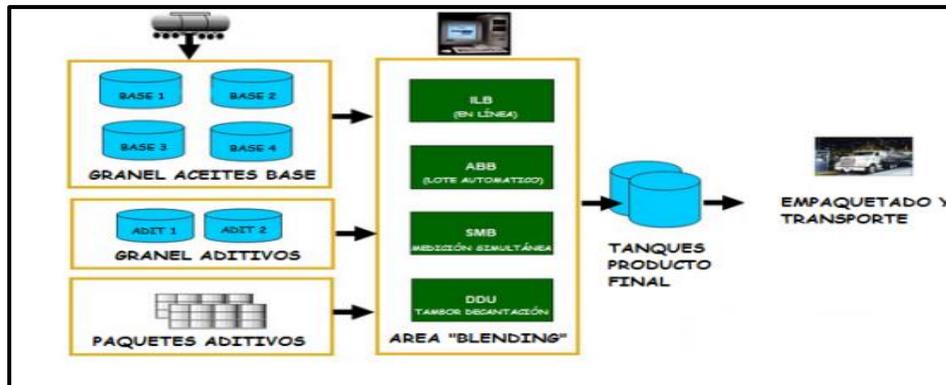


Figura 13: Esquema de una planta de “Blending”. Fuente:(López, 2018)

2. Aceites sintéticos.

El tipo de aceites sintéticos no poseen su origen en el petróleo debido a que es un producto de origen químico que se consigue por diversos procesos que cambian la estructura molecular de sus elementos y eliminan ciertas partículas minerales no deseables. En la figura 14, se puede observar los diferentes aceites sintéticos.(Sanz, 2017)

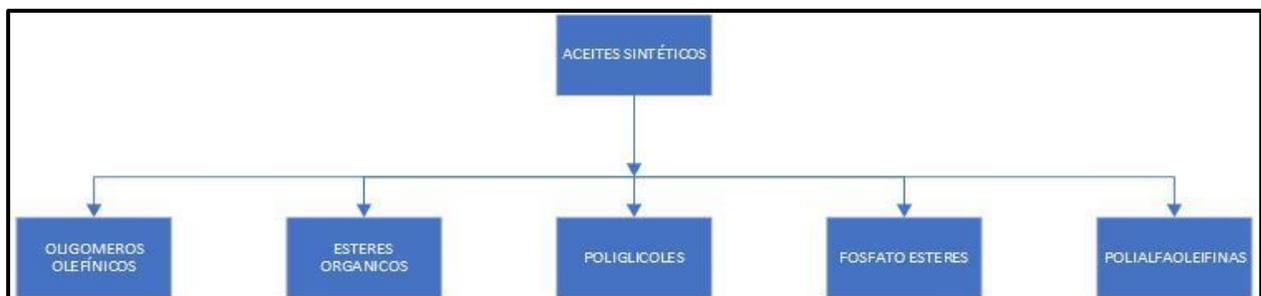


Figura 14: Tipo de aceites sintéticos. Fuente: (Autores)

Gracias a las excelentes cualidades de las propiedades de los aceites sintético, se utilizan en motores que están sometidos a altas prestaciones, con extremos trabajos en condiciones severas.

Las principales ventajas de los aceites sintéticos son:

- Su índice de viscosidad permite un adecuado arranque en frío por su buena fluidez a bajas temperaturas.
- Alta resistencia a la oxidación con mayores temperaturas, al alargar la vida útil del motor
- Disminuye una gran medida la fricción.
- Bajos puntos de congelación.
- Buenas cualidades detergentes y dispersantes.

3. Aceites semisintéticos.

El aceite semisintético está combinado de aceite mineral al cual se le añade aceite sintético en un determinado porcentaje. Con este aceite se optimizan en gran medida las cualidades del aceite mineral, esto reduce el coste que tendría un lubricante sintético puro.(Sanz, 2017)

Una vez definidos los tipos de lubricantes se toma en cuenta que también existen las características de los lubricantes que se describen en el siguiente apartado.

4.1.3.3. Característica de los lubricantes.

➤ La densidad.

En la ecuación 3, describe el concepto de la densidad esta se define como la relación de la masa y volumen de una sustancia expresada en la ecuación 3.

$$Densidad = \frac{Masa}{Volúmen} (3)$$

El valor de la densidad se puede expresar en los grados (° API).

Estos grados están relacionados cuánto pesa un producto de petróleo en proporción al agua. Varias características se asocian a la densidad como se listan en la Tabla 3.

Tabla 3: Viscosidad cinemática. Fuente:(García, n.d.)

Viscosidad cinemática		
Tipo de aceite	API	Densidad (g/cm ³)
Liviano	>31,1	<0,870
Medio	22,3-31,1	0,920-0,870
Pesado	10,0-22,3	1,0-0,920
Extra pesado	<10	>1,0

➤ La Viscosidad.

La viscosidad como se observa en la figura 15, es la resistencia de un líquido a fluir a causa de sus propias moléculas que se encuentran en rozamiento interno, es una de las propiedades que se destaca como la más importantes de los aceites lubricantes esta establece la capacidad física para mantener la lubricación, con estas propiedades se va a fijar el rendimiento mecánico de sus elementos, para mantener excelentes condiciones de lubricación a determinadas condiciones: de velocidad, la temperatura, la carga y las dimensiones del elemento.(García, n.d.)



Figura 15: La viscosidad. Fuente:(García, n.d.)

Existen diversas formas de viscosidad que se pueden medir, por ejemplo, en la figura 16:

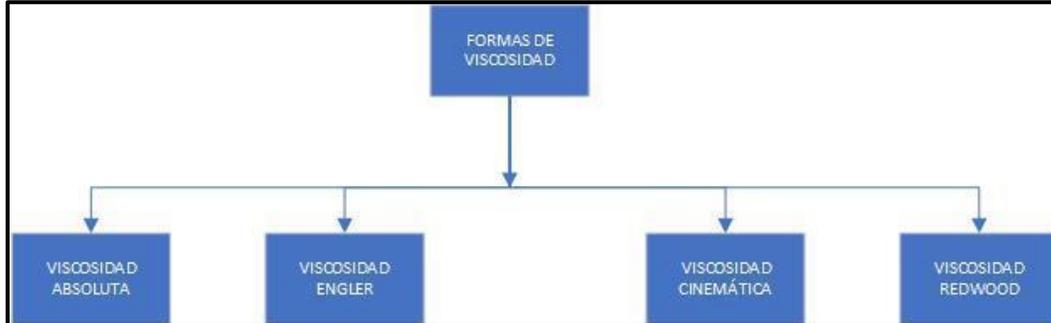


Figura 16: Formas de viscosidad. Fuente: (Autores)

La viscosidad es una propiedad que depende en gran medida de la temperatura del fluido en un momento y es clasificada mediante la "Sociedad de Ingenieros del Automóvil" (SAE, Society of Automotive Engineers).(García, n.d.)

En la siguiente Tabla 4, la viscosidad SAE mantiene correspondencias con la viscosidad cinemática:

Tabla 4: Viscosidad cinemática. Fuente: (Autores)

Viscosidad cinemática		
Viscosidad SAE	Viscosidad Cinemática cSt a 100 °C	
	Mín.	Máy.
20	5,6	9,3
30	9,3	12,5
40	12,5	16,3
50	16,3	21,9
5W-30	9,3	12,9
10W-40	12,5	16,3
20W-50	16,3	21,9

➤ **El Índice de viscosidad.**

El parámetro que se encarga de relacionar la variación en función de la temperatura se le llama el índice de viscosidad en la que se puede observar en la figura 17,

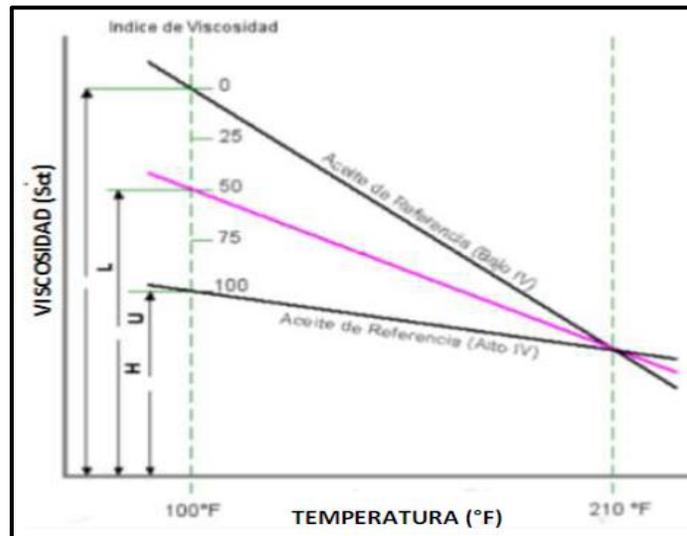


Figura 17: El índice de viscosidad. Fuente: (García, s.f.)

El índice de viscosidad se calcula con la Ecuación 4:

$$\text{Índice de viscosidad} = \frac{L-U}{L-H} \times 100 \quad (4)$$

➤ **Punto de inflamación, combustión y congelación.**

-Punto de Inflamación: Es en el momento que alcanza una temperatura el lubricante que acuerda la norma UNE 7057 (La determinación en un vaso abierto de los puntos de inflamación y combustión de los materiales bituminosos), despega la suficiente cantidad de gases como se observa en la figura 18, para que se encienda al emplear una flama, sin que queme el lubricante.(García, n.d.)



Figura 18: Ensayos sobre puntos de inflamación. Fuente:(García, n.d.)

-Punto de Combustión: al superar la temperatura en la que se da origen el punto de inflamación, los vapores resultantes por el lubricante se inflaman, la temperatura de combustión está situada entre 20 °C y 60 °C superior al punto de inflamación.

➤ **Acidez**

Un lubricante al contener aditivos se expone a la acidez, esta debe ser mínima para no causar daños a las superficies de los elementos con las que está en contacto, de los que resaltan son los cojinetes, el grado de acidez de los aceites poseen un límite al 0,03 %.(López, 2018)

Una vez definido los conceptos relevantes de la lubricación se continúa con el estudio del estado del motor de combustión interna alternativo.

4.2. Elementos constructivos del motor de combustión interna

Un MCI está compuesto por diferentes elementos mecánicos, entre estos están los elementos móviles y elementos fijos que se detallan a continuación.

4.2.1. Elementos Móviles

Los elementos móviles de un MCI están compuestos por:

- | | |
|-------------|----------------------|
| ✓ Pistón | ✓ Cigüeñal |
| ✓ Segmentos | ✓ Semicojinetes. |
| ✓ Bulón | ✓ Volante de Inercia |
| ✓ Biela | |

- **Pistón**

El pistón cuyo material es de aluminio fundido, casi en la mayoría de los casos y en su interior vaciado está sometido a grandes cargas de explosión, este se mueve de manera alternativa dentro del cilindro. En la parte exterior tiene tres ranuras donde se insertan los segmentos como se muestra en la figura 19, en la zona inferior o debajo de los segmentos existen dos agujeros enfrentados uno contra el otro se utiliza para fijar el bulón y el pistón con la biela. (Escudero, 2015)

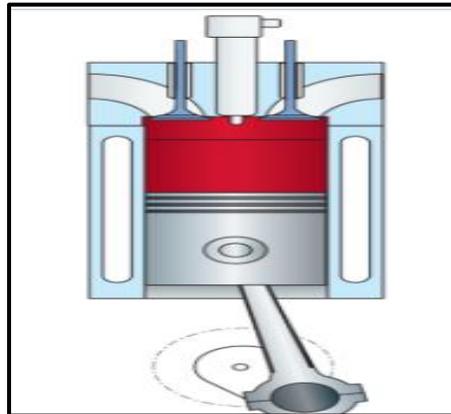


Figura 19: Pistón. Fuente: (Escudero, 2015)

- **Segmentos**

En la figura 20, los segmentos son aros elásticos abiertos, situados en las ranuras del pistón, su función principal es de mantener la estanqueidad entre el cilindro y el pistón evitando que este quemase aceite o escape su compresión. Estos segmentos transfieren la mayor parte del calor generado por la combustión recibido y ceden al cilindro, donde se disipa el sistema de enfriamiento. (Escudero, 2015)

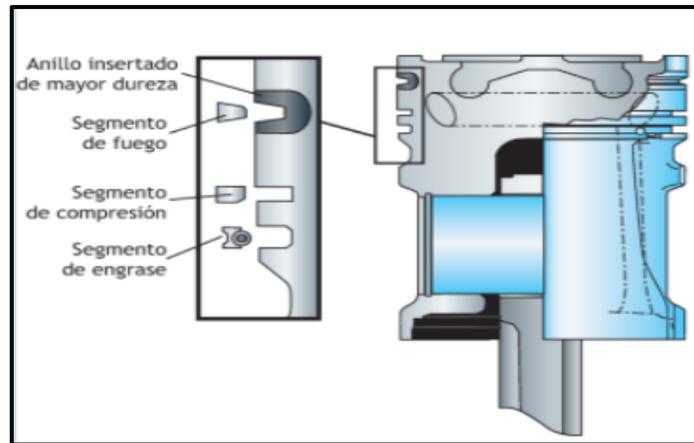


Figura 20: Segmentos del pistón. Fuente: (Escudero, 2015)

- **Bulón**

El bulón mostrado en la figura 21, es un elemento mecánico de acero resistente a fuerzas de explosión generadas por la combustión este se articula con la biela y el pistón y tiene varios tipos de fijaciones al pistón y al brazo de biela.



Figura 21: Bulón del pistón. Fuente: (Escudero, 2015)

- **Biela**

Es un elemento mecánico que posee una forma alargada y con dos agujeros en sus extremos, este une al pistón con el cigüeñal para poder convertir el movimiento lineal y alternativo del primero en un movimiento giratorio en el segundo. Como se observa en la figura 22, un extremo de la biela soporta el bulón que la une con el pistón y en su otro extremo para los cojinetes que la articula con el cigüeñal. En la mayoría de brazos de biela tienen un conducto interno que sirve para permitir la llegada a presión del aceite lubricante al pistón.



Figura 22: Biela. Fuente: (Escudero, 2015)

- **Cigüeñal**

El cigüeñal está formado por un eje con codos y contrapesos, contiene dos o más puntos de apoyo que se fijan por medio de pernos a una bancada integra, después queda cubierto por el bloque del motor, lo que permite poder girar con suavidad. En cada una de las manivelas o codos se establecen los cojinetes de las bielas que comunican el movimiento al cigüeñal por la fuerza que desarrollan los pistones en el instante que se da el tiempo de la explosión.

- **Semicojinetes.**

Los semicojinetes son elementos de diferentes tipos de aleaciones de material que van colocadas entre las muñequillas de bancada del cigüeñal y la bancada propiamente dicha y entre las muñequillas de biela del cigüeñal. Tiene como función principal disminuir el coeficiente de fricción entre estas piezas.

- **Volante de Inercia**

La figura 23, muestra al volante de inercia con una rueda metálica dentada, está situada se da al final del eje cigüeñal, tiene como misión absorber o acumular parte de la energía cinética que se produce durante el tiempo de explosión y la devuelve después al cigüeñal al girar. (Escudero, 2015)

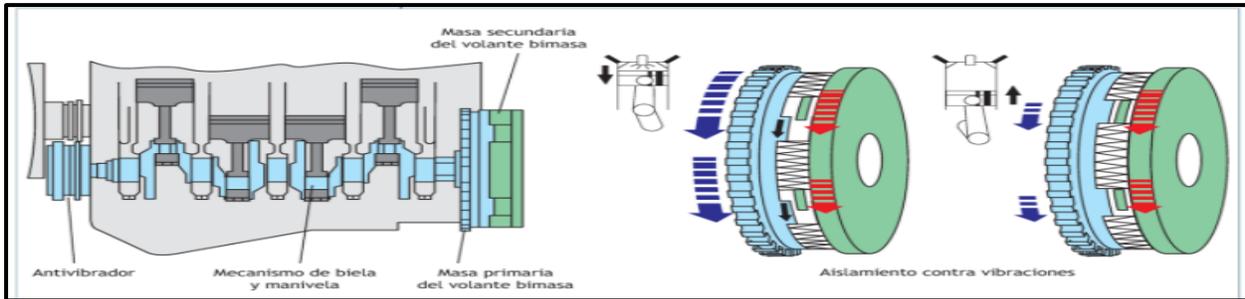


Figura 23: Volante motor bimasa y antivibrador. Fuente: (Escudero, 2015)

4.2.2. Elementos Fijos

Los elementos fijos de un MCI sirven de apoyo para los elementos móviles y para la hermeticidad del motor, están compuestos por:

- ✓ Bloque motor
- ✓ La culata
- ✓ Carter
- ✓ Tapa de cabezote
- **Bloque motor**

Posee ciertas características como: rigidez, bajo peso y baja dimensión, está directamente relacionado con la potencia que desarrolle el motor, va ensamblado a la carrocería o chasis del vehículo por medio de silentblocks que dan una unión elástica, este se encarga de absorber las vibraciones del motor para que no se transmitan a la carrocería y a sus pasajeros. (Escudero, 2015)

- **La culata**

En la figura 24, muestra un elemento de mayor robustez debido que aquí se encuentran las válvulas, árbol de levas, sellos de válvula, etc. Es el elemento mecánico que sella herméticamente al bloque motor. La culata como el bloque van unidos fijamente y entre estos dos elementos se encuentra una junta de culata que con el torque a unos pernos roscados, según indica el fabricante de cada motor, este asegura la hermeticidad. (Escudero, 2015)



Figura 24: Cabezote. Fuente: (Escudero, 2015)

- **Carter**

La figura 25, muestra uno de los elementos mecánicos fijos del motor, en este elemento es en donde se deposita el aceite con la finalidad de lubricar a los elementos móviles mencionados en el punto 4.2 y este elemento es el encargado de sellar la parte inferior del bloque. Mientras está en funcionamiento el motor el encargado de hacer que el aceite llegue a la parte superior y lubrique a todos los elementos móviles del motor es una bomba de aceite, esta bomba succiona el aceite del cárter y hace llegar por medio de conductos a los elementos móviles del motor.



Figura 25: Carter. Fuente: (Escudero, 2015)

- **Tapa de cabezote**

Se aprecia en la figura 26, un elemento que es todo lo contrario al anterior, este elemento se hace llamar tapa de culata o tapa válvulas, se encarga de cerrar la parte alta de la culata y asegurar que no entren impurezas y se derrame aceite. Es él encargado de estaquear el aceite y los vapores provenientes de la combustión, condensar y convertir líquidos a los vapores para que caigan por gravedad a través del motor. Entre la culata y la tapa válvulas existe una junta denominada tapa válvulas que asegura la hermeticidad. (Escudero, 2015)



Figura 26: Cigüeñal. Fuente: (Escudero, 2015)

En MCIA existen pérdidas mecánicas considerables debido que cuando está en funcionamiento la mayoría de su eficiencia se pierde en calor generado por pérdidas de fricción entre sus elementos móviles.

4.3. Pérdidas mecánicas en un MCIA

4.3.2. Pérdidas por fricción

Las perdidas mecánicas por fricción se dan por el rozamiento de dos elementos en contacto y en movimiento. El autor Joseph James en su trabajo final de master, indica en la figura 27, el porcentaje de pérdidas mecánicas por fricción en un MCIA:

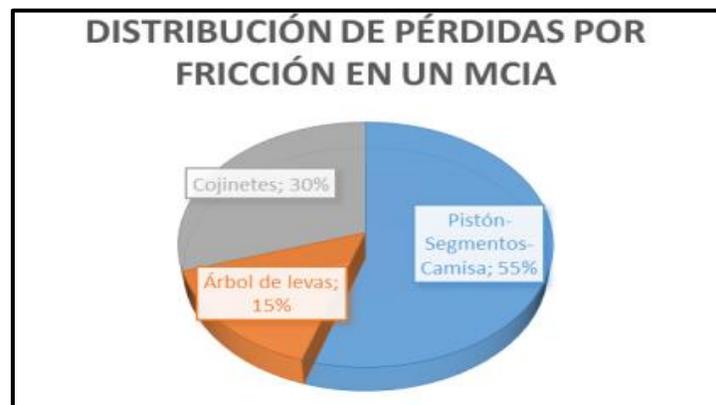


Figura 27: Distribución de pérdidas por fricción en un MCIA. Fuente:(Iniesta, 2016)

Según el grafico anterior la mayoría de las pérdidas mecánicas por fricción están asociadas con el pistón, segmento y camisa al ser el 55% de perdida en un MCIA. (Iniesta, 2016)

- **Camisa-Pistón-Segmento**

El pistón es el elemento que mayores pérdidas mecánicas causa, su misión en el motor hace que se localice en contacto directo con las zonas más solicitadas tanto mecánica como térmicamente

sometiéndose a condiciones de funcionamiento severas durante el funcionamiento como se distingue en la figura 28, junto con los segmentos-camisa forman la parte principal del motor.

Las zonas de desgaste en el pistón o embolo son: la cara superior e inferior de las ranuras de los alojamientos de los segmentos o rines.(López, 2018)

Entre el pistón y la camisa también tiene lugar un fenómeno conocido como Blow-By que se define como una fuga de gas desde el cilindro hacia el Carter. El fenómeno se produce como consecuencia de la tolerancia geométrica que existe entre los segmentos y la camisa del cilindro y el movimiento alternativo del pistón. Estos factores hacen que las pérdidas en el conjunto pistón-segmento-camisa sean del orden 45-50% del total.(Ronda, 2017)



Figura 28: Desgaste generado por los segmentos del pistón en la camisa. Fuente:(López, 2018)

A continuación, en la figura 29 se detalla las pérdidas por fricción en el cilindro y segmentos respectivamente.



Figura 29: Distribución de pérdidas por fricción en el cilindro. Fuente: (Iniesta, 2016)

En la figura 30, indica la distribución de perdidas mecánicas por fricción en los segmentos, la perdida en el segmento de fuego es debido a la presión de combustión que se ejerce en la cámara de combustión las condiciones de lubricación principalmente la hidrodinámica hace que las

pérdidas no sean elevadas. Las pérdidas en el segundo segmento o ring son debido a que las condiciones de lubricación en este segmento son mixtas. La pérdida mecánica por fricción en el último segmento es mayor debido a que aquí las condiciones de lubricación son mixtas.

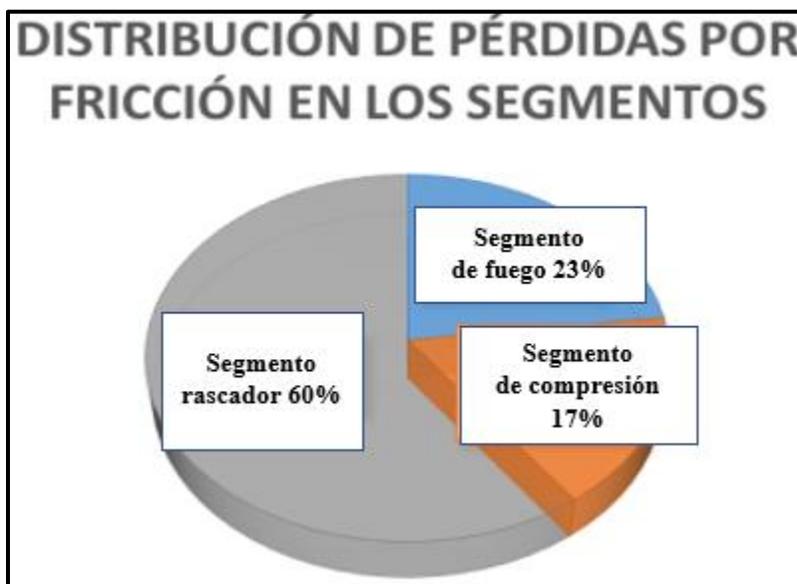


Figura 30: Distribución de pérdidas por fricción en los segmentos. Fuente:(Iniesta, 2016)

- **Cojinetes**

Los cojinetes de cigüeñal o denominados cojinetes de biela y bancada soportan grandes cargas y esfuerzos mecánicos producto de la combustión y del deslizamiento alternativo del pistón entre estos elementos se interpone una fina película de lubricante, aquí se alcanza una condición de lubricación hidrodinámica que permiten que la película de lubricante pueda minimizar dichas pérdidas de fricción.

- **Árbol de levas**

La función principal del árbol de levas es abrir y cerrar las válvulas tanto de admisión como de escape, en esta zona la lubricación es límite aquí las pérdidas por fricción mecánica son mínimas también.

4.3.3. Factores que afectan a las pérdidas de fricción

Estas pérdidas ocurren principalmente, por el tamaño y por ende por el peso de los elementos en contacto, fuerza de inercia de las masas en movimiento y por la fuerza de los gases que se generan al momento de que el motor está en funcionamiento.

Existen otras variables que influyen en las pérdidas de fricción como son:

- **Régimen de giro:** Al incrementar el régimen de giro aumentan las fuerzas de inercia y por consecuencia las pérdidas por fricción se ven afectadas.
- **Grado de carga:** Al incrementar la carga se genera un aumento de la presión de los gases de combustión y por consiguiente existen mayores esfuerzos en el pistón, los segmentos, la biela y el cigüeñal.
- **Temperatura de trabajo del motor:** Según la temperatura a la que trabaje el motor, se ve afectada la viscosidad del aceite, será mayor o menor dependiendo a la temperatura que se encuentre. La viscosidad puede ocasionar cambios en la fricción y en las pérdidas mecánicas, el cual aumentará o disminuirá.

Revisados los conceptos de un MCIA, a continuación, se describen los métodos de estudio para el desarrollo del proyecto técnico.

4.4.Métodos para determinar las pérdidas mecánicas

Para determinar las perdidas mecánicas existen métodos teóricos y métodos experimentales, sin embargo, existen ecuaciones semi empíricas para el cálculo teórico aproximado de las pérdidas mecánica, de las cuales se menciona a continuación.

- Método de deceleración libre.
- Método de las rectas de Willans.
- Método de arrastre.
- Método Morse.
- Método del diagrama indicador.

Cada una de las alternativas nombradas anteriormente se describe a continuación.

4.4.1 Método de deceleración libre

Con el método de deceleración libre se puede ver cómo es desaceleración angular instantánea del motor cuando se produce una parada del encendido instantáneo, de esta forma se logra encontrar el par resistente y la inercia del conjunto sin el uso del volante motor, Este método se emplea para establecer las pérdidas de potencia en el mantenimiento predictivo de cualquier motor, ya que da una idea global del sistema.

4.4.2. Método de las rectas de Willans

Para este método se aplica con el régimen de giro del motor constante, para relacionar el consumo de combustible por unidad de tiempo con respecto a la presión media efectiva.

4.4.3. Método de arrastre

El método de arrastre consiste en la medición parte aparte de cada uno de los elementos que causan las pérdidas mecánicas del sistema. De esta manera se puede ir modificando diferentes tipos de interferencia para realizar pruebas y conocer el aporte al desgaste que tienen dichas condiciones en diferentes pruebas. Este método se ejecuta al arrastrar el motor mediante un motor eléctrico.

Este método se aplica en el presente proyecto y se tiene como consideración que para realizar la toma de datos el motor Hyundai Avante se encuentra sin culata.

4.4.4. Método Morse

El método Morse se basa en interrumpir el encendido de un MCIA, y realizar la medición de la potencia necesaria en ese momento, que no será más que la potencia entregada por todos los cilindros activos y la potencia de pérdidas mecánicas del cilindro arrastrado, así se conocerá las potencias efectivas y pérdidas mecánicas del sistema.

4.4.5. Método del diagrama de indicador

El método del diagrama indicador es el más preciso si se emplea con la instrumentación adecuada. El cual consiste en obtener el (diagrama presión-volumen) conocido como diagrama indicador para poder acceder al par medio indicado, y el par efectivo del motor, para determinar la presión media efectiva.(Iniesta, 2016)

4.5. Análisis de los contactos tribológicos y su clasificación.

En un motor existen diferentes tipos de clasificación de lubricación, al momento de funcionar el MCIA estos regímenes están presentes en los diferentes elementos mecánicos del motor.

4.5.2. Clasificación según los regímenes de lubricación

- **Pistón**

Al moverse los pistones en el interior de los cilindros, se genera entre los contactos exteriores de los segmentos y camisa una pequeña película de aceite que se denomina película hidrodinámica que disminuye el desgaste. En los puntos muertos superior es donde el espesor de la película presenta sus valores mínimos absolutos apenas sobrepasa el punto muerto superior de la carrera de expansión, debido a las temperaturas son muy elevadas en velocidades relativas entre segmento-camisa. En la figura 31, se muestra un gráfico donde representa el cambio del espesor de la película del aceite en las superficies en el transcurso de un ciclo de trabajo y a diferentes regímenes del motor. En la zona del punto muerto superior se puede llegar a romperse la película lubricante y pasaría de lubricación hidrodinámica a lubricación límite.(Payri, 2011)

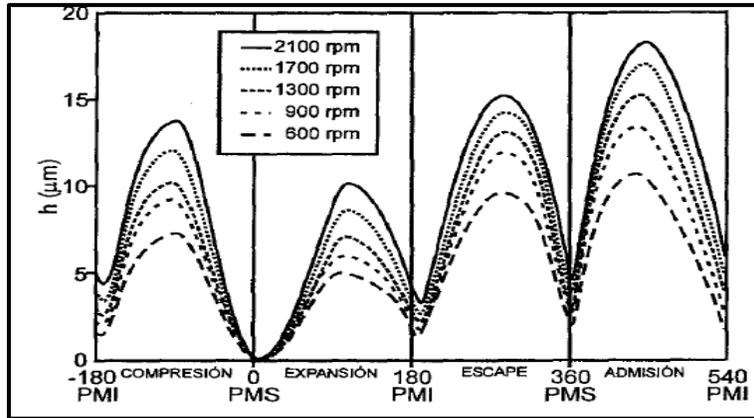


Figura 31: Variación del coeficiente de película. Fuente: (Payri, 2011)

- **Segmento de fuego**

En los segmentos de fuego se puede observar en la figura 32, las condiciones de lubricación donde son hidrodinámicas, esto se da por las presiones en la combustión que se genera en las cámaras.(Iniesta, 2016)

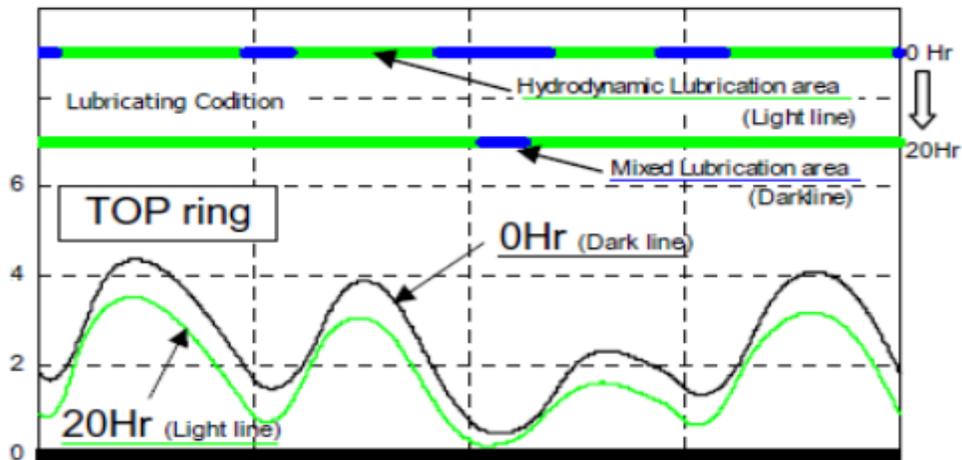


Figura 32: Segmento de fuego. Fuente:(Iniesta, 2016)

- **Segmento de compresión**

La figura 33, indica que las condiciones de lubricación en este segmento son parcialmente mixtas.

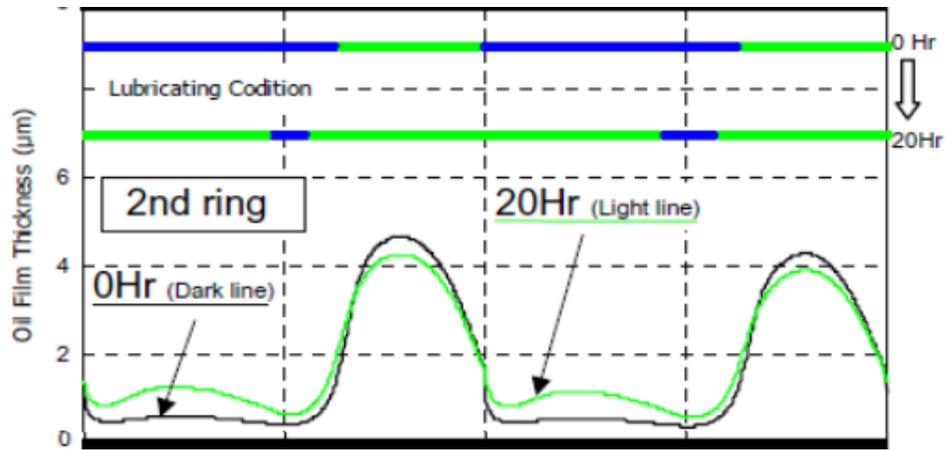


Figura 33: Segmento de compresión. Fuente:(Iniesta, 2016)

- **Segmento rascador**

Finalmente, en el segmento de aceite están presentes las condiciones de lubricación que son completamente mixtas, como se puede observar en la figura 34.

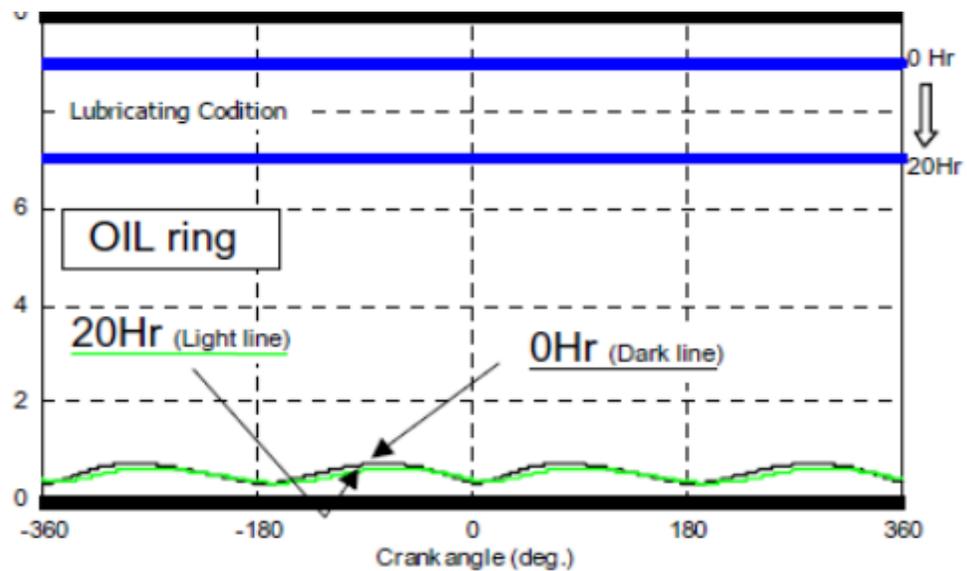


Figura 34: Segmento de aceite. Fuente: (Iniesta, 2016)

- **Cojinetes.**

Los cojinetes alcanzan una condición de lubricación hidrodinámica debido a que estos elementos deben soportar grandes esfuerzos y cargas, con este régimen de lubricación permite que la película de lubricación disminuya las pérdidas por fricción mecánica.

- **Árbol de levas**

Por su funcionamiento de apertura y cierre de válvulas tanto de admisión como de escape, trabaja en el régimen de lubricación límite.(Iniesta, 2016)

4.5.3. Clasificación según las condiciones de lubricación.

Tabla 5: Regímenes de lubricación. Fuente: (Autores)

Regímenes de lubricación			
Elementos	Límite	Mixta	Hidrodinámica
Pistón	X		X
Segmento de fuego			X
Segmento de compresión	X	X	
Segmento rascador		X	
Cojinetes			X
Árbol de levas	X		

4.5.4. Clasificación según el tipo de desgaste

En la Tabla 6, se especifica cada uno de los tipos de desgaste de los elementos mecánicos.

Tabla 6: Tipos de desgaste en diversas partes del motor. Fuente: (Autores)

Tipos de desgaste en diferentes partes del motor.					
Elemento	Desgaste adhesivo	Desgaste corrosivo	Desgaste abrasivo	Desgaste por fatiga	Desgaste erosivo
Camisas, Segmentos, pistones	X	X	X		
Levas, empujadores, balancines.	X	X	X	X	
Vástago- guía de válvula	X		X		
Apoyo-asiento de válvula			X		
Engranajes de distribución	X		X	X	
Muñones		X	X	X	
Cojinetes		X	X		X
Bomba de aceite	X		X	X	
Bomba de combustible	X		X	X	

A continuación, se describen los límites condenatorios de fricción que existen entre el segmento y cilindro del motor Hyundai Avante 1.5L.

4.6. Límites condenatorios de fricción entre el segmento y cilindro de un MCIA

Los límites condenatorios dan las empresas que construyen aceites y motores MCI, estos se miden en (ppm) como máximo valor en contaminación y desgaste del lubricante del motor. Para que las empresas puedan realizar estas tablas de referencia realizan varias pruebas en laboratorios de las muestras de aceite.

Cuando estos valores superan a lo mencionado por el fabricante, se debe de realizar un mantenimiento preventivo que es un cambio de aceite del motor ya que no están protegiendo al motor sino más bien desgastarlo. Aquí estos valores deben tratarse como condenatorios y no valores de trabajo normal.

Definición de límites condenatorios

Son valores límites tolerables, si estos límites condenatorios pasan lo indicado por el fabricante, se deberá de tomar la decisión de reemplazar el aceite lubricante y determinar las causas que provocan el exceso de desgaste y la degradación del aceite. Para tener en cuenta si el aceite es idóneo o no, se debe considerar algunas variables como son: el TBN, el nivel de aditivos, la viscosidad, entre otras. (Guerrero, 2016)

Información de los límites condenatorios

Para acceder a los valores de los límites condenatorios se procede a la información de las empresas constructoras de motores y lubricantes, en la Tabla 7, se aprecia los límites condenatorios de los aceites para un MCIA.(Gómez Estrada, 2013)

Tabla 7. Límites de desgaste y degradación en los aceites de MCIA. Fuente: (Estrada, 2013)

Ensayo	Chevron-Texaco	Valores típicos de fabricantes
Viscosidad a 100° C	. +/- 20 % Aceite nuevo	. +/- 20 % Aceite nuevo
Disminución del TBN	50 % del aceite nuevo	50 % del nuevo aceite y > 2
Dilución por combustible [%]	Máximo 5%	-
Agua [%]	Ningún	> 1000 ppm
METALES DE DESGASTE, ASTM D-6595. [ppm]		
CROMO, Cr	Máx. 15	Máx. 5
NÍQUEL, Ni	Máx. 10	Máx. 3
COBRE, Cu	Máx. 30	Máx. 15
Estaño, Sn	Máx. 20	Máx.5
Aluminio, Al	Máx. 20	Máx.10
Plomo, Pb	Máx. 30	Máx. 20
Hierro, Fe	Máx. 75	Máx. 20
Silicio, Si	Máx.25	Máx. 7

Para la marca Hyundai el modelo Avante, recomienda el uso del aceite 5W-30, en la figura 35, respecto a la clasificación API, en este mismo manual se da el uso de un aceite API SM o superior. (Company, 2010)

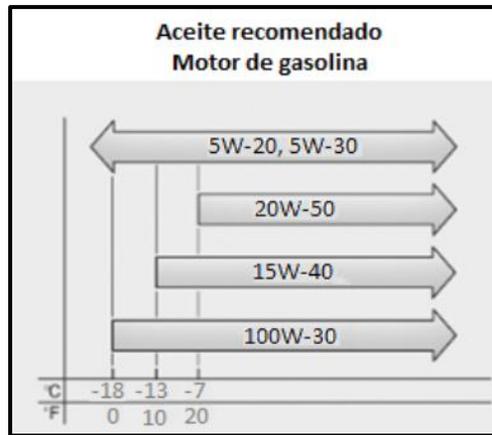


Figura 35: Aceites recomendados por Hyundai. Fuente: (Company, 2010)

Los límites condenatorios entre los segmentos y cilindro según la información recolectada con anterioridad se pueden describir que en la figura 36, se tiene las partículas metálicas producto del desgaste de los diferentes materiales que existen en el motor unidos al aceite, para este estudio es Anillos o segmentos: compuesto por Fe y Cr y los cilindros o Camisa: compuesto por Fe, Cr.

	Fe	Cu	Pb	Al	Si	Cr	Sn
Anillos	X					X	
Arbol de levas	X						
Bielas	X						
Bomba de aceite	X			X			
bujes		X		X			X
Bujes de biela		X	X	X			X
Bujes de bomba de aceite				X			
Camisa	X					X	
Carcasa	X			X			
Cigüeñal	X						
Cojinetes		X	X	X			X
Cojinetes anti-fricción	X					X	
Enfriador de aceite		X					
Guías de válvulas	X	X					
Pistones	X			X			
Tren de válvulas	X						
turbo	X			X			
Válvula de escape	X					X	

Figura 36: Partículas metálicas en suspensión en el aceite y su procedencia. Fuente:(Guerrero, 2016)

En la Tabla7, indica el desgaste y degradación de los materiales en el aceite, entonces los límites condensorios entre segmentos y cilindro del motor Hyundai según el fabricante es del Cromo (Cr) un valor Máximo de 5 ppm y del Hierro (Fe) de Máximo 20 ppm.

Si estos valores superan dicho número se debe de tomar en cuenta que los componentes mecánicos tienen un desgaste superior o el aceite ya ha cumplido su vida útil y necesita un cambio de aceite.

5. MARCO METODOLÓGICO

El presente proyecto de investigación será de carácter experimental al aplicar un proceso lógico, metodológico y ordenado. En esta sección se establecen los métodos, las herramientas y procesos para obtener los datos de estudio mediante la tarjeta DAQ NI USB-6212, lo cual se desarrolla una interfaz en el software LabVIEW, adicionalmente las revoluciones del motor de combustión interna estarán controladas mediante un motor eléctrico, al ser el enfoque del proyecto la eficiencia energética del motor de combustión interna alternativo; los resultados se centrarán al modificar las revoluciones del motor, el tipo de lubricante y su temperatura. Posteriormente en la figura 37, se describen de manera breve las diferentes fases del programa generado en la LabVIEW, para obtener los datos.

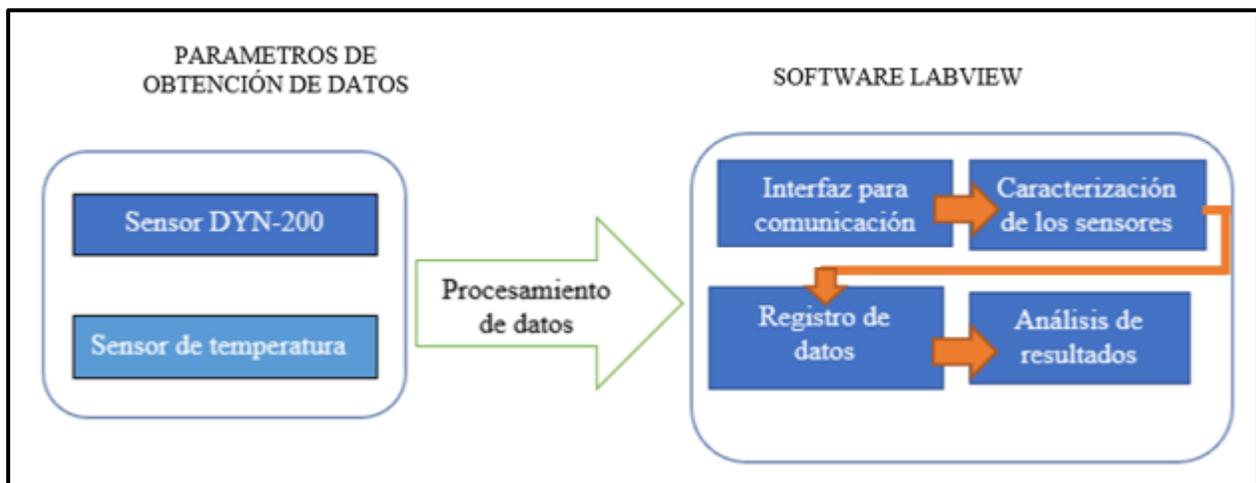


Figura 37: Diagrama de flujo de los procesos de la metodología. Fuente: (Autores)

5.1. Aplicación metodológica de la investigación

Con la aplicación del método experimental se consigue realizar un proceso lógico-metodológico para obtener una secuencia de muestreo que sea acorde a la velocidad del funcionamiento del motor para las pruebas.(Gutiérrez, 2011)

5.2. Desarrollo del ensayo experimental

Para realizar el estudio, es preciso concluir las diferentes variables que se analizarán y las respuestas que desean estudiar, no obstante, se incluyen factores los cuales integran al sistema alteraciones no deseada. (Rivera & Chica, 2015)

Para el estudio se realiza el procedimiento para determinar las pérdidas mecánicas al aplicar el método del arrastre, que permitirá la evaluación a diferentes condiciones de opresión en el motor. De esta forma, con si el motor encendido se determina la potencia necesaria para arrastrar el motor. Dentro del ensayo experimental como primer paso se procede a determinar el torque que se requiere para realizar el giro del motor únicamente colocado los segmentos, con el fin de obtener el valor de la magnitud de la medida a tratar, para la selección de los equipos que serán empleados en el desarrollo del proyecto.

5.2.2. Cálculo del Par motor sin lubricación

Como se observa en la figura 38, se lleva a cabo el primer ensayo con la culata desmontada y, por tanto, sin compresión para determinar el par motor sin lubricación.

Un ensayo pre experimental se realizó con los segmentos sin lubricación, para determinar el par necesario al realizar el giro del cigüeñal como resultado da un valor de 8 Nm a un ángulo de 90°, al saber l orden de magnitud de la medida a tratar, se elige el sensor de torsión dinámico DYN-200 con un rango de (0-30) Nm para realizar las pruebas de ensayo, adquirido en Amazon.

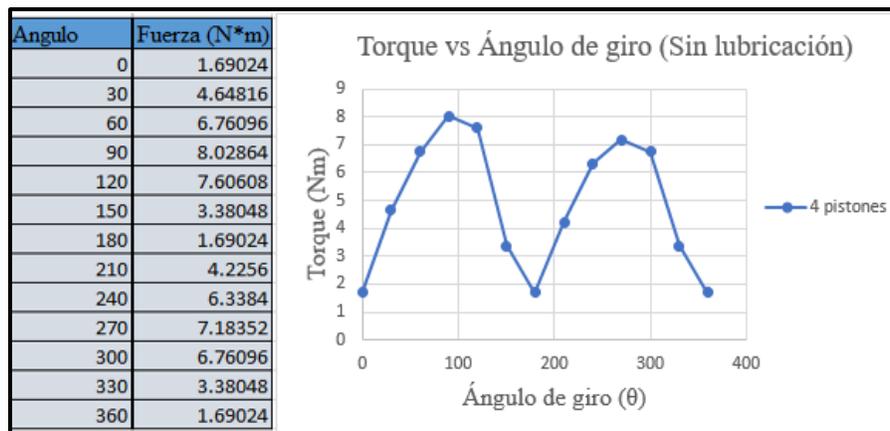


Figura 38: Par necesario para el arrastre sin lubricación. Fuente: (Autores)

5.2.3. Factores controlables de entrada

Las variables controlables de entrada que se consideran para este caso son: viscosidad del aceite, la temperatura del aceite y la velocidad del motor eléctrico, ya que el sensor de torsión DYN-200

permite conocer estas variables en el conjunto segmento-cilindro donde se presentaran variaciones al deslizamiento.

En la Tabla 8, se observan las variables que se han seleccionado tal que su modificación dará diferentes datos para su respectivo estudio.

Tabla 8: Variables de entrada. Fuente: (Autores)

Variables de entrada				
Variable	Unidad	Nivel Inferior	Nivel Medio	Nivel Superior
Viscosidad	[sCt]	10W-30	20W-50	25W-60
RPM	Rpm	450	-	850
Temperatura del aceite	°C	23	40	70

5.2.4. Factores no controlables

Las variables que no se pueden controlar, son las que no se pueden imponerse durante el proceso u operación del sistema, como es la temperatura ambiente donde se realizan las pruebas, en este caso en la ciudad de Cuenca con una temperatura promedio de 20°C a 22°C.(Gutiérrez, 2011)

Otro parámetro que no se puede controlar es la temperatura ambiente donde se realizan las pruebas,

Variables de Respuesta

Son variables de salida del sistema cuyo valor interesa ajustar. En este caso el torque necesario para generar el movimiento de un del motor Hyundai Avante 1.5L que entrega el sensor de torsión dinámico DYN-200.

5.2.5. Factores de Interferencia

En la Tabla 10, se muestra los factores de interferencia que provocan cambios en la variable de salida estos se pueden controlar, estos factores que se pueden controlar se establecen en un nivel para obtener las respuestas en diferentes condiciones de operación, se modificarán estos factores.

Tabla 9: Factores de Interferencia. Fuente: (Autores)

Factores de Interferencia			
	Factor	Símbolo	Unidad
Controlables	Temperatura del lubricante	T_{Lub}	°C
Controlables	Velocidad del motor	Rpm	Rpm
Estudio	Torque	T	Nm

5.3. Revisión de la unidad experimental

A continuación, se describen todos los componentes que conforman la unidad experimental para la generación y obtención de datos estos son:

- Motor de combustión interna alternativo Hyundai Avante 1.5l.
- Motor eléctrico MY 1020
- Sensor de torsión dinámico DYN-200.
- Software LabVIEW
- Tarjeta de adquisición de datos DAQ NI USB-6212.
- Arduino Uno.
- Sensor de temperatura DS18B20.
- Baño de María para laboratorio.
- Software Arduino

5.2.1. Motor de combustión interna alternativo

El motor que se muestra en la figura 39, en el que se ejecutaron las pruebas es un motor Hyundai Avante 1.5 L. En la Tabla 11. muestran las características del motor.



Figura 39: Motor Hyundai Avante 1.5 l. Fuente: (Autores)

Tabla 10: Características del motor Hyundai Avante 1.5L. Fuente: (Autores)

Motor Hyundai Avante 1,5 L.	
Cilindrada	1.5L
torque Máximo	132 Nm @ 4000 RPM
Potencia Máxima	72 KW @ 6000 RPM
Relación de compresión	9,5:1
Diámetro	75.5 mm
Carrera	83.5 mm
Encendido	Electrónico
Combustible	Gasolina
Alimentación	Inyección multipunto

5.2.2. Motor eléctrico MY 1020

El motor eléctrico MY 1020 es un motor eléctrico de corriente directa, que se emplea para realizar los giros a diferentes revoluciones a través de su controlador que permitirá girar a las revoluciones de estudio, en la figura 40, muestra las partes del Kit que incluyen y en la Tabla 12, indica sus características:

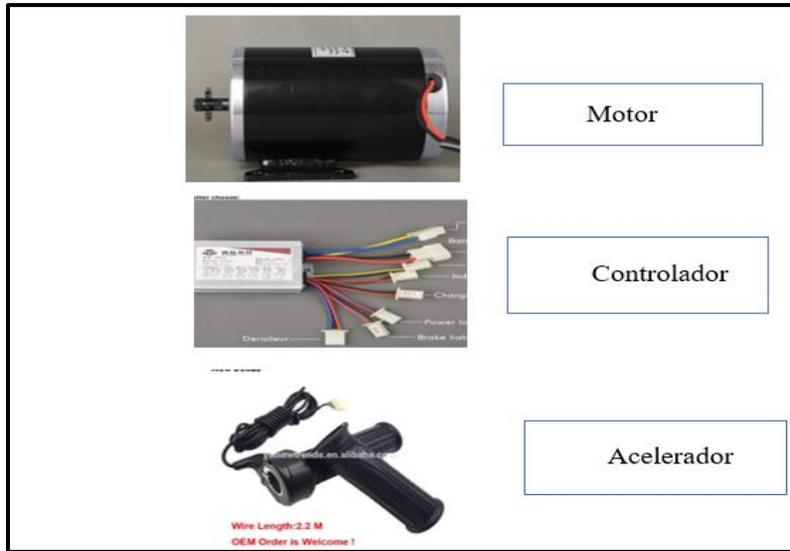


Figura 40: Motor eléctrico MY 1020. Fuente: (Autores)

Tabla 11: Características del motor eléctrico MY 1020. Fuente: (Autores)

Motor Eléctrico MY 1020	
Modelo	MY 1020
Corriente	2.5 A
Velocidad	3150 rpm

5.2.3. Sensor de Torsión dinámico DYN-200

El sensor de torsión dinámico que se aplica en esta investigación fue seleccionado con las corridas pre experimentales vista en la figura 41, el sensor mide la variación de torque en elementos móviles al aumentar o disminuir la fuerza dinámica en un elemento sujeto a este sensor, utilizado como detector de velocidad del motor. El sensor puede calcular directamente el valor de la potencia actual al instante de realizar las pruebas.

En la tabla 13, que está a continuación, se observa las especificaciones del sensor

Tabla 12: Sensor de Torsión DYN-200. Fuente: (Autores)

Sensor de Torsión DYN-200	
Capacidad nominal	30 Nm
Entrada de Alimentación	24 VCC
Consumo de corriente	150 mA
Salida de velocidad	60 pulsos/Rev.
Rendimiento de respuesta	1 KHz
Sobrecarga	200% FS
Resistencia de carga	2 K Ω



Figura 41: Sensor DYN-200 30Nm. Fuente: (Autores)

5.2.4. Tarjeta de adquisición de datos DAQ NI USB-6212

El USB-6212 es un dispositivo DAQ NI USB-6212 multifunción ver en la figura 42, contiene entradas analógicas, entradas digitales, salidas digitales, además contiene un par de contadores de 32 bits. Asimismo, cuenta con la tecnología NI Signal Streaming que permite la transferencia de datos bidireccional a una gran velocidad. El equipo es ideal para aplicaciones de prueba, control y diseño, entre ellas, registro de datos portátil, monitoreo de campo, adquisición de datos del vehículo y aplicación académica, en la Tabla 14 se indica sus características:

Tabla 13: Características de la DAQ NI USB-6212. Fuente: (Autores)

Tarjeta DAQ NI USB-6212	
Frecuencia de Muestreo	400 KSPS
Número de canales de entrada	16 canales
Número de canales de salida	2 canales
Resolución	16 bits
Tensión de alimentación	+/- 200 mV, +/-10V



Figura 42: DAQ NI USB-6212. Fuente: (Autores).

5.2.5. Arduino Uno

Arduino uno que se muestra en la figura 43, está basado en un microcontrolador Atmega328. Tiene 14 pines de entrada/salida digital, 6 entradas análogas, resonador cerámico de 16 MHz, un conector para USB tipo hembra, un botón reset, en la Tabla 15, indica sus principales características:

Tabla 14: Características tarjeta Arduino Uno. Fuente: (Autores)

Tarjeta Arduino Uno	
Microcontrolador	ATmega328
Voltaje operativo	5v

Voltaje de entrada	7-12v
Velocidad de reloj	16 MHZ
Pines de entrada analógicas	6



Figura 43: Arduino uno. Fuente: (Autores)

5.2.6. Sensor de temperatura DS18B20

En la figura 44, muestra el sensor DS18B20 mide fácilmente temperaturas de hasta 125 °C y está sellado en un envoltorio impermeable. Dado que se trata de un sensor digital, la señal de lectura no se degradará debido a la distancia del cableado. Puede trabajar en modo 1-Wire con una precisión de $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ con una resolución de 12 bits, en la Tabla 16 y 17, indica sus características:

Tabla 15: Características del cable. Fuente: (Autores)

Características del cable	
Diámetro de tubo de acero inoxidable	6 mm
Largo del tubo de acero inoxidable	30 mm
Largo del cable	910 mm
Diámetro del cable	4 mm

Tabla 16: Características sensor de Temperatura DS18B20. Fuente: (Autores)

Sensor de Temperatura DS18B20	
Voltaje de alimentación	3 V~5.25 V
Cable rojo	VCC

Cable amarillo	Datos
Cable negro	GND



Figura 44: Sensor de temperatura DS18B20. Fuente: (Autores)

5.2.5. Baño de María para Laboratorio

El baño de María para laboratorio consiste en un recipiente lleno de agua, que se utiliza para incubar muestras a una constante temperatura durante un largo periodo de tiempo, como se observa en la figura 45, para realizar el baño de María se emplea un recipiente acorde a la forma del depositado el aceite, el cual va a elevar la temperatura del agua del recipiente y así incrementar la temperatura del aceite que estarán monitoreadas por el sensor de temperatura DS18B20.



Figura 45: Baño Maria para laboratorio. Fuente: (Autores)

5.2.7. Software Arduino

El software de Arduino como se aprecia en la figura 46, es un entorno de desarrollo integrado IDE es un programa que consta de un conjunto de herramientas de programación. El IDE de Arduino es un entorno de programación que se acondiciona como un programa de aplicación; es

decir, consta de un editor de código, un depurador y un constructor (GUI). Además, integra las herramientas para cargar lo ya compilado en la memoria flash del hardware.

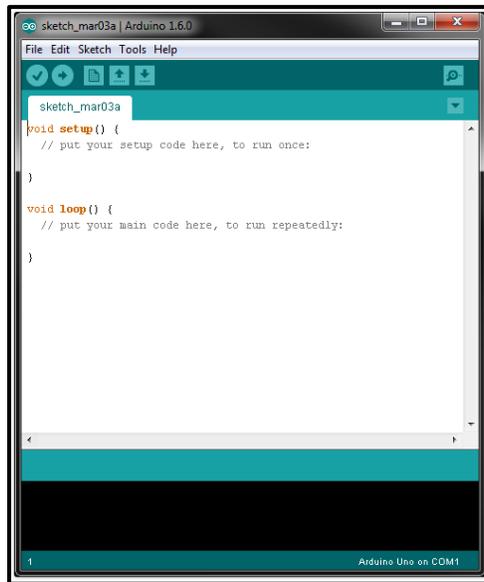


Figura 46: Software Arduino. Fuente: (Autores)

5.2.8. Software LabVIEW

LabVIEW (figura 47), es un software que proporciona un entorno de desarrollo de gráficos para el diseño de aplicaciones de Ingeniería, adquisición de datos, análisis de medidas y presentación de datos a través de un lenguaje de programación sin las otras herramientas de desarrollo.



Figura 47: Software LabVIEW. Fuente: (Autores)

5.2.9. Batería 12V DC

En la figura 48, enseña la batería utilizada para el ensayo, la batería de 12 V brinda una corriente directa que al sumar dos baterías en serie da el voltaje de 24V y mantiene la corriente en 30 A, para

la alimentación tanto del sensor DYN-200 y el motor de corriente directa, en la Tabla 18, indica sus características:

Tabla 17: Batería 12 V en DC. Fuente: (Autores)

Batería 12 V en DC	
Voltaje	12 V
C20	55 Ah
CA (27°C)	660 A
CCA(-18°C)	460 A



Figura 48: Batería. Fuente: (Autores)

En la presente sección se detallan los lubricantes aplicados a la experimentación.

5.2.9. Aceites para la experimentación

En la presente sección se detallan los lubricantes aplicados a la experimentación estos son:

- Aceite 10w-30.
- Aceite 20w-50.
- Aceite 25w-60.

En la Tabla 19, se describen los aceites a utilizar para el ensayo, estos aceites del motor multigrado proveen una protección superior sin importar la temperatura de operación. Estos incorporan aceites base de alto índice de viscosidad, modificadores de viscosidad estables al cizallamiento y la última tecnología en aditivos cada una de sus características se presentan a continuación.

Tabla 18: Características aceite 10w-30, 20w-50, 25w-60. Fuente: (Autores)

Tipo de aceite	Propiedades principales		Imagen descriptiva
Aceite 10w-30	Densidad API	29.5	
	Punto de inflamación °C	220	
	Viscosidad cSt 100°C	10.50	
	Viscosidad cSt 40°C	72	
	Índice de viscosidad	132	
Aceite 20w-50	Grados de viscosidad SAE	20W50	
	Punto de inflamación °C	220	
	Viscosidad cSt 100 °C	18.5	
	Viscosidad cSt 40°C	160	
	Índice de viscosidad	Min.120	
Aceite 25w-60	Grados de viscosidad SAE	25w60	
	Punto de inflamación °C	235	
	Viscosidad cSt 100°C	24.4	
	Viscosidad cSt 40°C	258	
	Índice de viscosidad	119	

5.4. Montaje e Instrumentación

Para llevar a cabo el montaje e instrumentación del motor Hyundai Avante, como primer paso se procede a desmontar el motor por completo como se observa en la figura 49, proceso en el cual se aprovechó para la medición de los elementos del motor en las que se ensamblan los diferentes elementos para su ensayo experimental.



Figura 49: Motor Hyundai Avante 1.5L. Fuente: (Autores)

Se realizan las medidas necesarias para el diseño de los elementos que van ensamblados para el ensayo, así mismo se procede a medir para el diseño de las bases del motor eléctrico como se ve en la figura 50.

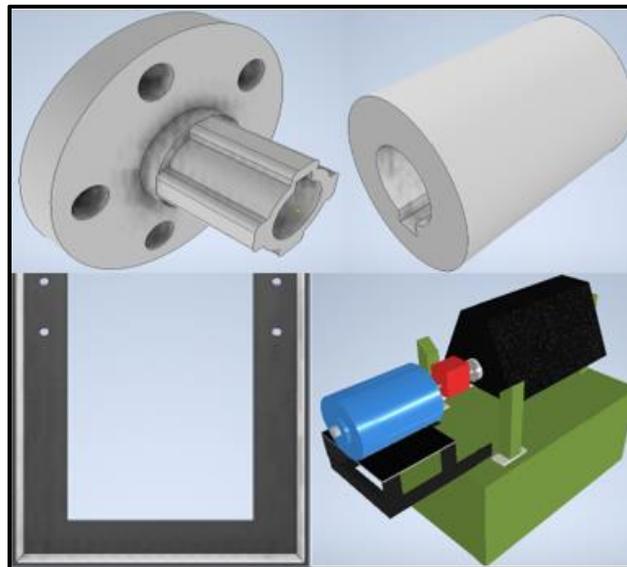


Figura 50: Acoples del ensamble. Fuente: (Autores)

Luego del diseño en CAD se procedió a la construcción de las bases para el motor eléctrico al tomar las medidas correspondientes como se puede apreciar en la figura 51.



Figura 51: Bases para el motor eléctrico. Fuente: (Autores)

Por último, como se observa en la figura 52, se realizó el ensamble total del motor eléctrico, sensor de torsión, el sensor de temperatura y el MCIA para la recopilación y adquisición de datos.

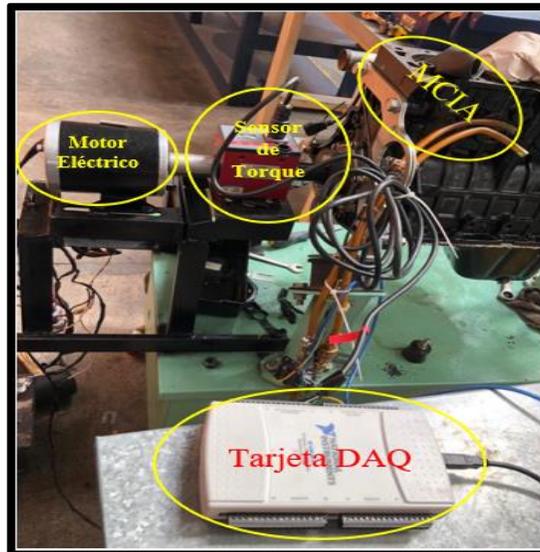


Figura 52: Ensamble completo de la maqueta. Fuente: (Autores)

5.5. Caracterización del sensor de torsión para el diseño

Los sensores que se van a utilizar para el desarrollo de la investigación son:

- Sensor de torsión DYN-200 30Nm
- Sensor de temperatura DS18B20

El sensor DYN-200 permite obtener los valores de torsión para generar el movimiento del MCIA, estos datos serán tomados a diferentes temperaturas del cual se reflejarán del sensor de temperatura.

5.5.1. Caracterización del sensor de torsión DYN-200

Para obtener la ecuación característica del sensor de torsión DYN-200, y comprobar su funcionamiento, se realiza una tabla donde se aplica una fuerza de torsión en el cigüeñal y por el otro lado del sensor de torsión se bloquea.

A continuación, se describe los pasos a seguir:

- **Cuantificar el valor de torque del sensor DYN-200:** al aplicar una fuerza de giro en el eje A y oposición en el eje B como indica la figura 53, se produce variación de voltaje.

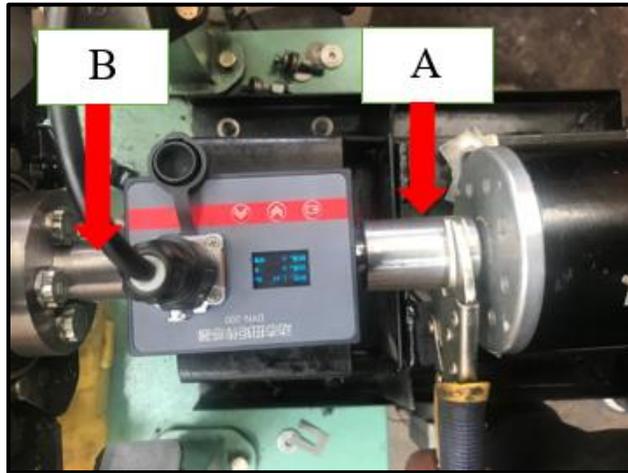


Figura 53: Toma de datos del sensor de torque DYN-200. Fuente: (Autores)

- **Datos entregados por el sensor:** en la Tabla 20, se aprecia los valores que corresponden al sensor de torsión al aplicar una fuerza de giro en el eje A y bloqueo en el eje B.

Tabla 19: Caracterización del sensor DYN-200. Fuente: (Autores)

Caracterización del sensor DYN-200	
torque (Nm)	Voltaje (V)
0.00	0.00021
4.23	0.7
15.63	2.6
26.45	4.4
30	4.99

- **Ajuste de la curva:** con la Tabla 20, de datos generada en la sección de Excel se procede a insertar el gráfico de dispersión (X, Y), como se observa en la figura 54.

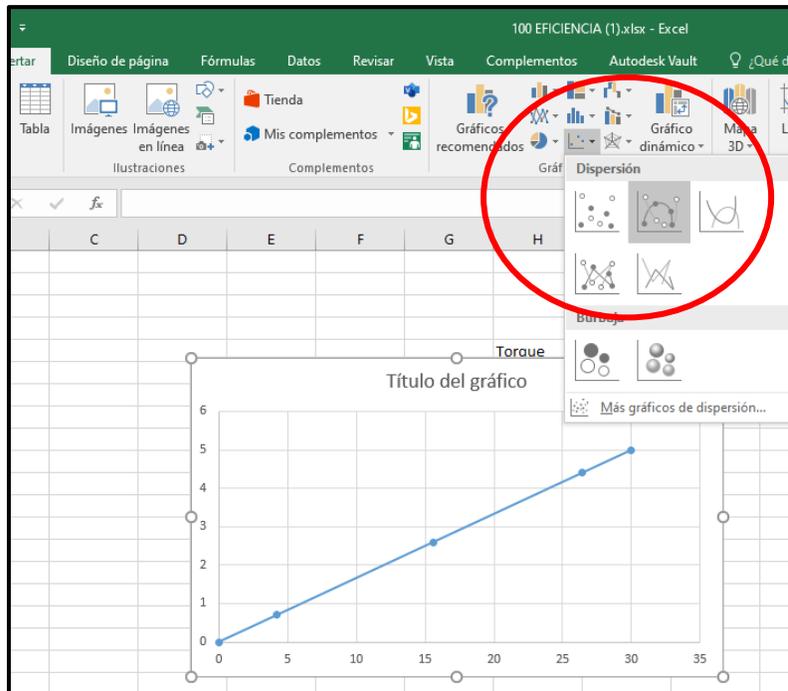


Figura 54: Ajuste de la curva. Fuente: (Autores)

- **Línea de tendencia:** en la gráfica se da clic derecho en la recta y elegir en agregar línea de tendencia ver en la figura 55.

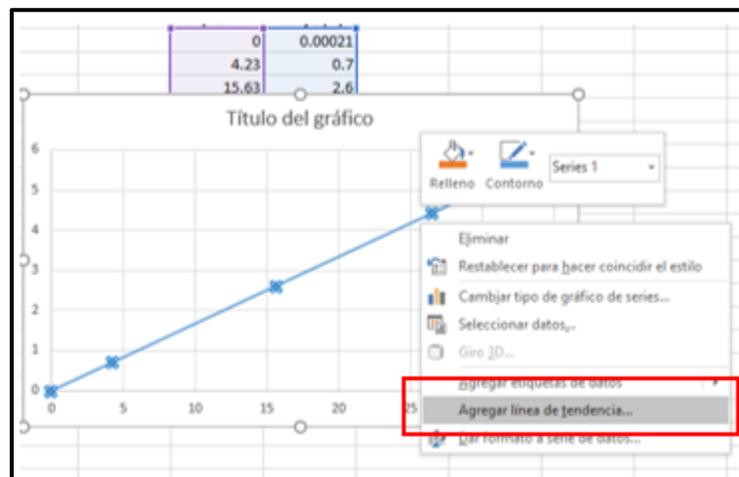


Figura 55: Línea de tendencia. Fuente: (Autores)

En el apartado de opciones de línea de tendencia como se observa en la figura 56, se elige a la que mejor se asemeja en este caso elegir en lineal.

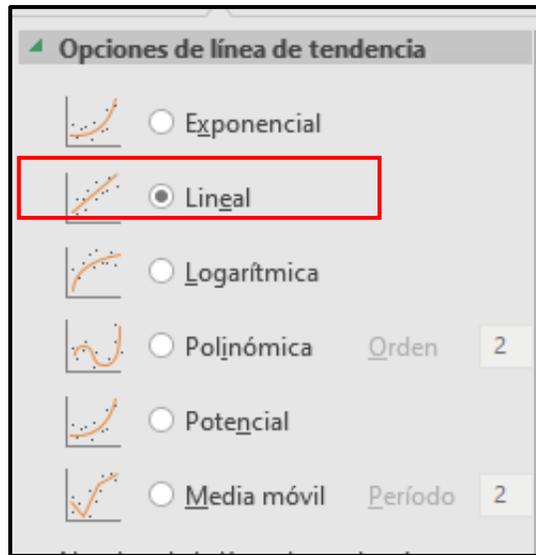


Figura 56: Opciones de línea de tendencia. Fuente: (Autores)

- **Ecuación:** En opciones de línea de tendencia como se observa en la figura 57, señala en el casillero de presentar ecuación en el gráfico y presentar el valor de R cuadrado en el gráfico.

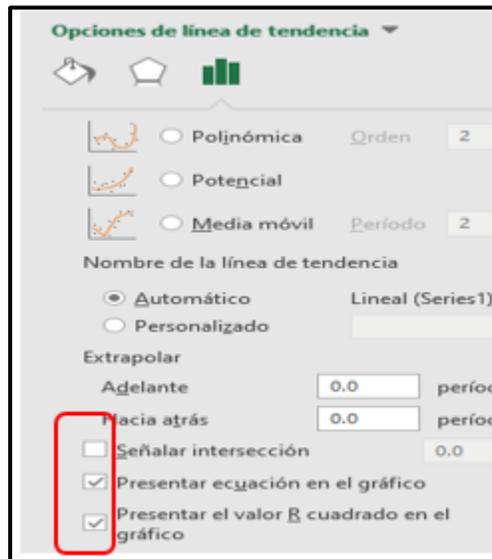


Figura 57: Presentar ecuación y valor de R. Fuente: (Autores)

- **Curva característica del sensor:** finalmente se consigue la ecuación, descrita en la ecuación (5), y representada junto con la gráfica como se observa en la figura 58.

$$y = 6.0099 * +0.0087 \quad (5)$$

$$R^2 = 1$$

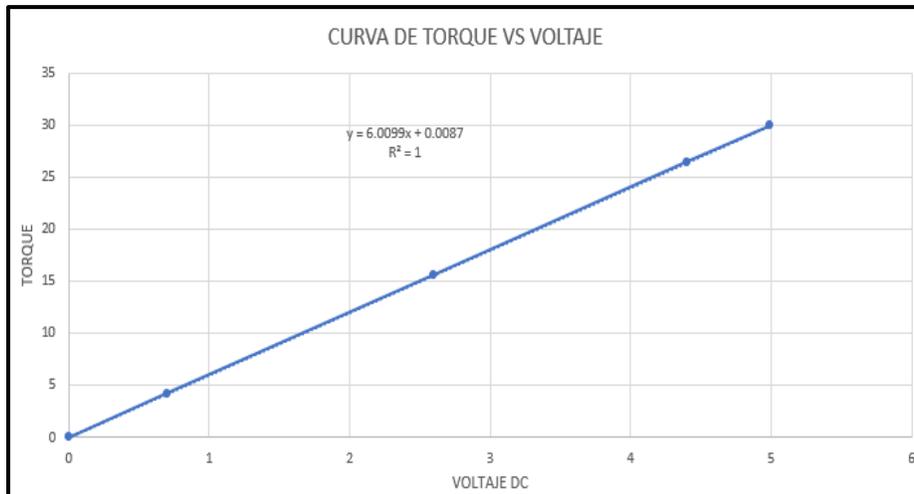


Figura 58: Curva característica del sensor de torque. Fuente: (Autores)

A continuación, se describe la programación para el registro de la temperatura

5.5.2. Programación para el registro de temperatura

Como se observa en la figura 59, en el software de Arduino se procedió a cargar la siguiente programación que permite leer el dato de la temperatura en tiempo real.

```

TESISFINAL $
#include <OneWire.h> // Incluye la librería para el funcionamiento del sensor
#include <DallasTemperature.h> // Incluye la librería para el funcionamiento del sensor

OneWire ourWire(2); //Se establece el pin 2 como bus OneWire( pin de estrada de datos)
DallasTemperature sensors(&ourWire); //Se declara una variable u objeto para nuestro sensor
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  sensors.begin(); //Se inicia el sensor
}
void loop() {
  sensors.requestTemperatures(); //Se envía el comando para leer la temperatura
  String temp = String( sensors.getTempCByIndex(0), DEC);
  String temp1 = String ( "A" + temp); // se envía el dato al software labview que indica la temperatura
  Serial.println(temp1);
}

```

Figura 59: Programación para leer datos de la temperatura. Fuente: (Autores)

5.6. Configuración para la adquisición de datos

Las señales del valor de torsión que envía el sensor de torsión dinámico DYN-200 junto con las señales enviadas por el sensor de temperatura son obtenidas a través de LabVIEW y para la adquisición de dato la DAQ NI USB-6212, a continuación, se configura los elementos como se observa en la figura 60.

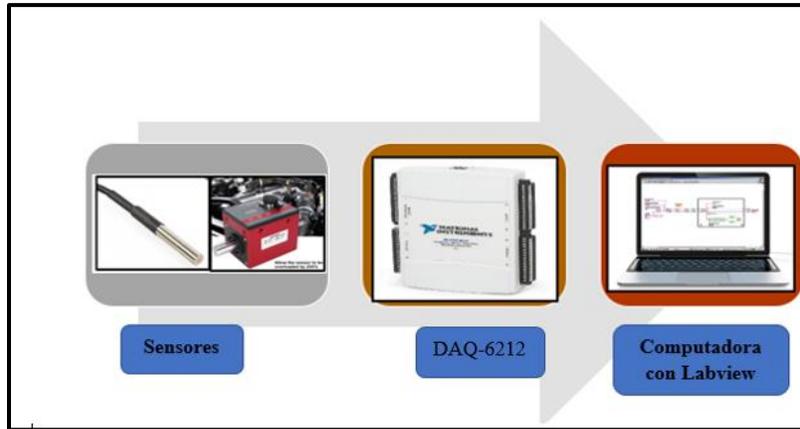


Figura 60: Estructura de adquisición de datos. Fuente: (Autores)

5.6.1. Configuración de la DAQ NI USB-6212

Primero se instala el software NI-DAQ disponible en el disco de la DAQ, para establecer la conexión de la DAQ NI USB-6212 con el ordenador.

Al momento de conectar el puerto USB en el computador, el dispositivo debe ser reconocido como se observa en la figura 61.

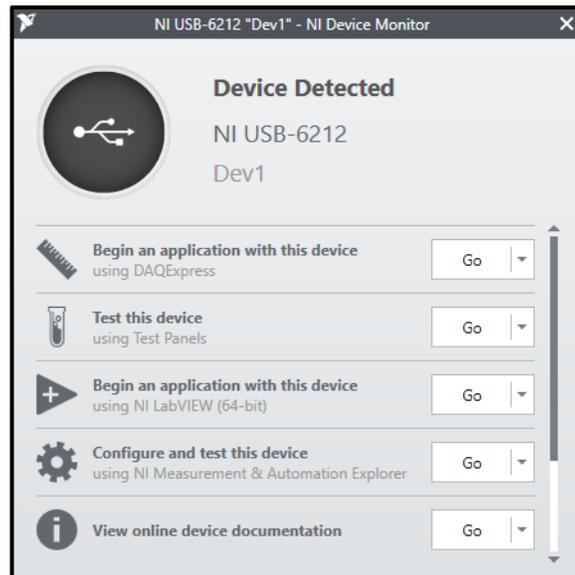


Figura 61: Reconocimiento de la tarjeta DAQ con el ordenador. Fuente: (Autores)

5.6.2. Frecuencia de muestreo

Al aplicar el criterio de Nyquist, la frecuencia de muestreo será el doble de la frecuencia de la señal de la lectura del sensor, el criterio establece un muestreo de diez veces mayor al valor de la frecuencia del sensor.

5.6.3. Configuración de la DAQ Assistant en LabVIEW

Con los pasos que se enseñan a continuación, se configura el módulo de la DAQ NI USB-6212.

Paso 1: Abrir *LabVIEW*, clic en *File* opción *New VI*, para establecer un nuevo proyecto, figura 62.

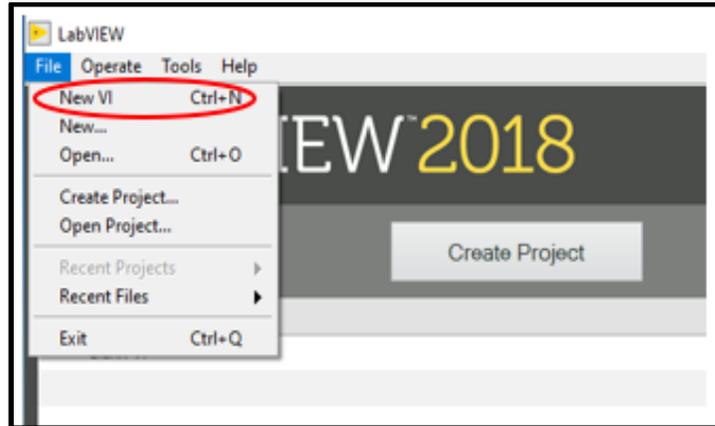


Figura 62: Crear un nuevo proyecto en LabVIEW. Fuente: (Autores)

Adquirir señales:

Paso 2. En el apartado de Block Diagram, se da clic en, Express, luego en Input, y finalmente DAQ Assist.

Paso 3: Dar dos veces clic izquierdo en DAQ Assist, clic izquierdo Adquiere Signal, Analog Input, voltage. Se obtendrá 2 canales analógicos para los voltajes de entrada: A17 + y A18- para el sensor de torsión DYN-200 Como se observa en la figura 63. tener

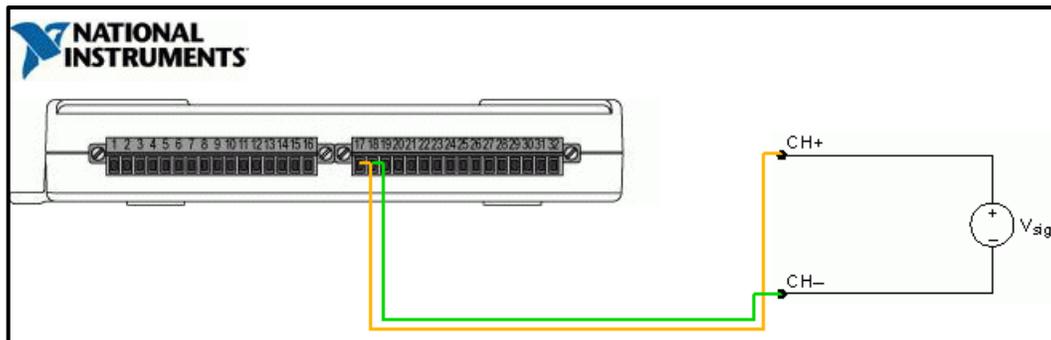


Figura 63: Asignación de los canales para los voltajes de entrada. Fuente: (Autores)

Paso 4. En cada puerto se configuran los parámetros para las conexiones.

- **Acquisition Mode:** Continuous Samples.
- **Signal Input Rang:** 5 V (max) – 0 (min)V
- **Terminal configuration:** Differential sensor de torsión DYN-200
- **Rate (HZ):**10 KHZ
- **Samples o read:** 2KHZ

Se aprecia la configuración en la figura 64, de los parámetros en la ventana del DAQ Assistant.

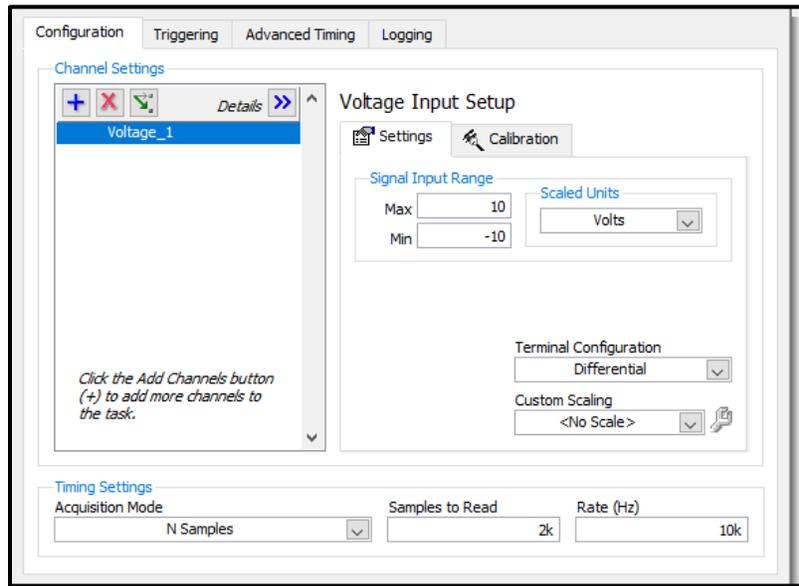


Figura 64: Configuración de parámetros para la toma de datos. Fuente: (Autores)

5.6.4. Conexión del sensor de torsión DYN-200 con la DAQ NI USB-6212

Para realizar la conexión del sensor de torsión con la DAQ NI USB-6212, se debe seguir los siguientes procesos.

El pin de señal color verde se conecta al puerto 2 (+) AI17 de la DAQ y el pin de señal blanco se conecta al puerto 2 (-) AI8 de la DAQ y el cable amarillo de tierra del sensor se conecta al puerto 3 DGND de la DAQ, como se observa en la figura 65.



Figura 65: Conexión del sensor de torsión. Fuente: (Autores)

5.6.5. Programación en el software LabVIEW

Al definirse los puertos de entrada analógicos en la tarjeta **DAQ NI USB-6212**, se procede al desarrollo del programa que se presenta a continuación en la figura 66.

Diagrama de bloques

En la programación por diagrama de bloques se establece el tipo de comunicación con el Arduino uno y la comunicación y velocidad con la DAQ.

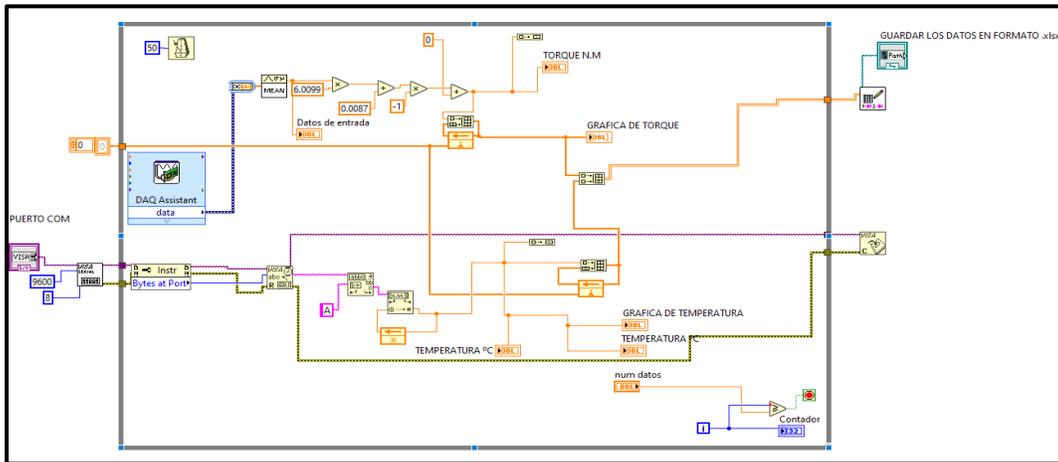


Figura 66: Desarrollo del programa en el Block Diagram. Fuente: (Autores)

A continuación, se describen cada uno de los bloques de programación:

Como se muestra la figura 67, la primera parte corresponde solo a la programación de bloques del sensor de torque DYN-200, al dividir en tres bloques específicos como lo son A, B, C.

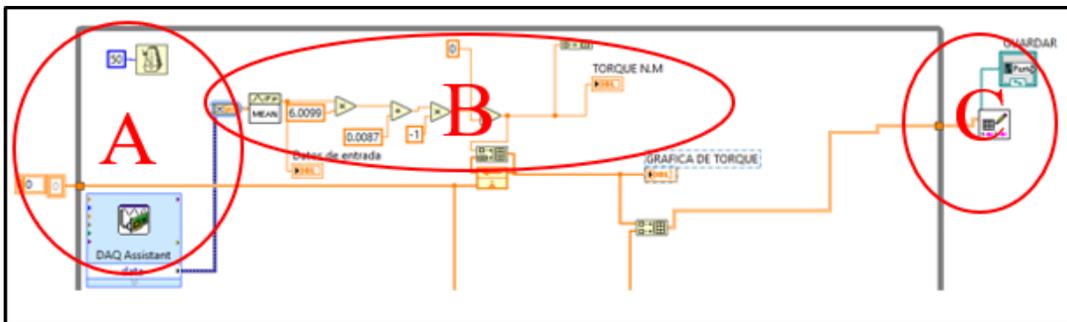


Figura 67: Bloques de programación para la adquisición de datos. Fuente: (Autores)

En el bloque A, figura 68, se selecciona la DAQ Assistant y en la configuración de esta tarjeta se seleccionan los puertos a utilizar y la velocidad de muestreo.

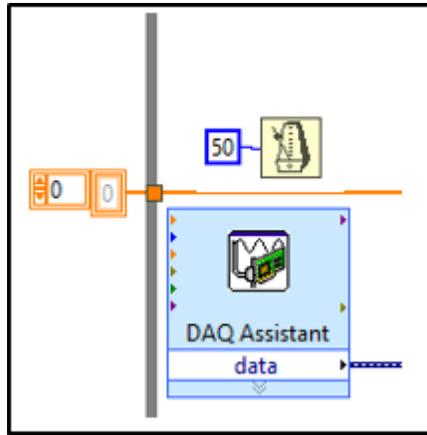


Figura 68: DAQ Assistant. Fuente: (Autores)

En el bloque B, ver figura 69, se coloca la ecuación lineal obtenida en la caracterización del sensor DYN-200 con los valores de la ecuación para posteriormente enviar a una visualización del dato en el panel frontal, que da como resultado de esta ecuación el torque en Nm.

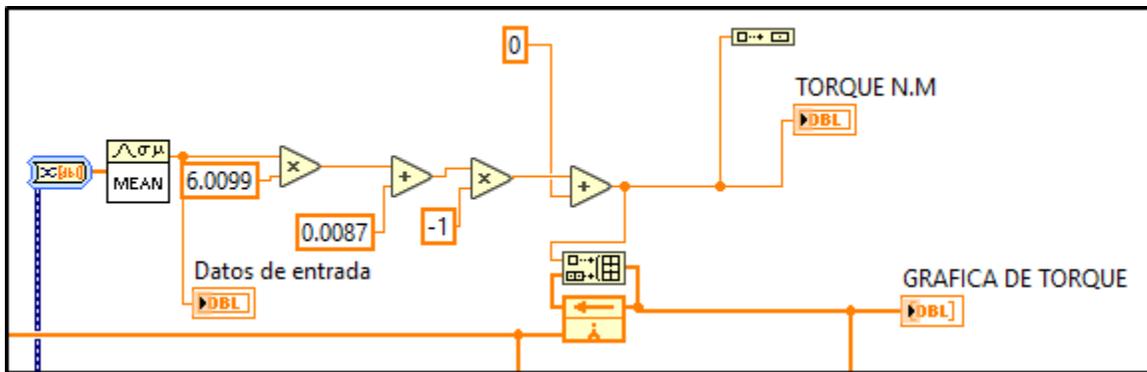


Figura 69: Programación y datos de la curva característica del sensor de torque. Fuente: (Autores)

En el bloque C, ver figura 70, los datos obtenidos ya del resultado de la ecuación lineal son enviados y procesados hacia un archivo en formato .xlsx, para su interpretación posterior.

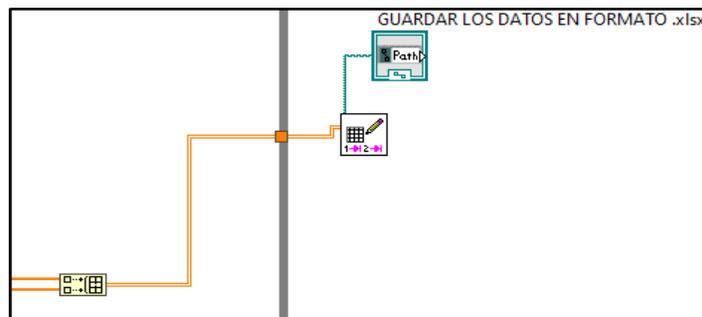


Figura 70: Bloque de programación para guardar los datos. Fuente: (Autores)

Como se muestra la figura 71, la segunda parte corresponde a la programación de bloques del sensor de temperatura DS18B20, al dividir en tres bloques específicos como lo son D, E, F.

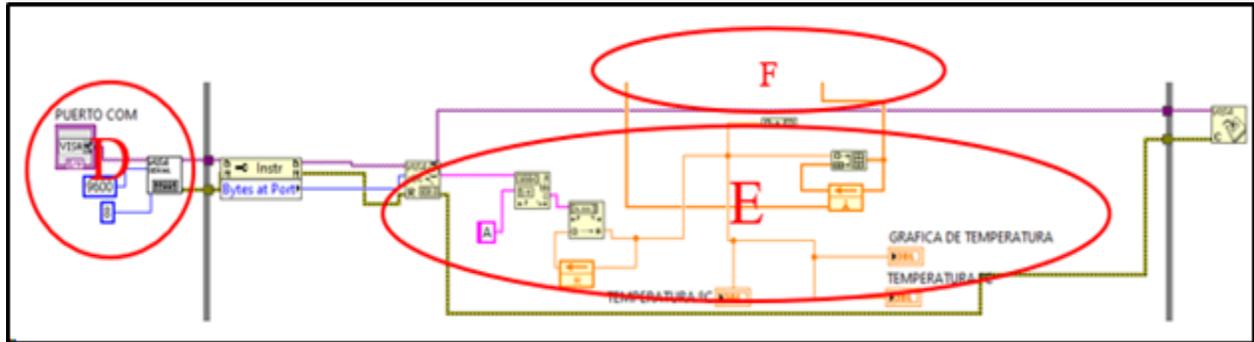


Figura 71: Programación para el sensor de temperatura DS18B20. Fuente: (Autores)

En el bloque D, ver figura 72, se selecciona el tipo de comunicación VISA a una velocidad serial de 9600 baudios, que es a la velocidad que está programado en el Arduino uno.

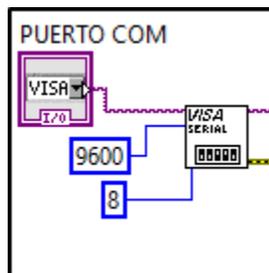


Figura 72: Puerto de comunicación. Fuente: (Autores)

En el bloque E, figura 73, el programa de LabVIEW recibe el valor proveniente por el puerto COM que es una variable A y que posteriormente será tratada para convertirse en un valor de temperatura en grados centígrados y mostrarla en el panel frontal.

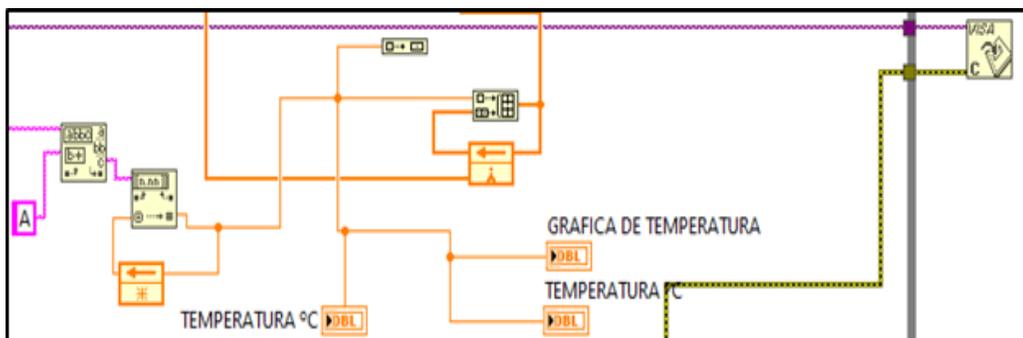


Figura 73: Programación del sensor de temperatura. Fuente: (Autores)

En el bloque F, figura 74, el valor de la temperatura se envía a un último bloque que irá del par con la señal del sensor de torque hacia un archivo en formato .xlsx, para su interpretación posterior.

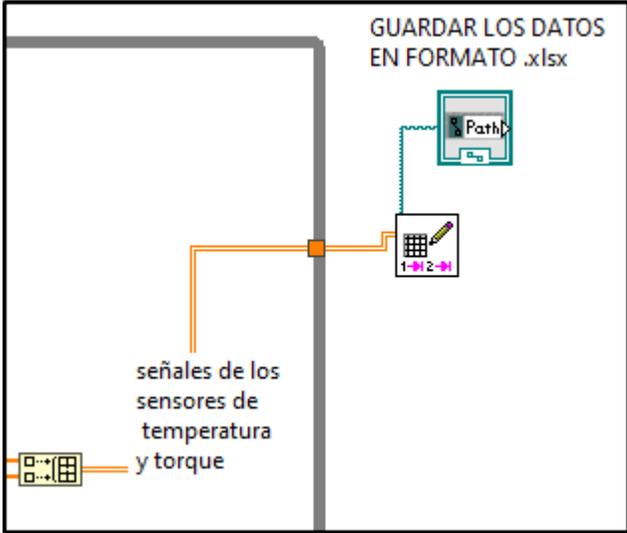


Figura 74: Impresión de los datos de ambos sensores en archivo xlsx. Fuente: (Autores)

En el siguiente bloque indicado en la figura 75, se coloca el valor de los números de repeticiones que se requiere para tomar la muestra en este caso el valor total de las muestras es de 100, cuando el contador llegue a 100 la toma de datos se detendrá y estos datos se guardarán automáticamente en una carpeta seleccionada por el operador.

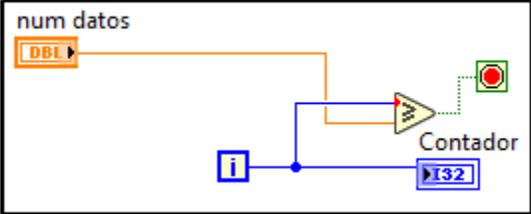


Figura 75: Contador de datos. Fuente: (Autores)

Panel Frontal

En la figura 76, muestra los datos en tiempo real, tanto los datos de entrada del sensor de torsión como los datos de entrada del sensor de temperatura



Figura 76: Panel frontal de programación. Fuente: (Autores)

En la parte A del panel frontal existe una opción que dice “GUARDAR LOS DATOS EN FORMATO .xlsx”, esta es la carpeta en la que se guardarán los datos en una carpeta ya seleccionada por el operador para generar otro archivo se debe de cambiar el nombre antes de .xlsx.

En la parte B de la gráfica se visualiza la temperatura del aceite, en la parte inferior del panel frontal A se muestra los datos en tiempo real leídas por la tarjeta DAQ e imprime el valor de los datos de entrada como “TORQUE N.M” de igual manera la temperatura en grados centígrados.

5.7. Toma de muestras y caracterización de la señal

Después de establecer la conexión del sensor indicado en el punto 5.6.4 de los cables de señal (Verde, amarillo), Procedemos al muestreo, para eso pasamos a un protocolo de adquisición de las muestras.

5.7.2. Proceso de adquisición de datos.

El flujograma indicado en la figura 77, indica el proceso desde la conexión de la DAQ con el software LabVIEW, después de evaluar la conexión de los mismos, se graba la señal si es correcta en el software LabVIEW y se guarda en un archivo en formato de excel, si no es así se vuelve a verificar la conexión.

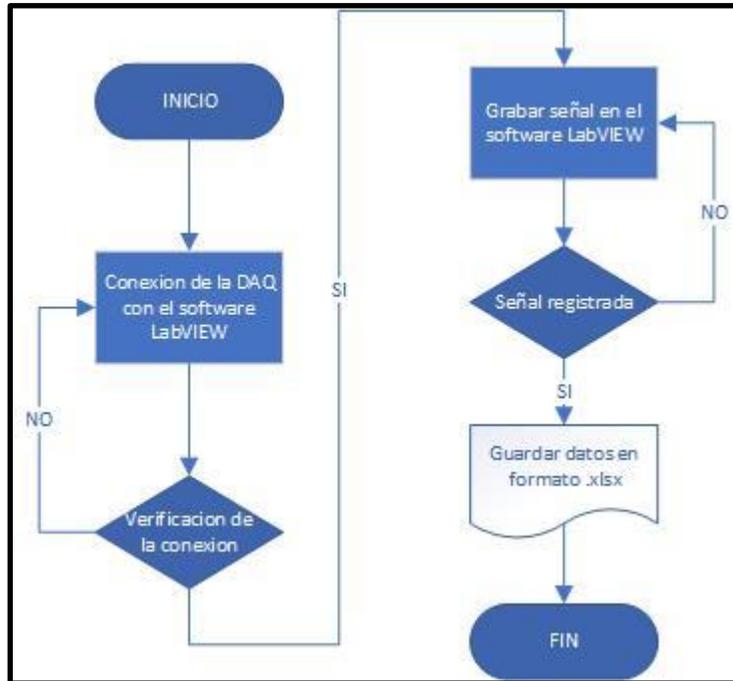


Figura 77: Proceso de adquisición de datos. Fuente: (Autores)

A continuación, se menciona el método estadístico de atributos de señales temporales con el fin de a garantizar el eficiente funcionamiento del sistema al aplicar el método (ANOVA), este método determina si las pruebas que se van a realizar son estadísticamente significativas su diferencia al realizar los ensayos con todos los segmentos o con los segmentos por separado.

5.8. Atributos de las señales temporales (ANOVA)

Para el análisis de varianza la variable de respuesta es el torque, este valor se coloca en la columna C1, en la columna C2 se coloca las combinaciones generadas, en este caso se combinan los pistones con cada uno de los segmentos, las combinaciones de pistones- segmentos tienen 12 niveles para el análisis y por último en la columna C3 se inserta los ángulos en donde se obtienen los valores del torque como se aprecia en la figura 78.

↓	C1	C2	C3
	Torque (Nm)	Combinaciones	Ángulos
6			
7			
8			
9			

Figura 78: Dirección de entrada Minitab. Fuente: (Autores)

Seguidamente insertar en la hoja de trabajo del software Minitab 19 mostrada en la figura 79

	ANGULOS						
	0	30	60	90	120	150	
1							
2	P1Racete	0.929632	1.352192	1.89024	1.438704	1.898656	0.760608
3	P2Racete	0.507072	1.26768	1.859264	1.521216	1.26768	0.84512
4	P3Racete	0.760608	1.098856	1.774752	0.84512	1.014144	0.929632
5	P4Racete	0.84512	1.014144	1.521216	1.521216	0.929632	0.676096
6	P1Rcompre	0.84512	0.591584	0.591584	0.42256	0.42256	0.338048
7	P2Rcompre	0.507072	0.507072	0.760608	0.507072	0.42256	0.676096
8	P3Rcompre	0.760608	0.507072	0.591584	0.507072	0.507072	0.676096
9	P4Rcompre	0.84512	0.507072	0.507072	0.591584	0.33048	0.42256
10	P1Rfuego	0.84512	0.591584	0.507072	0.507072	0.42256	0.507072
11	P2Rfuego	0.760608	0.507072	0.507072	0.591584	0.507072	0.591584
12	P3Rfuego	0.760608	0.507072	0.507072	0.507072	0.507072	0.676096
13	P4Rfuego	0.84512	0.676096	0.676096	0.507072	0.42256	0.42256
14							
15							
16							
17							
18							
19							
20							
21							
22							
23							
24							
25							
26							
27							
28							
29							
30							
31							
32							
33							
34							
35							
36							
37							
38							
39							
40							
41							
42							
43							
44							
45							
46							
47							
48							
49							
50							
51							
52							
53							
54							
55							
56							
57							
58							
59							
60							
61							
62							
63							
64							
65							
66							
67							
68							
69							
70							
71							
72							
73							
74							
75							
76							
77							
78							
79							
80							

Figura 79: Ingreso de los datos estadísticos en el MINITAB. Fuente: (Autores)

Después, de ingresar los datos, se da clic en la pestaña “estadísticas”, siguiente clic en “ANOVA” después clic en “Modelo lineal general” y por último en “Ajustar modelo lineal general”, como se muestra en la siguiente figura 80.

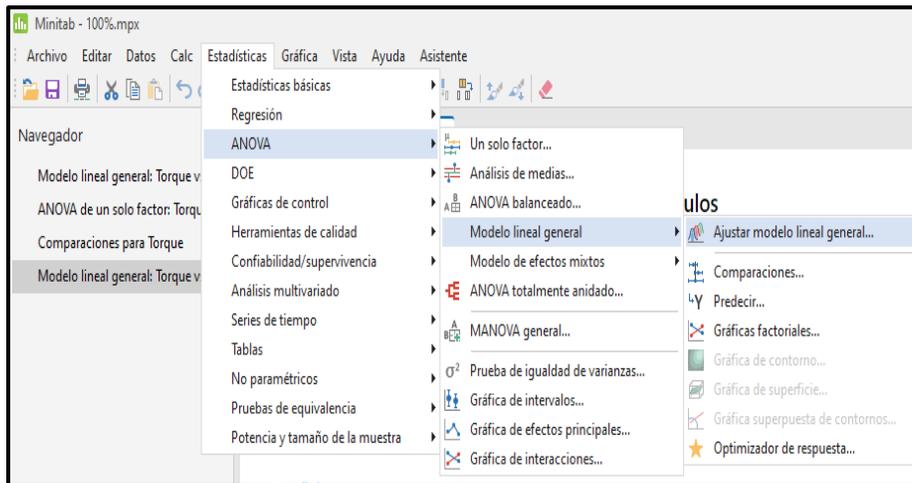


Figura 80: Método estadístico ANOVA. Fuente: (Autores)

En la figura 81, se seleccionan las variables de respuesta qué es torque y sus factores que son pistón/ segmentos y ángulos.

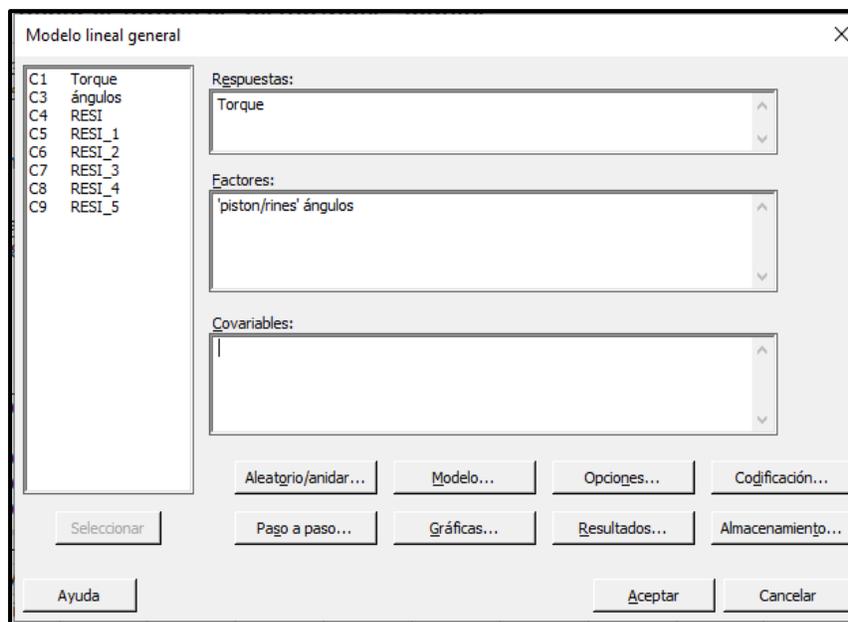


Figura 81: Modelo lineal general para respuestas y factores. Fuente: (Autores)

A continuación, está la parte de Modelo como se ve en la figura 82, donde se seleccionan las dos variables para el análisis de las diferentes combinaciones estadísticas.

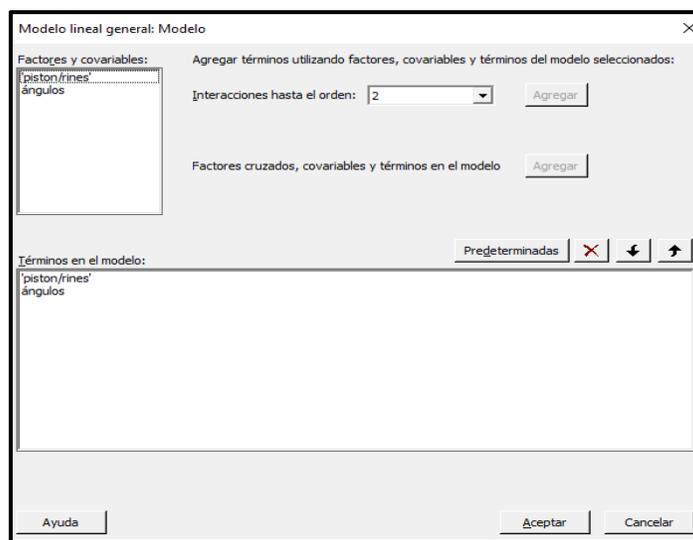


Figura 82: Variables para el análisis. Fuente: (Autores)

Después en opciones para configurar el nivel de confianza en un 95 % como se indica en la figura 83, además seleccionar la opción bilateral.

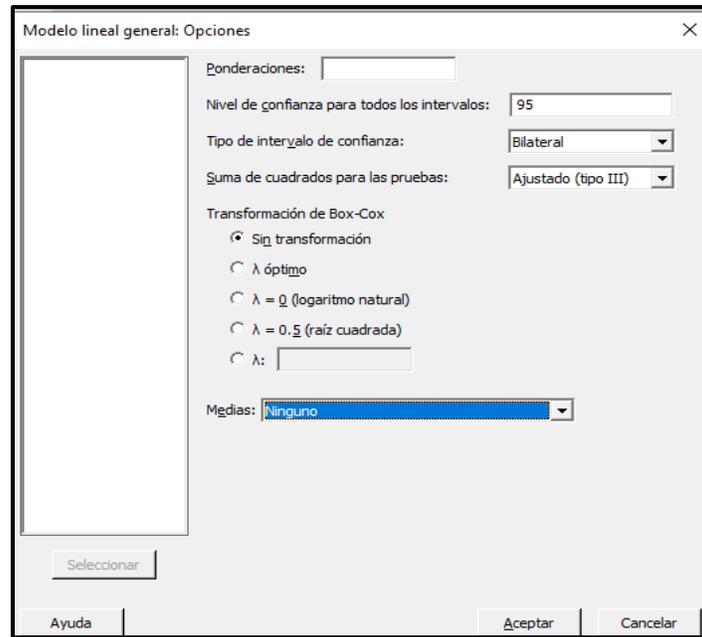


Figura 83: Nivel de confianza del tipo de intervalos. Fuente: (Autores)

En la pestaña de gráfica como se aprecia en la figura 84, se representa el apartado de datos, en el que se elige la gráfica de intervalo, y en la parte de zona gráfica de resultados, se escoge la opción cuatro en uno.

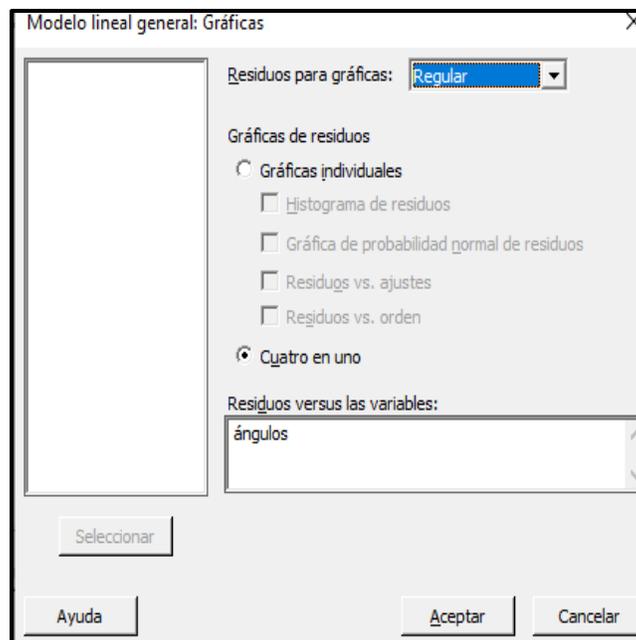


Figura 84: Tipo de gráficas para el análisis. Fuente: (Autores)

Por último, clic en aceptar para ver la información que brinda el software.

A continuación, se puede apreciar en la figura 85, la gráfica de probabilidad normal de los datos con tendencia hacia una línea recta, que satisface el supuesto de la normalidad de los datos obtenidos, verifica además la distribución de resultados en la representación del histograma.

En la gráfica de Valor Ajustado vs. Residuo, se puede ver donde los puntos no tienen un determinado patrón con la forma de embudo o corneta y por lo tanto tiene una varianza constante, esto también demuestra no tiene relación con la magnitud predicha.

En la gráfica de Orden de observación vs. Residuo es identificado que los puntos no siguen un patrón específico, sino que sitúan aleatoriamente alrededor de la línea, esta tendencia garantiza la independencia de los residuos.

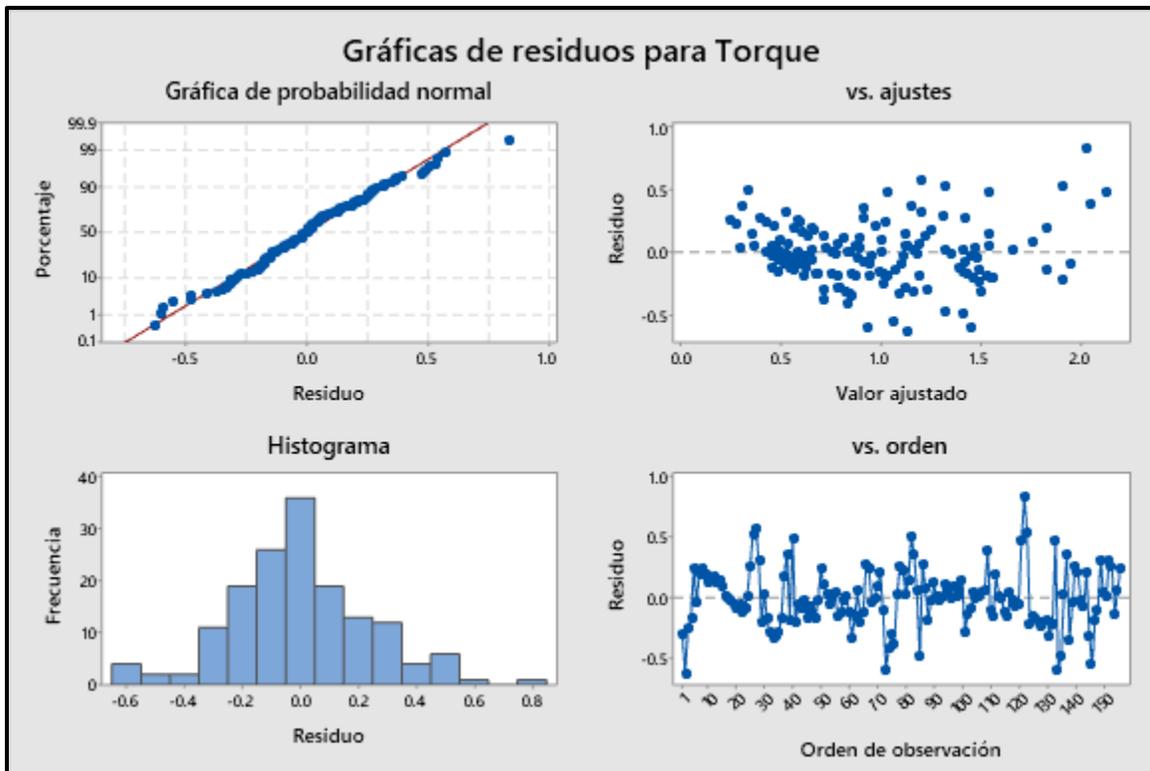


Figura 85: Resultados de residuos vs ángulos. Fuente: (Autores)

En la figura 86, se puede ver la información del modelo, el punto importante es **p** que significa si la probabilidad es nula o es cierta:

- Si el valor de **p** < 0,05 significa que los datos obtenidos en el resultado **no** son iguales por lo que la probabilidad es nula.

- Si el valor de $p > 0,05$ significa que los datos obtenidos en el resultado **son** iguales por lo que la probabilidad es cierta.

Análisis de Varianza					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
piston/rines	11	8.991	0.8173	4.07	0.000
Error	144	28.920	0.2008		
Total	155	37.910			

Figura 86: Análisis de varianza. Fuente: (Autores)

Se obtiene un valor de $p = 0.000$ lo cual es menor a $0,05$, se interpreta que existe diferencia en al menos un par de métodos, por lo cual la probabilidad es nula, para saber cuáles son las combinaciones significativamente diferentes se realiza la agrupación de Tukey, como se ve en la figura 87.

piston/rines	N	Media	Agrupación
P1Raceite	13	1.411	A
P2Raceite	13	1.313	A B
P3Raceite	13	1.190	A B C
P4Raceite	13	1.190	A B C
P4Rfuego	13	0.839	A B C
P1Rfuego	13	0.832	A B C
P2Rfuego	13	0.8126	B C
P3Rfuego	13	0.7801	B C
P1Rcompre	13	0.774	B C
P4Rcompre	13	0.7730	B C
P3Rcompre	13	0.7476	B C
P2Rcompre	13	0.7151	C

Figura 87: Agrupación mediante el método de Tukey. Fuente: (Autores)

Al aplicar este método, se calculó la variabilidad de las combinaciones de los segmentos con los 4 pistones, como se observa en la figura 87, con la agrupación de Tukey se concluye que la media comparte en la mayoría de casos una letra, ya que los resultados no son significativamente diferentes al realizar las pruebas con 1 pistón o con los 4 pistones, con estos resultados se procede a realizar las pruebas con 1 pistón armado con los tres segmentos.

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

A continuación, se presentan todos los resultados obtenidos al aplicar el método de arrastre al motor Hyundai Avante 1.5 L. Los ensayos se realizaron con el objetivo de estudiar su eficiencia energética a través del análisis de torque entre segmentos y cilindro, para las diferentes variables de entrada como son: revoluciones del motor y viscosidad del aceite a diferentes temperaturas.

6.1. Resultados de los ensayos a 450 rpm

En las siguientes tablas muestran los resultados del torque vs temperatura de los aceites: 10w-30, 20w-50, 25w-60 a una temperatura de 20 ° C, 40 ° C y 70 ° C con un margen de error del $\pm 2^{\circ}\text{C}$, con el fin de determinar si los resultados del torque obtenidos por el sensor de torsión DYN-200 tienen diferencia significativa se aplica la estadística inferencial con el método de ANOVA.

En la Tabla 21, se muestran los resultados de las pruebas a 450 rpm, a la temperatura del aceite de 20 ° C, al aplicar la estadística diferencial dan como resultado que no son significativamente diferentes en las tres pruebas que se realizan, ya que comparten una misma letra similar.

En la Tabla 22. se muestran los resultados de las pruebas a 450 rpm, a la temperatura del aceite de 40 ° C, al incrementar la temperatura se puede apreciar que el valor del torque disminuye en los tres tipos de aceites, el valor que disminuye es de 1 Nm aproximadamente en los tres aceites.

En la Tabla 23, se muestran los resultados de las pruebas a 450 rpm, a la temperatura del aceite de 70° C, con este incremento de temperatura los tres tipos de aceite reflejan un valor del torque mucho menor, este valor se aprecia al ver la media que se obtiene al aplicar el método de ANOVA la diferencia de estos valores con respecto a la temperatura serán analizados en el apartado 6.5

Tabla 20: Resultado de las pruebas a 450 rpm a 20°C. Fuente: (Autores)

Temp.	Aceite 10W-30	Aceite 20W-50	Aceite 25W-60																																																																																																																																																
20 ° C,																																																																																																																																																			
	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="6">Aceite 10W-30@450rpm@20 °C</th> </tr> <tr> <th>Torque (Nm)</th> <th>Torque (Nm)</th> <th>Torque (Nm)</th> <th>Torque (Nm)</th> <th>Torque (Nm)</th> <th>Torque (Nm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Prueba 1</td> <td>3.908</td> <td>Prueba 2</td> <td>3.7</td> <td>Prueba 3</td> <td>3.71</td> </tr> <tr> <td>Prueba 1</td> <td>3.876</td> <td>Prueba 2</td> <td>3.7</td> <td>Prueba 3</td> <td>3.75</td> </tr> <tr> <td>Prueba 1</td> <td>3.875</td> <td>Prueba 2</td> <td>3.71</td> <td>Prueba 3</td> <td>3.76</td> </tr> <tr> <td>Prueba 1</td> <td>3.9</td> <td>Prueba 2</td> <td>3.7</td> <td>Prueba 3</td> <td>3.82</td> </tr> <tr> <td>Prueba 1</td> <td>3.909</td> <td>Prueba 2</td> <td>3.73</td> <td>Prueba 3</td> <td>3.81</td> </tr> <tr> <td>Prueba 1</td> <td>3.853</td> <td>Prueba 2</td> <td>3.73</td> <td>Prueba 3</td> <td>3.8</td> </tr> </tbody> </table>	Aceite 10W-30@450rpm@20 °C						Torque (Nm)	Prueba 1	3.908	Prueba 2	3.7	Prueba 3	3.71	Prueba 1	3.876	Prueba 2	3.7	Prueba 3	3.75	Prueba 1	3.875	Prueba 2	3.71	Prueba 3	3.76	Prueba 1	3.9	Prueba 2	3.7	Prueba 3	3.82	Prueba 1	3.909	Prueba 2	3.73	Prueba 3	3.81	Prueba 1	3.853	Prueba 2	3.73	Prueba 3	3.8	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="6">Aceite 20W-50@450rpm@20 °C</th> </tr> <tr> <th>Torque (Nm)</th> <th>Torque (Nm)</th> <th>Torque (Nm)</th> <th>Torque (Nm)</th> <th>Torque (Nm)</th> <th>Torque (Nm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Prueba 1</td> <td>6.09</td> <td>Prueba 2</td> <td>5.63</td> <td>Prueba 3</td> <td>5.84</td> </tr> <tr> <td>Prueba 1</td> <td>6.1</td> <td>Prueba 2</td> <td>5.6</td> <td>Prueba 3</td> <td>5.79</td> </tr> <tr> <td>Prueba 1</td> <td>6.08</td> <td>Prueba 2</td> <td>5.64</td> <td>Prueba 3</td> <td>5.82</td> </tr> <tr> <td>Prueba 1</td> <td>6.02</td> <td>Prueba 2</td> <td>5.69</td> <td>Prueba 3</td> <td>5.83</td> </tr> <tr> <td>Prueba 1</td> <td>6</td> <td>Prueba 2</td> <td>5.68</td> <td>Prueba 3</td> <td>5.78</td> </tr> <tr> <td>Prueba 1</td> <td>6.03</td> <td>Prueba 2</td> <td>5.67</td> <td>Prueba 3</td> <td>5.77</td> </tr> </tbody> </table>	Aceite 20W-50@450rpm@20 °C						Torque (Nm)	Prueba 1	6.09	Prueba 2	5.63	Prueba 3	5.84	Prueba 1	6.1	Prueba 2	5.6	Prueba 3	5.79	Prueba 1	6.08	Prueba 2	5.64	Prueba 3	5.82	Prueba 1	6.02	Prueba 2	5.69	Prueba 3	5.83	Prueba 1	6	Prueba 2	5.68	Prueba 3	5.78	Prueba 1	6.03	Prueba 2	5.67	Prueba 3	5.77	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="6">Aceite 25W-60@450rpm@20 °C</th> </tr> <tr> <th>Torque (Nm)</th> <th>Torque (Nm)</th> <th>Torque (Nm)</th> <th>Torque (Nm)</th> <th>Torque (Nm)</th> <th>Torque (Nm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Prueba 1</td> <td>5.72</td> <td>Prueba 2</td> <td>5.58</td> <td>Prueba 3</td> <td>5.6</td> </tr> <tr> <td>Prueba 1</td> <td>5.72</td> <td>Prueba 2</td> <td>5.6</td> <td>Prueba 3</td> <td>5.57</td> </tr> <tr> <td>Prueba 1</td> <td>5.7</td> <td>Prueba 2</td> <td>5.6</td> <td>Prueba 3</td> <td>5.55</td> </tr> <tr> <td>Prueba 1</td> <td>5.69</td> <td>Prueba 2</td> <td>5.6</td> <td>Prueba 3</td> <td>5.59</td> </tr> <tr> <td>Prueba 1</td> <td>5.71</td> <td>Prueba 2</td> <td>5.58</td> <td>Prueba 3</td> <td>5.62</td> </tr> <tr> <td>Prueba 1</td> <td>5.73</td> <td>Prueba 2</td> <td>5.61</td> <td>Prueba 3</td> <td>5.6</td> </tr> </tbody> </table>	Aceite 25W-60@450rpm@20 °C						Torque (Nm)	Prueba 1	5.72	Prueba 2	5.58	Prueba 3	5.6	Prueba 1	5.72	Prueba 2	5.6	Prueba 3	5.57	Prueba 1	5.7	Prueba 2	5.6	Prueba 3	5.55	Prueba 1	5.69	Prueba 2	5.6	Prueba 3	5.59	Prueba 1	5.71	Prueba 2	5.58	Prueba 3	5.62	Prueba 1	5.73	Prueba 2	5.61	Prueba 3	5.6															
	Aceite 10W-30@450rpm@20 °C																																																																																																																																																		
Torque (Nm)	Torque (Nm)	Torque (Nm)	Torque (Nm)	Torque (Nm)	Torque (Nm)																																																																																																																																														
Prueba 1	3.908	Prueba 2	3.7	Prueba 3	3.71																																																																																																																																														
Prueba 1	3.876	Prueba 2	3.7	Prueba 3	3.75																																																																																																																																														
Prueba 1	3.875	Prueba 2	3.71	Prueba 3	3.76																																																																																																																																														
Prueba 1	3.9	Prueba 2	3.7	Prueba 3	3.82																																																																																																																																														
Prueba 1	3.909	Prueba 2	3.73	Prueba 3	3.81																																																																																																																																														
Prueba 1	3.853	Prueba 2	3.73	Prueba 3	3.8																																																																																																																																														
Aceite 20W-50@450rpm@20 °C																																																																																																																																																			
Torque (Nm)	Torque (Nm)	Torque (Nm)	Torque (Nm)	Torque (Nm)	Torque (Nm)																																																																																																																																														
Prueba 1	6.09	Prueba 2	5.63	Prueba 3	5.84																																																																																																																																														
Prueba 1	6.1	Prueba 2	5.6	Prueba 3	5.79																																																																																																																																														
Prueba 1	6.08	Prueba 2	5.64	Prueba 3	5.82																																																																																																																																														
Prueba 1	6.02	Prueba 2	5.69	Prueba 3	5.83																																																																																																																																														
Prueba 1	6	Prueba 2	5.68	Prueba 3	5.78																																																																																																																																														
Prueba 1	6.03	Prueba 2	5.67	Prueba 3	5.77																																																																																																																																														
Aceite 25W-60@450rpm@20 °C																																																																																																																																																			
Torque (Nm)	Torque (Nm)	Torque (Nm)	Torque (Nm)	Torque (Nm)	Torque (Nm)																																																																																																																																														
Prueba 1	5.72	Prueba 2	5.58	Prueba 3	5.6																																																																																																																																														
Prueba 1	5.72	Prueba 2	5.6	Prueba 3	5.57																																																																																																																																														
Prueba 1	5.7	Prueba 2	5.6	Prueba 3	5.55																																																																																																																																														
Prueba 1	5.69	Prueba 2	5.6	Prueba 3	5.59																																																																																																																																														
Prueba 1	5.71	Prueba 2	5.58	Prueba 3	5.62																																																																																																																																														
Prueba 1	5.73	Prueba 2	5.61	Prueba 3	5.6																																																																																																																																														
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Pruebas</th> <th>N</th> <th>Media Agrupación</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Prueba 3</td> <td>81</td> <td>3.9045 A</td> </tr> <tr> <td>Prueba 1</td> <td>81</td> <td>3.8781 A</td> </tr> <tr> <td>Prueba 2</td> <td>81</td> <td>3.8099 A</td> </tr> </tbody> </table>	Pruebas	N	Media Agrupación	Prueba 3	81	3.9045 A	Prueba 1	81	3.8781 A	Prueba 2	81	3.8099 A	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Pruebas</th> <th>N</th> <th>Media Agrupación</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Prueba 1</td> <td>81</td> <td>5.9850 A</td> </tr> <tr> <td>Prueba 3</td> <td>81</td> <td>5.8040 A</td> </tr> <tr> <td>Prueba 2</td> <td>81</td> <td>5.7773 A</td> </tr> </tbody> </table>	Pruebas	N	Media Agrupación	Prueba 1	81	5.9850 A	Prueba 3	81	5.8040 A	Prueba 2	81	5.7773 A	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Pruebas</th> <th>N</th> <th>Media Agrupación</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Prueba 1</td> <td>81</td> <td>5.6288 A</td> </tr> <tr> <td>Prueba 3</td> <td>81</td> <td>5.5138 A</td> </tr> <tr> <td>Prueba 2</td> <td>81</td> <td>5.5122 A</td> </tr> </tbody> </table>	Pruebas	N	Media Agrupación	Prueba 1	81	5.6288 A	Prueba 3	81	5.5138 A	Prueba 2	81	5.5122 A																																																																																																												
Pruebas	N	Media Agrupación																																																																																																																																																	
Prueba 3	81	3.9045 A																																																																																																																																																	
Prueba 1	81	3.8781 A																																																																																																																																																	
Prueba 2	81	3.8099 A																																																																																																																																																	
Pruebas	N	Media Agrupación																																																																																																																																																	
Prueba 1	81	5.9850 A																																																																																																																																																	
Prueba 3	81	5.8040 A																																																																																																																																																	
Prueba 2	81	5.7773 A																																																																																																																																																	
Pruebas	N	Media Agrupación																																																																																																																																																	
Prueba 1	81	5.6288 A																																																																																																																																																	
Prueba 3	81	5.5138 A																																																																																																																																																	
Prueba 2	81	5.5122 A																																																																																																																																																	

Tabla 21: Resultado de las pruebas a 450 rpm a 40 °C. Fuente: (Autores)

Temp.	Aceite 10W-30	Aceite 20W-50	Aceite 25W-60																																																																																																																																																
40° C																																																																																																																																																			
	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="6">Aceite 10W-30@450rpm@40°C</th> </tr> <tr> <th>Torque (Nm)</th> <th>Torque (Nm)</th> <th>Torque (Nm)</th> <th>Torque (Nm)</th> <th>Torque (Nm)</th> <th>Torque (Nm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Prueba 1</td> <td>2.12</td> <td>Prueba 2</td> <td>2.13</td> <td>Prueba 3</td> <td>2.12</td> </tr> <tr> <td>Prueba 1</td> <td>2.12</td> <td>Prueba 2</td> <td>2.13</td> <td>Prueba 3</td> <td>2.13</td> </tr> <tr> <td>Prueba 1</td> <td>2.11</td> <td>Prueba 2</td> <td>2.15</td> <td>Prueba 3</td> <td>2.1</td> </tr> <tr> <td>Prueba 1</td> <td>2.13</td> <td>Prueba 2</td> <td>2.16</td> <td>Prueba 3</td> <td>2.1</td> </tr> <tr> <td>Prueba 1</td> <td>2.12</td> <td>Prueba 2</td> <td>2.13</td> <td>Prueba 3</td> <td>2.1</td> </tr> <tr> <td>Prueba 1</td> <td>2.12</td> <td>Prueba 2</td> <td>2.13</td> <td>Prueba 3</td> <td>2.03</td> </tr> </tbody> </table>	Aceite 10W-30@450rpm@40°C						Torque (Nm)	Prueba 1	2.12	Prueba 2	2.13	Prueba 3	2.12	Prueba 1	2.12	Prueba 2	2.13	Prueba 3	2.13	Prueba 1	2.11	Prueba 2	2.15	Prueba 3	2.1	Prueba 1	2.13	Prueba 2	2.16	Prueba 3	2.1	Prueba 1	2.12	Prueba 2	2.13	Prueba 3	2.1	Prueba 1	2.12	Prueba 2	2.13	Prueba 3	2.03	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="6">Aceite 20W-50@450rpm@40 °C</th> </tr> <tr> <th>Torque (Nm)</th> <th>Torque (Nm)</th> <th>Torque (Nm)</th> <th>Torque (Nm)</th> <th>Torque (Nm)</th> <th>Torque (Nm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Prueba 1</td> <td>5.19</td> <td>Prueba 2</td> <td>5.25</td> <td>Prueba 3</td> <td>5.28</td> </tr> <tr> <td>Prueba 1</td> <td>5.21</td> <td>Prueba 2</td> <td>5.21</td> <td>Prueba 3</td> <td>5.28</td> </tr> <tr> <td>Prueba 1</td> <td>5.19</td> <td>Prueba 2</td> <td>5.19</td> <td>Prueba 3</td> <td>5.28</td> </tr> <tr> <td>Prueba 1</td> <td>5.17</td> <td>Prueba 2</td> <td>5.21</td> <td>Prueba 3</td> <td>5.26</td> </tr> <tr> <td>Prueba 1</td> <td>5.19</td> <td>Prueba 2</td> <td>5.2</td> <td>Prueba 3</td> <td>5.24</td> </tr> <tr> <td>Prueba 1</td> <td>5.18</td> <td>Prueba 2</td> <td>5.18</td> <td>Prueba 3</td> <td>5.24</td> </tr> </tbody> </table>	Aceite 20W-50@450rpm@40 °C						Torque (Nm)	Prueba 1	5.19	Prueba 2	5.25	Prueba 3	5.28	Prueba 1	5.21	Prueba 2	5.21	Prueba 3	5.28	Prueba 1	5.19	Prueba 2	5.19	Prueba 3	5.28	Prueba 1	5.17	Prueba 2	5.21	Prueba 3	5.26	Prueba 1	5.19	Prueba 2	5.2	Prueba 3	5.24	Prueba 1	5.18	Prueba 2	5.18	Prueba 3	5.24	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="6">Aceite 25W-60@450rpm@40 °C</th> </tr> <tr> <th>Torque (Nm)</th> <th>Torque (Nm)</th> <th>Torque (Nm)</th> <th>Torque (Nm)</th> <th>Torque (Nm)</th> <th>Torque (Nm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Prueba 1</td> <td>4.32</td> <td>Prueba 2</td> <td>4.36</td> <td>Prueba 3</td> <td>4.38</td> </tr> <tr> <td>Prueba 1</td> <td>4.34</td> <td>Prueba 2</td> <td>4.34</td> <td>Prueba 3</td> <td>4.38</td> </tr> <tr> <td>Prueba 1</td> <td>4.32</td> <td>Prueba 2</td> <td>4.35</td> <td>Prueba 3</td> <td>4.38</td> </tr> <tr> <td>Prueba 1</td> <td>4.33</td> <td>Prueba 2</td> <td>4.35</td> <td>Prueba 3</td> <td>4.36</td> </tr> <tr> <td>Prueba 1</td> <td>4.37</td> <td>Prueba 2</td> <td>4.33</td> <td>Prueba 3</td> <td>4.37</td> </tr> <tr> <td>Prueba 1</td> <td>4.38</td> <td>Prueba 2</td> <td>4.35</td> <td>Prueba 3</td> <td>4.37</td> </tr> </tbody> </table>	Aceite 25W-60@450rpm@40 °C						Torque (Nm)	Prueba 1	4.32	Prueba 2	4.36	Prueba 3	4.38	Prueba 1	4.34	Prueba 2	4.34	Prueba 3	4.38	Prueba 1	4.32	Prueba 2	4.35	Prueba 3	4.38	Prueba 1	4.33	Prueba 2	4.35	Prueba 3	4.36	Prueba 1	4.37	Prueba 2	4.33	Prueba 3	4.37	Prueba 1	4.38	Prueba 2	4.35	Prueba 3	4.37															
	Aceite 10W-30@450rpm@40°C																																																																																																																																																		
Torque (Nm)	Torque (Nm)	Torque (Nm)	Torque (Nm)	Torque (Nm)	Torque (Nm)																																																																																																																																														
Prueba 1	2.12	Prueba 2	2.13	Prueba 3	2.12																																																																																																																																														
Prueba 1	2.12	Prueba 2	2.13	Prueba 3	2.13																																																																																																																																														
Prueba 1	2.11	Prueba 2	2.15	Prueba 3	2.1																																																																																																																																														
Prueba 1	2.13	Prueba 2	2.16	Prueba 3	2.1																																																																																																																																														
Prueba 1	2.12	Prueba 2	2.13	Prueba 3	2.1																																																																																																																																														
Prueba 1	2.12	Prueba 2	2.13	Prueba 3	2.03																																																																																																																																														
Aceite 20W-50@450rpm@40 °C																																																																																																																																																			
Torque (Nm)	Torque (Nm)	Torque (Nm)	Torque (Nm)	Torque (Nm)	Torque (Nm)																																																																																																																																														
Prueba 1	5.19	Prueba 2	5.25	Prueba 3	5.28																																																																																																																																														
Prueba 1	5.21	Prueba 2	5.21	Prueba 3	5.28																																																																																																																																														
Prueba 1	5.19	Prueba 2	5.19	Prueba 3	5.28																																																																																																																																														
Prueba 1	5.17	Prueba 2	5.21	Prueba 3	5.26																																																																																																																																														
Prueba 1	5.19	Prueba 2	5.2	Prueba 3	5.24																																																																																																																																														
Prueba 1	5.18	Prueba 2	5.18	Prueba 3	5.24																																																																																																																																														
Aceite 25W-60@450rpm@40 °C																																																																																																																																																			
Torque (Nm)	Torque (Nm)	Torque (Nm)	Torque (Nm)	Torque (Nm)	Torque (Nm)																																																																																																																																														
Prueba 1	4.32	Prueba 2	4.36	Prueba 3	4.38																																																																																																																																														
Prueba 1	4.34	Prueba 2	4.34	Prueba 3	4.38																																																																																																																																														
Prueba 1	4.32	Prueba 2	4.35	Prueba 3	4.38																																																																																																																																														
Prueba 1	4.33	Prueba 2	4.35	Prueba 3	4.36																																																																																																																																														
Prueba 1	4.37	Prueba 2	4.33	Prueba 3	4.37																																																																																																																																														
Prueba 1	4.38	Prueba 2	4.35	Prueba 3	4.37																																																																																																																																														
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Pruebas</th> <th>N</th> <th>Media Agrupación</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Prueba 1</td> <td>81</td> <td>2.1187 A</td> </tr> <tr> <td>Prueba 3</td> <td>81</td> <td>2.1136 A</td> </tr> <tr> <td>Prueba 2</td> <td>81</td> <td>2.1095 A</td> </tr> </tbody> </table>	Pruebas	N	Media Agrupación	Prueba 1	81	2.1187 A	Prueba 3	81	2.1136 A	Prueba 2	81	2.1095 A	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Pruebas</th> <th>N</th> <th>Media Agrupación</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Prueba 2</td> <td>81</td> <td>5.3741 A</td> </tr> <tr> <td>Prueba 3</td> <td>81</td> <td>5.3505 A</td> </tr> <tr> <td>Prueba 1</td> <td>81</td> <td>5.3336 A</td> </tr> </tbody> </table>	Pruebas	N	Media Agrupación	Prueba 2	81	5.3741 A	Prueba 3	81	5.3505 A	Prueba 1	81	5.3336 A	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Pruebas</th> <th>N</th> <th>Media Agrupación</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Prueba 2</td> <td>81</td> <td>4.3713 A</td> </tr> <tr> <td>Prueba 1</td> <td>81</td> <td>4.3435 A</td> </tr> <tr> <td>Prueba 3</td> <td>81</td> <td>4.3322 A</td> </tr> </tbody> </table>	Pruebas	N	Media Agrupación	Prueba 2	81	4.3713 A	Prueba 1	81	4.3435 A	Prueba 3	81	4.3322 A																																																																																																												
Pruebas	N	Media Agrupación																																																																																																																																																	
Prueba 1	81	2.1187 A																																																																																																																																																	
Prueba 3	81	2.1136 A																																																																																																																																																	
Prueba 2	81	2.1095 A																																																																																																																																																	
Pruebas	N	Media Agrupación																																																																																																																																																	
Prueba 2	81	5.3741 A																																																																																																																																																	
Prueba 3	81	5.3505 A																																																																																																																																																	
Prueba 1	81	5.3336 A																																																																																																																																																	
Pruebas	N	Media Agrupación																																																																																																																																																	
Prueba 2	81	4.3713 A																																																																																																																																																	
Prueba 1	81	4.3435 A																																																																																																																																																	
Prueba 3	81	4.3322 A																																																																																																																																																	

Tabla 22: Resultado de las pruebas a 450 rpm a 70°C. Fuente: (Autores)

Temp.	Aceite 10W-30	Aceite 20W-50	Aceite 25W-60																																																																																																																																																
70° C																																																																																																																																																			
	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="6">Aceite 10W-30@450rpm@70 °C</th> </tr> <tr> <th>Torque (Nm)</th> <th>Torque (Nm)</th> <th>Torque (Nm)</th> <th>Torque (Nm)</th> <th>Torque (Nm)</th> <th>Torque (Nm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Prueba 1</td><td>1.73</td><td>Prueba 2</td><td>1.78</td><td>Prueba 3</td><td>1.72</td></tr> <tr><td>Prueba 1</td><td>1.73</td><td>Prueba 2</td><td>1.77</td><td>Prueba 3</td><td>1.72</td></tr> <tr><td>Prueba 1</td><td>1.73</td><td>Prueba 2</td><td>1.79</td><td>Prueba 3</td><td>1.72</td></tr> <tr><td>Prueba 1</td><td>1.75</td><td>Prueba 2</td><td>1.78</td><td>Prueba 3</td><td>1.73</td></tr> <tr><td>Prueba 1</td><td>1.74</td><td>Prueba 2</td><td>1.79</td><td>Prueba 3</td><td>1.72</td></tr> <tr><td>Prueba 1</td><td>1.75</td><td>Prueba 2</td><td>1.81</td><td>Prueba 3</td><td>1.74</td></tr> </tbody> </table>	Aceite 10W-30@450rpm@70 °C						Torque (Nm)	Prueba 1	1.73	Prueba 2	1.78	Prueba 3	1.72	Prueba 1	1.73	Prueba 2	1.77	Prueba 3	1.72	Prueba 1	1.73	Prueba 2	1.79	Prueba 3	1.72	Prueba 1	1.75	Prueba 2	1.78	Prueba 3	1.73	Prueba 1	1.74	Prueba 2	1.79	Prueba 3	1.72	Prueba 1	1.75	Prueba 2	1.81	Prueba 3	1.74	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="6">Aceite 20W-50@450rpm@70 °C</th> </tr> <tr> <th>Torque (Nm)</th> <th>Torque (Nm)</th> <th>Torque (Nm)</th> <th>Torque (Nm)</th> <th>Torque (Nm)</th> <th>Torque (Nm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Prueba 1</td><td>2.44</td><td>Prueba 2</td><td>2.44</td><td>Prueba 3</td><td>2.44</td></tr> <tr><td>Prueba 1</td><td>2.43</td><td>Prueba 2</td><td>2.44</td><td>Prueba 3</td><td>2.41</td></tr> <tr><td>Prueba 1</td><td>2.44</td><td>Prueba 2</td><td>2.43</td><td>Prueba 3</td><td>2.42</td></tr> <tr><td>Prueba 1</td><td>2.48</td><td>Prueba 2</td><td>2.43</td><td>Prueba 3</td><td>2.43</td></tr> <tr><td>Prueba 1</td><td>2.43</td><td>Prueba 2</td><td>2.43</td><td>Prueba 3</td><td>2.43</td></tr> <tr><td>Prueba 1</td><td>2.44</td><td>Prueba 2</td><td>2.45</td><td>Prueba 3</td><td>2.42</td></tr> </tbody> </table>	Aceite 20W-50@450rpm@70 °C						Torque (Nm)	Prueba 1	2.44	Prueba 2	2.44	Prueba 3	2.44	Prueba 1	2.43	Prueba 2	2.44	Prueba 3	2.41	Prueba 1	2.44	Prueba 2	2.43	Prueba 3	2.42	Prueba 1	2.48	Prueba 2	2.43	Prueba 3	2.43	Prueba 1	2.43	Prueba 2	2.43	Prueba 3	2.43	Prueba 1	2.44	Prueba 2	2.45	Prueba 3	2.42	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="6">Aceite 25W-60@450rpm@70 °C</th> </tr> <tr> <th>Torque (Nm)</th> <th>Torque (Nm)</th> <th>Torque (Nm)</th> <th>Torque (Nm)</th> <th>Torque (Nm)</th> <th>Torque (Nm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Prueba 1</td><td>2.95</td><td>Prueba 2</td><td>2.84</td><td>Prueba 3</td><td>2.88</td></tr> <tr><td>Prueba 1</td><td>2.95</td><td>Prueba 2</td><td>2.84</td><td>Prueba 3</td><td>2.89</td></tr> <tr><td>Prueba 1</td><td>2.94</td><td>Prueba 2</td><td>2.83</td><td>Prueba 3</td><td>2.87</td></tr> <tr><td>Prueba 1</td><td>2.92</td><td>Prueba 2</td><td>2.83</td><td>Prueba 3</td><td>2.86</td></tr> <tr><td>Prueba 1</td><td>2.91</td><td>Prueba 2</td><td>2.84</td><td>Prueba 3</td><td>2.87</td></tr> <tr><td>Prueba 1</td><td>2.94</td><td>Prueba 2</td><td>2.83</td><td>Prueba 3</td><td>2.88</td></tr> </tbody> </table>	Aceite 25W-60@450rpm@70 °C						Torque (Nm)	Prueba 1	2.95	Prueba 2	2.84	Prueba 3	2.88	Prueba 1	2.95	Prueba 2	2.84	Prueba 3	2.89	Prueba 1	2.94	Prueba 2	2.83	Prueba 3	2.87	Prueba 1	2.92	Prueba 2	2.83	Prueba 3	2.86	Prueba 1	2.91	Prueba 2	2.84	Prueba 3	2.87	Prueba 1	2.94	Prueba 2	2.83	Prueba 3	2.88															
	Aceite 10W-30@450rpm@70 °C																																																																																																																																																		
Torque (Nm)	Torque (Nm)	Torque (Nm)	Torque (Nm)	Torque (Nm)	Torque (Nm)																																																																																																																																														
Prueba 1	1.73	Prueba 2	1.78	Prueba 3	1.72																																																																																																																																														
Prueba 1	1.73	Prueba 2	1.77	Prueba 3	1.72																																																																																																																																														
Prueba 1	1.73	Prueba 2	1.79	Prueba 3	1.72																																																																																																																																														
Prueba 1	1.75	Prueba 2	1.78	Prueba 3	1.73																																																																																																																																														
Prueba 1	1.74	Prueba 2	1.79	Prueba 3	1.72																																																																																																																																														
Prueba 1	1.75	Prueba 2	1.81	Prueba 3	1.74																																																																																																																																														
Aceite 20W-50@450rpm@70 °C																																																																																																																																																			
Torque (Nm)	Torque (Nm)	Torque (Nm)	Torque (Nm)	Torque (Nm)	Torque (Nm)																																																																																																																																														
Prueba 1	2.44	Prueba 2	2.44	Prueba 3	2.44																																																																																																																																														
Prueba 1	2.43	Prueba 2	2.44	Prueba 3	2.41																																																																																																																																														
Prueba 1	2.44	Prueba 2	2.43	Prueba 3	2.42																																																																																																																																														
Prueba 1	2.48	Prueba 2	2.43	Prueba 3	2.43																																																																																																																																														
Prueba 1	2.43	Prueba 2	2.43	Prueba 3	2.43																																																																																																																																														
Prueba 1	2.44	Prueba 2	2.45	Prueba 3	2.42																																																																																																																																														
Aceite 25W-60@450rpm@70 °C																																																																																																																																																			
Torque (Nm)	Torque (Nm)	Torque (Nm)	Torque (Nm)	Torque (Nm)	Torque (Nm)																																																																																																																																														
Prueba 1	2.95	Prueba 2	2.84	Prueba 3	2.88																																																																																																																																														
Prueba 1	2.95	Prueba 2	2.84	Prueba 3	2.89																																																																																																																																														
Prueba 1	2.94	Prueba 2	2.83	Prueba 3	2.87																																																																																																																																														
Prueba 1	2.92	Prueba 2	2.83	Prueba 3	2.86																																																																																																																																														
Prueba 1	2.91	Prueba 2	2.84	Prueba 3	2.87																																																																																																																																														
Prueba 1	2.94	Prueba 2	2.83	Prueba 3	2.88																																																																																																																																														
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Pruebas</th> <th>N</th> <th>Media Agrupación</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Prueba 2</td><td>81</td><td>1.7880 A</td></tr> <tr><td>Prueba 3</td><td>81</td><td>1.7460 A</td></tr> <tr><td>Prueba 1</td><td>81</td><td>1.7278 A</td></tr> </tbody> </table>	Pruebas	N	Media Agrupación	Prueba 2	81	1.7880 A	Prueba 3	81	1.7460 A	Prueba 1	81	1.7278 A	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Pruebas</th> <th>N</th> <th>Media Agrupación</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Prueba 1</td><td>81</td><td>2.4790 A</td></tr> <tr><td>Prueba 3</td><td>81</td><td>2.4701 A</td></tr> <tr><td>Prueba 2</td><td>81</td><td>2.4144 A</td></tr> </tbody> </table>	Pruebas	N	Media Agrupación	Prueba 1	81	2.4790 A	Prueba 3	81	2.4701 A	Prueba 2	81	2.4144 A	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Pruebas</th> <th>N</th> <th>Media Agrupación</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Prueba 1</td><td>81</td><td>2.9261 A</td></tr> <tr><td>Prueba 3</td><td>81</td><td>2.8252 A</td></tr> <tr><td>Prueba 2</td><td>81</td><td>2.8196 A</td></tr> </tbody> </table>	Pruebas	N	Media Agrupación	Prueba 1	81	2.9261 A	Prueba 3	81	2.8252 A	Prueba 2	81	2.8196 A																																																																																																												
Pruebas	N	Media Agrupación																																																																																																																																																	
Prueba 2	81	1.7880 A																																																																																																																																																	
Prueba 3	81	1.7460 A																																																																																																																																																	
Prueba 1	81	1.7278 A																																																																																																																																																	
Pruebas	N	Media Agrupación																																																																																																																																																	
Prueba 1	81	2.4790 A																																																																																																																																																	
Prueba 3	81	2.4701 A																																																																																																																																																	
Prueba 2	81	2.4144 A																																																																																																																																																	
Pruebas	N	Media Agrupación																																																																																																																																																	
Prueba 1	81	2.9261 A																																																																																																																																																	
Prueba 3	81	2.8252 A																																																																																																																																																	
Prueba 2	81	2.8196 A																																																																																																																																																	

6.2. Resultados de los ensayos a 850 rpm

En las siguientes tablas muestran los resultados del torque vs temperatura de los aceites 10w-30, 20w-50, 25w-60 a una temperatura de 20 ° C, 40 ° C y 70 ° C con un margen de error del $\pm 2^{\circ}\text{C}$, con el fin de determinar si los resultados del torque obtenidos por el sensor de torsión DYN-200 tienen diferencia significativa se aplica la estadística inferencial con el método de ANOVA.

En la Tabla 24, se muestran los resultados de las pruebas a 850 rpm, a la temperatura del aceite de 20 ° C, al aplicar la estadística diferencial dan como resultado que no son significativamente diferentes en las tres pruebas que se realizan en los tres tipos de aceites, ya que comparten una misma letra similar.

En la Tabla 25, se muestran los resultados de las pruebas a 850 rpm, a la temperatura del aceite de 40 ° C, al incrementar la temperatura se puede apreciar que el valor del torque disminuye en los tres tipos de aceites, el valor que disminuye es de 1 Nm aproximadamente en los tres aceites.

En la Tabla 26, se muestran los resultados de las pruebas a 850 rpm, a la temperatura del aceite de 70° C, con este incremento de temperatura los tres tipos de aceite reflejan un valor del torque mucho menor, este valor se tiene al ver la media que se obtiene al aplicar el método de ANOVA la diferencia de estos valores con respecto a la temperatura serán analizados en el apartado 6

Tabla 23: Resultado de las pruebas a 850 rpm a 20°C. Fuente: (Autores)

Temp.	Aceite 10W-30	Aceite 20W-50	Aceite 25W-60																																																																																																																																																
20° C																																																																																																																																																			
	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="6">Aceite 10W-30@850rpm@20 °C</th> </tr> <tr> <th></th> <th>Torque (Nm)</th> <th>Torque (Nm)</th> <th>Torque (Nm)</th> <th>Torque (Nm)</th> <th>Torque (Nm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Prueba 1</td> <td>7.13</td> <td>Prueba 2</td> <td>6.9</td> <td>Prueba 3</td> <td>6.712</td> </tr> <tr> <td>Prueba 1</td> <td>7.16</td> <td>Prueba 2</td> <td>6.87</td> <td>Prueba 3</td> <td>6.745</td> </tr> <tr> <td>Prueba 1</td> <td>7.17</td> <td>Prueba 2</td> <td>6.93</td> <td>Prueba 3</td> <td>6.736</td> </tr> <tr> <td>Prueba 1</td> <td>7.12</td> <td>Prueba 2</td> <td>6.92</td> <td>Prueba 3</td> <td>6.756</td> </tr> <tr> <td>Prueba 1</td> <td>7.1</td> <td>Prueba 2</td> <td>6.87</td> <td>Prueba 3</td> <td>6.756</td> </tr> <tr> <td>Prueba 1</td> <td>7.16</td> <td>Prueba 2</td> <td>6.91</td> <td>Prueba 3</td> <td>6.732</td> </tr> </tbody> </table>	Aceite 10W-30@850rpm@20 °C							Torque (Nm)	Prueba 1	7.13	Prueba 2	6.9	Prueba 3	6.712	Prueba 1	7.16	Prueba 2	6.87	Prueba 3	6.745	Prueba 1	7.17	Prueba 2	6.93	Prueba 3	6.736	Prueba 1	7.12	Prueba 2	6.92	Prueba 3	6.756	Prueba 1	7.1	Prueba 2	6.87	Prueba 3	6.756	Prueba 1	7.16	Prueba 2	6.91	Prueba 3	6.732	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="6">Aceite 20W-50@850rpm@20 °C</th> </tr> <tr> <th></th> <th>Torque (Nm)</th> <th>Torque (Nm)</th> <th>Torque (Nm)</th> <th>Torque (Nm)</th> <th>Torque (Nm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Prueba 1</td> <td>8.57</td> <td>Prueba 2</td> <td>8.48</td> <td>Prueba 3</td> <td>8.29</td> </tr> <tr> <td>Prueba 1</td> <td>8.57</td> <td>Prueba 2</td> <td>8.59</td> <td>Prueba 3</td> <td>8.32</td> </tr> <tr> <td>Prueba 1</td> <td>8.54</td> <td>Prueba 2</td> <td>8.55</td> <td>Prueba 3</td> <td>8.25</td> </tr> <tr> <td>Prueba 1</td> <td>8.49</td> <td>Prueba 2</td> <td>8.56</td> <td>Prueba 3</td> <td>8.23</td> </tr> <tr> <td>Prueba 1</td> <td>8.51</td> <td>Prueba 2</td> <td>8.43</td> <td>Prueba 3</td> <td>8.23</td> </tr> <tr> <td>Prueba 1</td> <td>8.59</td> <td>Prueba 2</td> <td>8.52</td> <td>Prueba 3</td> <td>8.28</td> </tr> </tbody> </table>	Aceite 20W-50@850rpm@20 °C							Torque (Nm)	Prueba 1	8.57	Prueba 2	8.48	Prueba 3	8.29	Prueba 1	8.57	Prueba 2	8.59	Prueba 3	8.32	Prueba 1	8.54	Prueba 2	8.55	Prueba 3	8.25	Prueba 1	8.49	Prueba 2	8.56	Prueba 3	8.23	Prueba 1	8.51	Prueba 2	8.43	Prueba 3	8.23	Prueba 1	8.59	Prueba 2	8.52	Prueba 3	8.28	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="6">Aceite 25W-60@850rpm@40 °C</th> </tr> <tr> <th></th> <th>Torque (Nm)</th> <th>Torque (Nm)</th> <th>Torque (Nm)</th> <th>Torque (Nm)</th> <th>Torque (Nm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Prueba 1</td> <td>6.89</td> <td>Prueba 2</td> <td>7.25</td> <td>Prueba 3</td> <td>7.13</td> </tr> <tr> <td>Prueba 1</td> <td>6.91</td> <td>Prueba 2</td> <td>7.25</td> <td>Prueba 3</td> <td>7.1</td> </tr> <tr> <td>Prueba 1</td> <td>6.89</td> <td>Prueba 2</td> <td>7.26</td> <td>Prueba 3</td> <td>7.08</td> </tr> <tr> <td>Prueba 1</td> <td>6.96</td> <td>Prueba 2</td> <td>7.26</td> <td>Prueba 3</td> <td>7.08</td> </tr> <tr> <td>Prueba 1</td> <td>6.94</td> <td>Prueba 2</td> <td>7.27</td> <td>Prueba 3</td> <td>7.09</td> </tr> <tr> <td>Prueba 1</td> <td>7</td> <td>Prueba 2</td> <td>7.19</td> <td>Prueba 3</td> <td>7.12</td> </tr> </tbody> </table>	Aceite 25W-60@850rpm@40 °C							Torque (Nm)	Prueba 1	6.89	Prueba 2	7.25	Prueba 3	7.13	Prueba 1	6.91	Prueba 2	7.25	Prueba 3	7.1	Prueba 1	6.89	Prueba 2	7.26	Prueba 3	7.08	Prueba 1	6.96	Prueba 2	7.26	Prueba 3	7.08	Prueba 1	6.94	Prueba 2	7.27	Prueba 3	7.09	Prueba 1	7	Prueba 2	7.19	Prueba 3	7.12												
	Aceite 10W-30@850rpm@20 °C																																																																																																																																																		
	Torque (Nm)	Torque (Nm)	Torque (Nm)	Torque (Nm)	Torque (Nm)																																																																																																																																														
Prueba 1	7.13	Prueba 2	6.9	Prueba 3	6.712																																																																																																																																														
Prueba 1	7.16	Prueba 2	6.87	Prueba 3	6.745																																																																																																																																														
Prueba 1	7.17	Prueba 2	6.93	Prueba 3	6.736																																																																																																																																														
Prueba 1	7.12	Prueba 2	6.92	Prueba 3	6.756																																																																																																																																														
Prueba 1	7.1	Prueba 2	6.87	Prueba 3	6.756																																																																																																																																														
Prueba 1	7.16	Prueba 2	6.91	Prueba 3	6.732																																																																																																																																														
Aceite 20W-50@850rpm@20 °C																																																																																																																																																			
	Torque (Nm)	Torque (Nm)	Torque (Nm)	Torque (Nm)	Torque (Nm)																																																																																																																																														
Prueba 1	8.57	Prueba 2	8.48	Prueba 3	8.29																																																																																																																																														
Prueba 1	8.57	Prueba 2	8.59	Prueba 3	8.32																																																																																																																																														
Prueba 1	8.54	Prueba 2	8.55	Prueba 3	8.25																																																																																																																																														
Prueba 1	8.49	Prueba 2	8.56	Prueba 3	8.23																																																																																																																																														
Prueba 1	8.51	Prueba 2	8.43	Prueba 3	8.23																																																																																																																																														
Prueba 1	8.59	Prueba 2	8.52	Prueba 3	8.28																																																																																																																																														
Aceite 25W-60@850rpm@40 °C																																																																																																																																																			
	Torque (Nm)	Torque (Nm)	Torque (Nm)	Torque (Nm)	Torque (Nm)																																																																																																																																														
Prueba 1	6.89	Prueba 2	7.25	Prueba 3	7.13																																																																																																																																														
Prueba 1	6.91	Prueba 2	7.25	Prueba 3	7.1																																																																																																																																														
Prueba 1	6.89	Prueba 2	7.26	Prueba 3	7.08																																																																																																																																														
Prueba 1	6.96	Prueba 2	7.26	Prueba 3	7.08																																																																																																																																														
Prueba 1	6.94	Prueba 2	7.27	Prueba 3	7.09																																																																																																																																														
Prueba 1	7	Prueba 2	7.19	Prueba 3	7.12																																																																																																																																														
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Pruebas</th> <th>N</th> <th>Media Agrupación</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Prueba 1</td> <td>81</td> <td>7.002 A</td> </tr> <tr> <td>Prueba 2</td> <td>81</td> <td>6.9772 A</td> </tr> <tr> <td>Prueba 3</td> <td>81</td> <td>6.8010 A</td> </tr> </tbody> </table>	Pruebas	N	Media Agrupación	Prueba 1	81	7.002 A	Prueba 2	81	6.9772 A	Prueba 3	81	6.8010 A	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Pruebas</th> <th>N</th> <th>Media Agrupación</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Prueba 1</td> <td>81</td> <td>8.634 A</td> </tr> <tr> <td>Prueba 2</td> <td>81</td> <td>8.592 A</td> </tr> <tr> <td>Prueba 3</td> <td>81</td> <td>8.322 A</td> </tr> </tbody> </table>	Pruebas	N	Media Agrupación	Prueba 1	81	8.634 A	Prueba 2	81	8.592 A	Prueba 3	81	8.322 A	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Pruebas</th> <th>N</th> <th>Media Agrupación</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Prueba 2</td> <td>81</td> <td>7.3120 A</td> </tr> <tr> <td>Prueba 3</td> <td>81</td> <td>7.1180 A</td> </tr> <tr> <td>Prueba 1</td> <td>81</td> <td>7.0423 A</td> </tr> </tbody> </table>	Pruebas	N	Media Agrupación	Prueba 2	81	7.3120 A	Prueba 3	81	7.1180 A	Prueba 1	81	7.0423 A																																																																																																												
Pruebas	N	Media Agrupación																																																																																																																																																	
Prueba 1	81	7.002 A																																																																																																																																																	
Prueba 2	81	6.9772 A																																																																																																																																																	
Prueba 3	81	6.8010 A																																																																																																																																																	
Pruebas	N	Media Agrupación																																																																																																																																																	
Prueba 1	81	8.634 A																																																																																																																																																	
Prueba 2	81	8.592 A																																																																																																																																																	
Prueba 3	81	8.322 A																																																																																																																																																	
Pruebas	N	Media Agrupación																																																																																																																																																	
Prueba 2	81	7.3120 A																																																																																																																																																	
Prueba 3	81	7.1180 A																																																																																																																																																	
Prueba 1	81	7.0423 A																																																																																																																																																	

Tabla 24: Resultado de las pruebas a 850 rpm a 40°C. Fuente: (Autores)

Temp.	Aceite 10W-30	Aceite 20W-50	Aceite 25W-60																																																																																																																																																
40° C																																																																																																																																																			
	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="6">Aceite 10W-30@850rpm@40 °C</th> </tr> <tr> <th>Torque (Nm)</th> <th>Torque (Nm)</th> <th>Torque (Nm)</th> <th>Torque (Nm)</th> <th>Torque (Nm)</th> <th>Torque (Nm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Prueba 1</td><td>3.39</td><td>Prueba 2</td><td>3.39</td><td>Prueba 3</td><td>3.34</td></tr> <tr><td>Prueba 1</td><td>3.39</td><td>Prueba 2</td><td>3.41</td><td>Prueba 3</td><td>3.38</td></tr> <tr><td>Prueba 1</td><td>3.39</td><td>Prueba 2</td><td>3.41</td><td>Prueba 3</td><td>3.35</td></tr> <tr><td>Prueba 1</td><td>3.41</td><td>Prueba 2</td><td>3.4</td><td>Prueba 3</td><td>3.36</td></tr> <tr><td>Prueba 1</td><td>3.4</td><td>Prueba 2</td><td>3.39</td><td>Prueba 3</td><td>3.36</td></tr> <tr><td>Prueba 1</td><td>3.4</td><td>Prueba 2</td><td>3.39</td><td>Prueba 3</td><td>3.36</td></tr> </tbody> </table>	Aceite 10W-30@850rpm@40 °C						Torque (Nm)	Prueba 1	3.39	Prueba 2	3.39	Prueba 3	3.34	Prueba 1	3.39	Prueba 2	3.41	Prueba 3	3.38	Prueba 1	3.39	Prueba 2	3.41	Prueba 3	3.35	Prueba 1	3.41	Prueba 2	3.4	Prueba 3	3.36	Prueba 1	3.4	Prueba 2	3.39	Prueba 3	3.36	Prueba 1	3.4	Prueba 2	3.39	Prueba 3	3.36	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="6">Aceite 20W-50@850rpm@40 °C</th> </tr> <tr> <th>Torque (Nm)</th> <th>Torque (Nm)</th> <th>Torque (Nm)</th> <th>Torque (Nm)</th> <th>Torque (Nm)</th> <th>Torque (Nm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Prueba 1</td><td>6.07</td><td>Prueba 2</td><td>6.01</td><td>Prueba 3</td><td>5.95</td></tr> <tr><td>Prueba 1</td><td>6.04</td><td>Prueba 2</td><td>6</td><td>Prueba 3</td><td>5.9</td></tr> <tr><td>Prueba 1</td><td>6.06</td><td>Prueba 2</td><td>6.05</td><td>Prueba 3</td><td>5.88</td></tr> <tr><td>Prueba 1</td><td>6.07</td><td>Prueba 2</td><td>6.08</td><td>Prueba 3</td><td>5.93</td></tr> <tr><td>Prueba 1</td><td>6.07</td><td>Prueba 2</td><td>6.08</td><td>Prueba 3</td><td>5.96</td></tr> <tr><td>Prueba 1</td><td>6.11</td><td>Prueba 2</td><td>6.11</td><td>Prueba 3</td><td>5.98</td></tr> </tbody> </table>	Aceite 20W-50@850rpm@40 °C						Torque (Nm)	Prueba 1	6.07	Prueba 2	6.01	Prueba 3	5.95	Prueba 1	6.04	Prueba 2	6	Prueba 3	5.9	Prueba 1	6.06	Prueba 2	6.05	Prueba 3	5.88	Prueba 1	6.07	Prueba 2	6.08	Prueba 3	5.93	Prueba 1	6.07	Prueba 2	6.08	Prueba 3	5.96	Prueba 1	6.11	Prueba 2	6.11	Prueba 3	5.98	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="6">Aceite 25W-60@850rpm@40 °C</th> </tr> <tr> <th>Torque (Nm)</th> <th>Torque (Nm)</th> <th>Torque (Nm)</th> <th>Torque (Nm)</th> <th>Torque (Nm)</th> <th>Torque (Nm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Prueba 1</td><td>9.78</td><td>Prueba 2</td><td>10.1</td><td>Prueba 3</td><td>10.1</td></tr> <tr><td>Prueba 1</td><td>9.88</td><td>Prueba 2</td><td>10.02</td><td>Prueba 3</td><td>10</td></tr> <tr><td>Prueba 1</td><td>9.92</td><td>Prueba 2</td><td>10.01</td><td>Prueba 3</td><td>10</td></tr> <tr><td>Prueba 1</td><td>9.89</td><td>Prueba 2</td><td>10.04</td><td>Prueba 3</td><td>10.1</td></tr> <tr><td>Prueba 1</td><td>9.89</td><td>Prueba 2</td><td>10.08</td><td>Prueba 3</td><td>10.1</td></tr> <tr><td>Prueba 1</td><td>9.85</td><td>Prueba 2</td><td>10.06</td><td>Prueba 3</td><td>10.1</td></tr> </tbody> </table>	Aceite 25W-60@850rpm@40 °C						Torque (Nm)	Prueba 1	9.78	Prueba 2	10.1	Prueba 3	10.1	Prueba 1	9.88	Prueba 2	10.02	Prueba 3	10	Prueba 1	9.92	Prueba 2	10.01	Prueba 3	10	Prueba 1	9.89	Prueba 2	10.04	Prueba 3	10.1	Prueba 1	9.89	Prueba 2	10.08	Prueba 3	10.1	Prueba 1	9.85	Prueba 2	10.06	Prueba 3	10.1															
	Aceite 10W-30@850rpm@40 °C																																																																																																																																																		
Torque (Nm)	Torque (Nm)	Torque (Nm)	Torque (Nm)	Torque (Nm)	Torque (Nm)																																																																																																																																														
Prueba 1	3.39	Prueba 2	3.39	Prueba 3	3.34																																																																																																																																														
Prueba 1	3.39	Prueba 2	3.41	Prueba 3	3.38																																																																																																																																														
Prueba 1	3.39	Prueba 2	3.41	Prueba 3	3.35																																																																																																																																														
Prueba 1	3.41	Prueba 2	3.4	Prueba 3	3.36																																																																																																																																														
Prueba 1	3.4	Prueba 2	3.39	Prueba 3	3.36																																																																																																																																														
Prueba 1	3.4	Prueba 2	3.39	Prueba 3	3.36																																																																																																																																														
Aceite 20W-50@850rpm@40 °C																																																																																																																																																			
Torque (Nm)	Torque (Nm)	Torque (Nm)	Torque (Nm)	Torque (Nm)	Torque (Nm)																																																																																																																																														
Prueba 1	6.07	Prueba 2	6.01	Prueba 3	5.95																																																																																																																																														
Prueba 1	6.04	Prueba 2	6	Prueba 3	5.9																																																																																																																																														
Prueba 1	6.06	Prueba 2	6.05	Prueba 3	5.88																																																																																																																																														
Prueba 1	6.07	Prueba 2	6.08	Prueba 3	5.93																																																																																																																																														
Prueba 1	6.07	Prueba 2	6.08	Prueba 3	5.96																																																																																																																																														
Prueba 1	6.11	Prueba 2	6.11	Prueba 3	5.98																																																																																																																																														
Aceite 25W-60@850rpm@40 °C																																																																																																																																																			
Torque (Nm)	Torque (Nm)	Torque (Nm)	Torque (Nm)	Torque (Nm)	Torque (Nm)																																																																																																																																														
Prueba 1	9.78	Prueba 2	10.1	Prueba 3	10.1																																																																																																																																														
Prueba 1	9.88	Prueba 2	10.02	Prueba 3	10																																																																																																																																														
Prueba 1	9.92	Prueba 2	10.01	Prueba 3	10																																																																																																																																														
Prueba 1	9.89	Prueba 2	10.04	Prueba 3	10.1																																																																																																																																														
Prueba 1	9.89	Prueba 2	10.08	Prueba 3	10.1																																																																																																																																														
Prueba 1	9.85	Prueba 2	10.06	Prueba 3	10.1																																																																																																																																														
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Pruebas</th> <th>N</th> <th>Media Agrupación</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Prueba 2</td><td>81</td><td>3.3919 A</td></tr> <tr><td>Prueba 3</td><td>81</td><td>3.3839 A</td></tr> <tr><td>Prueba 1</td><td>81</td><td>3.3814 A</td></tr> </tbody> </table>	Pruebas	N	Media Agrupación	Prueba 2	81	3.3919 A	Prueba 3	81	3.3839 A	Prueba 1	81	3.3814 A	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Pruebas</th> <th>N</th> <th>Media Agrupación</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Prueba 2</td><td>81</td><td>6.0552 A</td></tr> <tr><td>Prueba 1</td><td>81</td><td>6.0289 A</td></tr> <tr><td>Prueba 3</td><td>81</td><td>5.9654 A</td></tr> </tbody> </table>	Pruebas	N	Media Agrupación	Prueba 2	81	6.0552 A	Prueba 1	81	6.0289 A	Prueba 3	81	5.9654 A	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Pruebas</th> <th>N</th> <th>Media Agrupación</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Prueba 3</td><td>81</td><td>10.220 A</td></tr> <tr><td>Prueba 2</td><td>81</td><td>10.200 A</td></tr> <tr><td>Prueba 1</td><td>81</td><td>10.001 A</td></tr> </tbody> </table>	Pruebas	N	Media Agrupación	Prueba 3	81	10.220 A	Prueba 2	81	10.200 A	Prueba 1	81	10.001 A																																																																																																												
Pruebas	N	Media Agrupación																																																																																																																																																	
Prueba 2	81	3.3919 A																																																																																																																																																	
Prueba 3	81	3.3839 A																																																																																																																																																	
Prueba 1	81	3.3814 A																																																																																																																																																	
Pruebas	N	Media Agrupación																																																																																																																																																	
Prueba 2	81	6.0552 A																																																																																																																																																	
Prueba 1	81	6.0289 A																																																																																																																																																	
Prueba 3	81	5.9654 A																																																																																																																																																	
Pruebas	N	Media Agrupación																																																																																																																																																	
Prueba 3	81	10.220 A																																																																																																																																																	
Prueba 2	81	10.200 A																																																																																																																																																	
Prueba 1	81	10.001 A																																																																																																																																																	

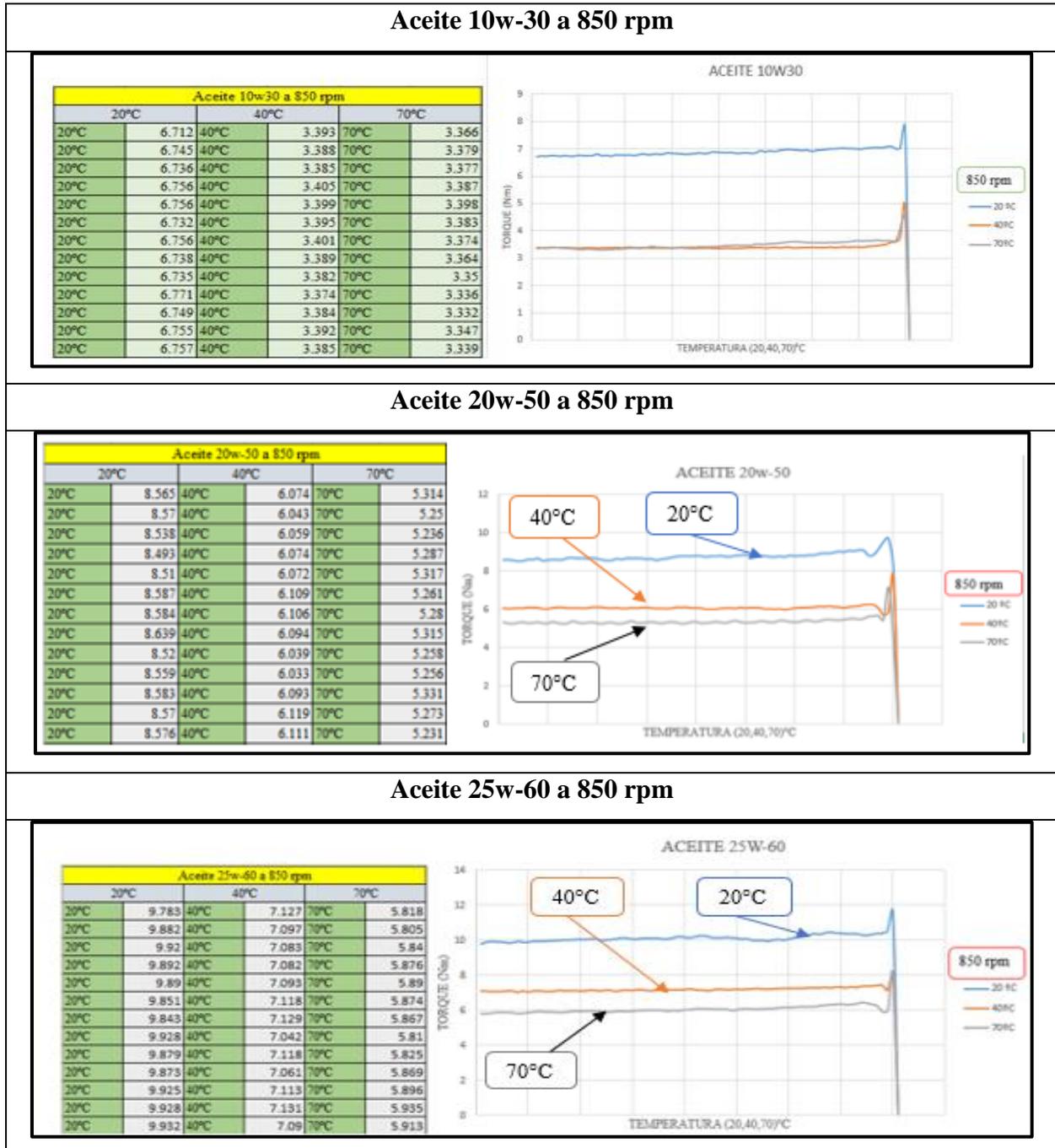
Tabla 25: Resultado de las pruebas a 850 rpm a 70°C. Fuente: (Autores)

Temp.	Aceite 10W-30	Aceite 20W-50	Aceite 25W-60																																																																																																																																																
70° C																																																																																																																																																			
	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="6">Aceite 10W-30@850rpm@70°C</th> </tr> <tr> <th>Torque (Nm)</th> <th colspan="2">Torque (Nm)</th> <th colspan="3">Torque (Nm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Prueba 1</td> <td>3.62</td> <td>Prueba 2</td> <td>3.5</td> <td>Prueba 3</td> <td>3.37</td> </tr> <tr> <td>Prueba 1</td> <td>3.62</td> <td>Prueba 2</td> <td>3.49</td> <td>Prueba 3</td> <td>3.38</td> </tr> <tr> <td>Prueba 1</td> <td>3.61</td> <td>Prueba 2</td> <td>3.5</td> <td>Prueba 3</td> <td>3.38</td> </tr> <tr> <td>Prueba 1</td> <td>3.63</td> <td>Prueba 2</td> <td>3.48</td> <td>Prueba 3</td> <td>3.39</td> </tr> <tr> <td>Prueba 1</td> <td>3.6</td> <td>Prueba 2</td> <td>3.46</td> <td>Prueba 3</td> <td>3.4</td> </tr> <tr> <td>Prueba 1</td> <td>3.61</td> <td>Prueba 2</td> <td>3.45</td> <td>Prueba 3</td> <td>3.38</td> </tr> </tbody> </table>	Aceite 10W-30@850rpm@70°C						Torque (Nm)	Torque (Nm)		Torque (Nm)			Prueba 1	3.62	Prueba 2	3.5	Prueba 3	3.37	Prueba 1	3.62	Prueba 2	3.49	Prueba 3	3.38	Prueba 1	3.61	Prueba 2	3.5	Prueba 3	3.38	Prueba 1	3.63	Prueba 2	3.48	Prueba 3	3.39	Prueba 1	3.6	Prueba 2	3.46	Prueba 3	3.4	Prueba 1	3.61	Prueba 2	3.45	Prueba 3	3.38	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="6">Aceite 20W-50@850rpm@70 °C</th> </tr> <tr> <th>Torque (Nm)</th> <th colspan="2">Torque (Nm)</th> <th colspan="3">Torque (Nm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Prueba 1</td> <td>5.31</td> <td>Prueba 2</td> <td>5.3</td> <td>Prueba 3</td> <td>5.27</td> </tr> <tr> <td>Prueba 1</td> <td>5.25</td> <td>Prueba 2</td> <td>5.35</td> <td>Prueba 3</td> <td>5.18</td> </tr> <tr> <td>Prueba 1</td> <td>5.24</td> <td>Prueba 2</td> <td>5.27</td> <td>Prueba 3</td> <td>5.22</td> </tr> <tr> <td>Prueba 1</td> <td>5.29</td> <td>Prueba 2</td> <td>5.32</td> <td>Prueba 3</td> <td>5.26</td> </tr> <tr> <td>Prueba 1</td> <td>5.32</td> <td>Prueba 2</td> <td>5.38</td> <td>Prueba 3</td> <td>5.22</td> </tr> <tr> <td>Prueba 1</td> <td>5.26</td> <td>Prueba 2</td> <td>5.3</td> <td>Prueba 3</td> <td>5.28</td> </tr> </tbody> </table>	Aceite 20W-50@850rpm@70 °C						Torque (Nm)	Torque (Nm)		Torque (Nm)			Prueba 1	5.31	Prueba 2	5.3	Prueba 3	5.27	Prueba 1	5.25	Prueba 2	5.35	Prueba 3	5.18	Prueba 1	5.24	Prueba 2	5.27	Prueba 3	5.22	Prueba 1	5.29	Prueba 2	5.32	Prueba 3	5.26	Prueba 1	5.32	Prueba 2	5.38	Prueba 3	5.22	Prueba 1	5.26	Prueba 2	5.3	Prueba 3	5.28	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="6">Aceite 25W-60@850rpm@70 °C</th> </tr> <tr> <th>Torque (Nm)</th> <th colspan="2">Torque (Nm)</th> <th colspan="3">Torque (Nm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Prueba 1</td> <td>5.82</td> <td>Prueba 2</td> <td>5.9</td> <td>Prueba 3</td> <td>5.8</td> </tr> <tr> <td>Prueba 1</td> <td>5.81</td> <td>Prueba 2</td> <td>5.94</td> <td>Prueba 3</td> <td>5.82</td> </tr> <tr> <td>Prueba 1</td> <td>5.84</td> <td>Prueba 2</td> <td>5.9</td> <td>Prueba 3</td> <td>5.86</td> </tr> <tr> <td>Prueba 1</td> <td>5.88</td> <td>Prueba 2</td> <td>5.9</td> <td>Prueba 3</td> <td>5.88</td> </tr> <tr> <td>Prueba 1</td> <td>5.89</td> <td>Prueba 2</td> <td>5.88</td> <td>Prueba 3</td> <td>5.89</td> </tr> <tr> <td>Prueba 1</td> <td>5.87</td> <td>Prueba 2</td> <td>5.87</td> <td>Prueba 3</td> <td>5.82</td> </tr> </tbody> </table>	Aceite 25W-60@850rpm@70 °C						Torque (Nm)	Torque (Nm)		Torque (Nm)			Prueba 1	5.82	Prueba 2	5.9	Prueba 3	5.8	Prueba 1	5.81	Prueba 2	5.94	Prueba 3	5.82	Prueba 1	5.84	Prueba 2	5.9	Prueba 3	5.86	Prueba 1	5.88	Prueba 2	5.9	Prueba 3	5.88	Prueba 1	5.89	Prueba 2	5.88	Prueba 3	5.89	Prueba 1	5.87	Prueba 2	5.87	Prueba 3	5.82
	Aceite 10W-30@850rpm@70°C																																																																																																																																																		
	Torque (Nm)	Torque (Nm)		Torque (Nm)																																																																																																																																															
Prueba 1	3.62	Prueba 2	3.5	Prueba 3	3.37																																																																																																																																														
Prueba 1	3.62	Prueba 2	3.49	Prueba 3	3.38																																																																																																																																														
Prueba 1	3.61	Prueba 2	3.5	Prueba 3	3.38																																																																																																																																														
Prueba 1	3.63	Prueba 2	3.48	Prueba 3	3.39																																																																																																																																														
Prueba 1	3.6	Prueba 2	3.46	Prueba 3	3.4																																																																																																																																														
Prueba 1	3.61	Prueba 2	3.45	Prueba 3	3.38																																																																																																																																														
Aceite 20W-50@850rpm@70 °C																																																																																																																																																			
Torque (Nm)	Torque (Nm)		Torque (Nm)																																																																																																																																																
Prueba 1	5.31	Prueba 2	5.3	Prueba 3	5.27																																																																																																																																														
Prueba 1	5.25	Prueba 2	5.35	Prueba 3	5.18																																																																																																																																														
Prueba 1	5.24	Prueba 2	5.27	Prueba 3	5.22																																																																																																																																														
Prueba 1	5.29	Prueba 2	5.32	Prueba 3	5.26																																																																																																																																														
Prueba 1	5.32	Prueba 2	5.38	Prueba 3	5.22																																																																																																																																														
Prueba 1	5.26	Prueba 2	5.3	Prueba 3	5.28																																																																																																																																														
Aceite 25W-60@850rpm@70 °C																																																																																																																																																			
Torque (Nm)	Torque (Nm)		Torque (Nm)																																																																																																																																																
Prueba 1	5.82	Prueba 2	5.9	Prueba 3	5.8																																																																																																																																														
Prueba 1	5.81	Prueba 2	5.94	Prueba 3	5.82																																																																																																																																														
Prueba 1	5.84	Prueba 2	5.9	Prueba 3	5.86																																																																																																																																														
Prueba 1	5.88	Prueba 2	5.9	Prueba 3	5.88																																																																																																																																														
Prueba 1	5.89	Prueba 2	5.88	Prueba 3	5.89																																																																																																																																														
Prueba 1	5.87	Prueba 2	5.87	Prueba 3	5.82																																																																																																																																														
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Pruebas</th> <th>N</th> <th>Media Agrupación</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Prueba 1</td> <td>81</td> <td>3.5657 A</td> </tr> <tr> <td>Prueba 2</td> <td>81</td> <td>3.4971 A</td> </tr> <tr> <td>Prueba 3</td> <td>81</td> <td>3.4526 A</td> </tr> </tbody> </table>	Pruebas	N	Media Agrupación	Prueba 1	81	3.5657 A	Prueba 2	81	3.4971 A	Prueba 3	81	3.4526 A	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Pruebas</th> <th>N</th> <th>Media Agrupación</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Prueba 2</td> <td>81</td> <td>5.4174 A</td> </tr> <tr> <td>Prueba 3</td> <td>81</td> <td>5.2823 A</td> </tr> <tr> <td>Prueba 1</td> <td>81</td> <td>5.2803 A</td> </tr> </tbody> </table>	Pruebas	N	Media Agrupación	Prueba 2	81	5.4174 A	Prueba 3	81	5.2823 A	Prueba 1	81	5.2803 A	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Pruebas</th> <th>N</th> <th>Media Agrupación</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Prueba 1</td> <td>81</td> <td>5.9968 A</td> </tr> <tr> <td>Prueba 2</td> <td>81</td> <td>5.9522 A</td> </tr> <tr> <td>Prueba 3</td> <td>81</td> <td>5.8585 A</td> </tr> </tbody> </table>	Pruebas	N	Media Agrupación	Prueba 1	81	5.9968 A	Prueba 2	81	5.9522 A	Prueba 3	81	5.8585 A																																																																																																													
Pruebas	N	Media Agrupación																																																																																																																																																	
Prueba 1	81	3.5657 A																																																																																																																																																	
Prueba 2	81	3.4971 A																																																																																																																																																	
Prueba 3	81	3.4526 A																																																																																																																																																	
Pruebas	N	Media Agrupación																																																																																																																																																	
Prueba 2	81	5.4174 A																																																																																																																																																	
Prueba 3	81	5.2823 A																																																																																																																																																	
Prueba 1	81	5.2803 A																																																																																																																																																	
Pruebas	N	Media Agrupación																																																																																																																																																	
Prueba 1	81	5.9968 A																																																																																																																																																	
Prueba 2	81	5.9522 A																																																																																																																																																	
Prueba 3	81	5.8585 A																																																																																																																																																	

6.3. Comparación a diferentes temperaturas

En la Tabla 27, presenta el comportamiento de los tres tipos de aceites: 10w30, 20w-50 y 25w-60 a temperaturas de (20 °C, 40 °C y 70 °C) ± 2°C, la velocidad que se aplica es de 850 rpm.

Tabla 26: Resultados de los aceites a diferentes temperaturas. Fuente: (Autores)



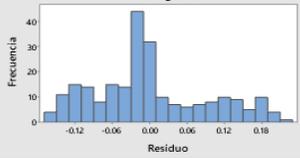
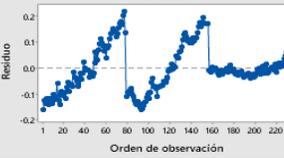
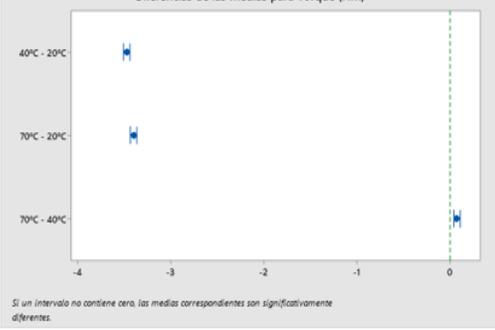
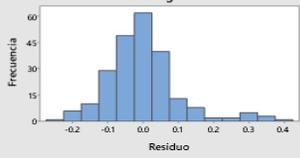
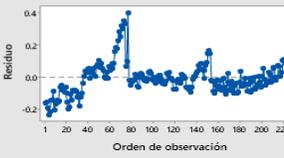
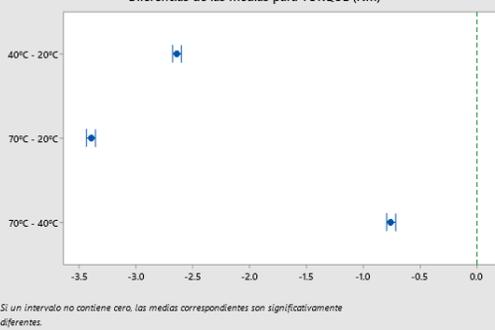
Después de tener los valores se realiza el método ANOVA, para el aceite los tres tipos de aceites

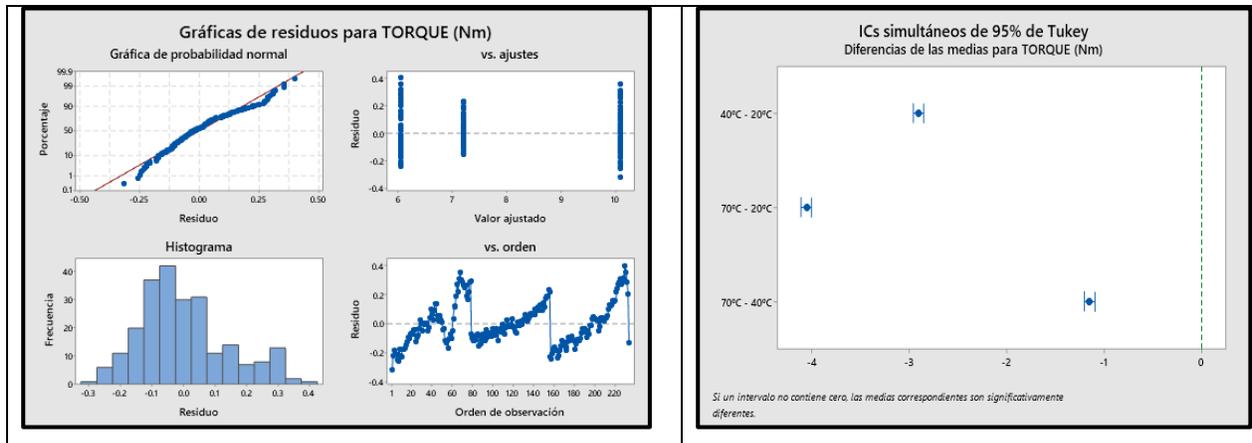
La Tabla 28, muestra las gráficas de probabilidad normal de los tres tipos de aceites, se puede apreciar como los residuos se ajustan a una línea recta, lo cual acepta el supuesto de normalidad de los datos, al observar los histogramas corrobora en su presentación una distribución normal de residuos y sin valores atípicos.

En las gráficas de Valor Ajustado vs. Residuo, se puede ver que los puntos no tienen ningún patrón determinado en forma de embudo o corneta y por lo tanto tiene una varianza constante, indica además que el error no tiene relación directa con la magnitud de pronóstico.

En las gráficas de Orden de observación vs. Residuo se identifica que los puntos no siguen ningún patrón determinado, sino más bien se encuentran de manera aleatoria en torno a la línea, con esta tendencia garantiza la independencia de los residuos.

Tabla 27: Resultado de las pruebas a 850 rpm a diferentes temperaturas. Fuente: (Autores)

a. Análisis del aceite 10w-30			
<p style="text-align: center;">Gráficas de residuos para TORQUE (Nm)</p> <p style="text-align: center;">Gráfica de probabilidad normal vs. ajustes</p>  <p style="text-align: center;">Histograma</p>  <p style="text-align: center;">Residuo vs. orden</p> 	<p style="text-align: center;">ICs simultáneos de 95% de Tukey</p> <p style="text-align: center;">Diferencias de las medias para Torque (Nm)</p>  <p style="font-size: small;">Si un intervalo no contiene cero, las medias correspondientes son significativamente diferentes.</p>		
b. Análisis del aceite 20w-50			
<p style="text-align: center;">Gráficas de residuos para TORQUE (Nm)</p> <p style="text-align: center;">Gráfica de probabilidad normal vs. ajustes</p>  <p style="text-align: center;">Histograma</p>  <p style="text-align: center;">Residuo vs. orden</p> 	<p style="text-align: center;">ICs simultáneos de 95% de Tukey</p> <p style="text-align: center;">Diferencias de las medias para TORQUE (Nm)</p>  <p style="font-size: small;">Si un intervalo no contiene cero, las medias correspondientes son significativamente diferentes.</p>		
c. Análisis del aceite 25w-60			



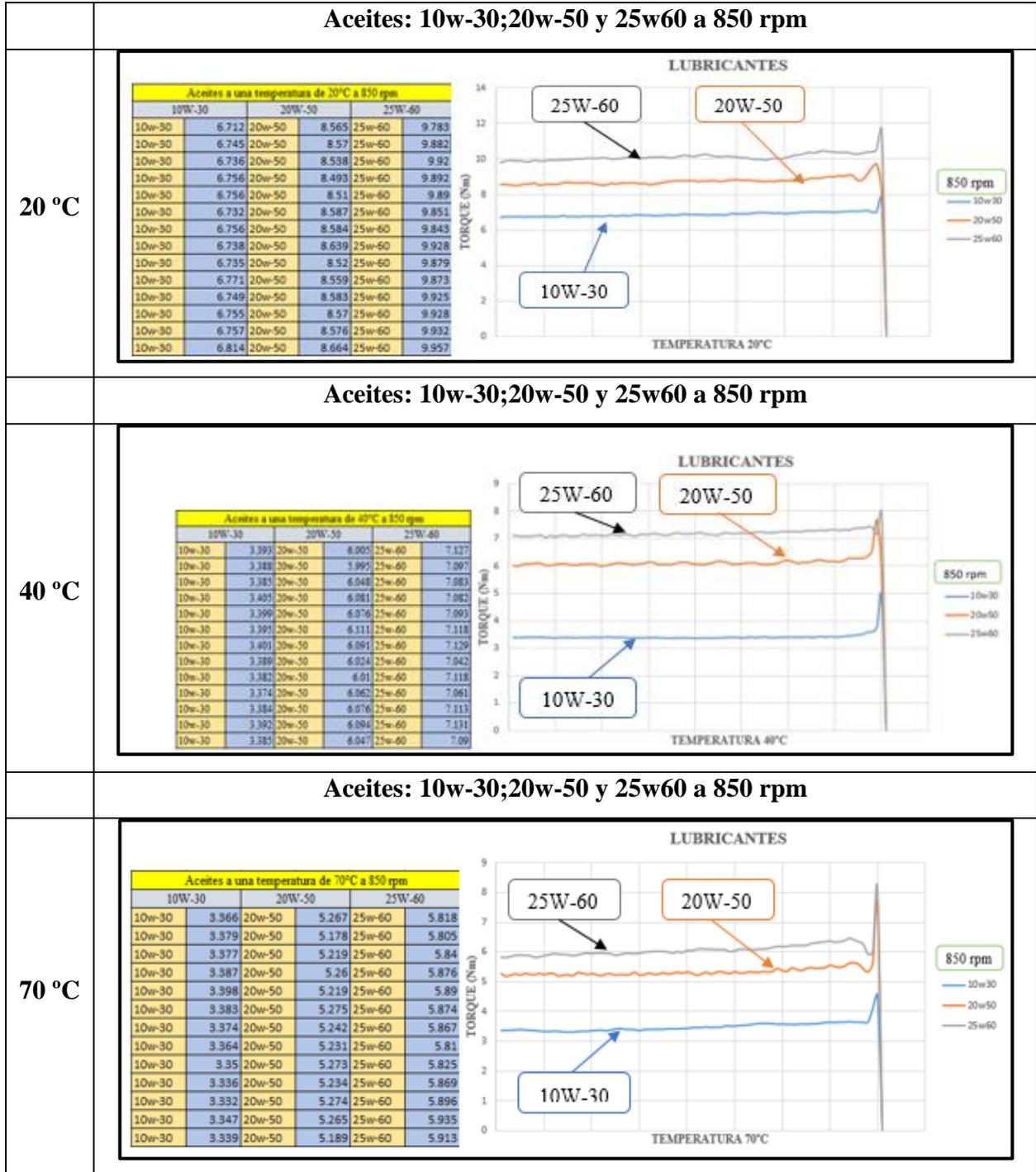
Al aplicar las comparaciones Tukey con un índice de confianza de 95% de las respuestas obtenidas de los lubricantes tienen los siguientes resultados:

- **a. Con el aceite 10w-30 a 850 rpm:** El par de torsión necesario para realizar el giro del cigüeñal, al tener una temperatura baja, el torque necesario es mayor con una media de 6.87 Nm, al incrementar la temperatura del aceite el torque baja, y se sitúa (3 Nm a 4 Nm).
- **b. Con el aceite 20w-50 a 850 rpm:** El par de torsión necesario para realizar el giro del cigüeñal, al tener una temperatura baja el torque necesario es mayor con una media de 8.63 Nm, al incrementar la temperatura del aceite el torque baja, se sitúa entre (5 Nm a 6 Nm).
- **c. Con el aceite 25w-60 a 850 rpm:** Con el tercer aceite el más pesado en los ensayos, el par de torsión necesario para realizar el giro del cigüeñal, al tener una temperatura baja el torque necesario es mayor con una media de 10 Nm, al incrementar la temperatura del aceite el torque baja, se sitúa entre (6 Nm a 7 Nm).

6.4. Comparaciones entre aceites

En la Tabla 29, presenta el comportamiento de los tres tipos de aceites: 10w30, 20w-50 y 25w-60 a temperaturas de (20 °C, 40 °C y 70 °C) \pm 2°C, la velocidad que se aplica es de 850 rpm.

Tabla 28: Comparación de los tres tipos de aceite a 850 rpm. Fuente: (Autores)



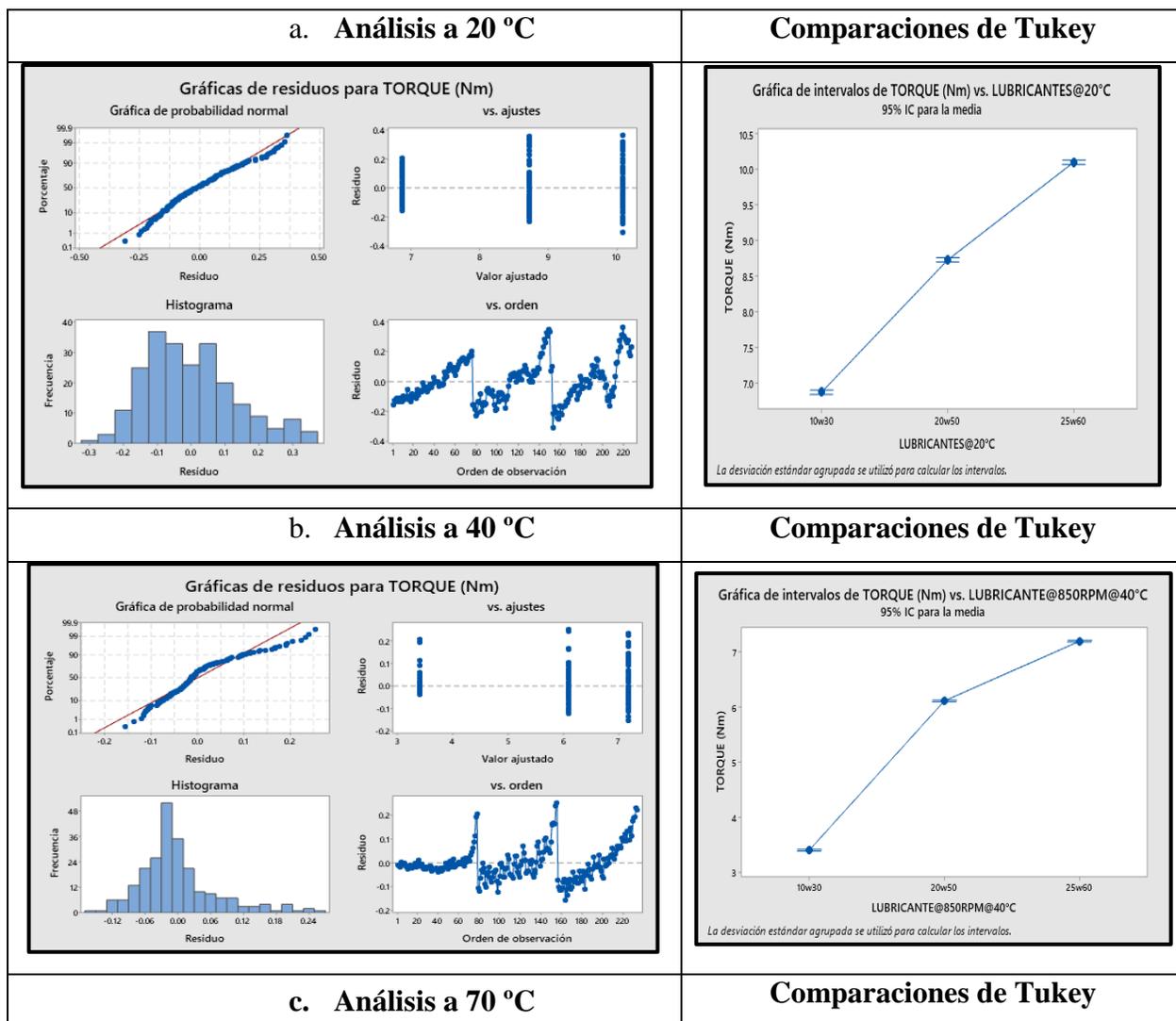
Después de tener los valores se realiza el método ANOVA, para el aceite los tres tipos de aceites

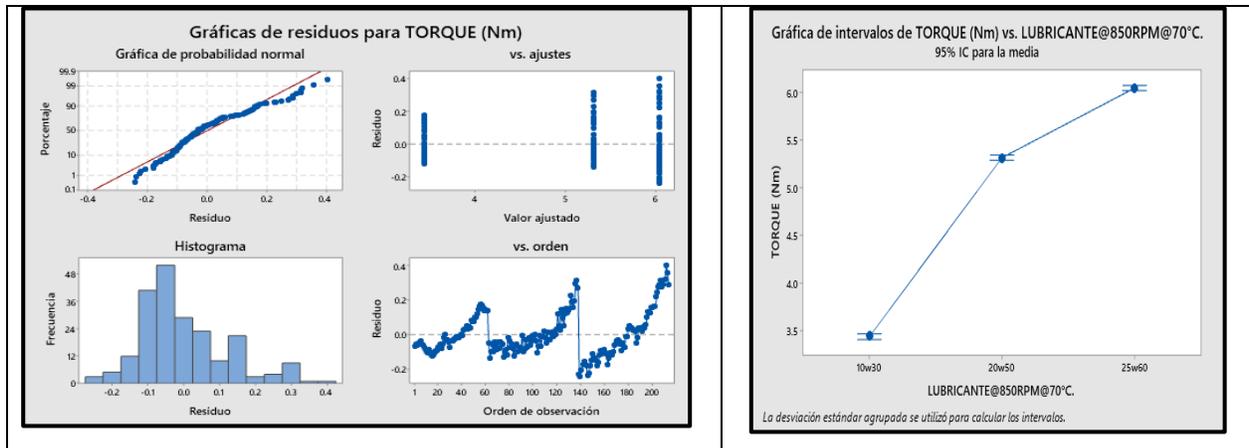
La Tabla 30, muestra las gráficas de probabilidad normal de los tres tipos de aceites, se puede apreciar como los residuos se ajustan a una línea recta, lo cual acepta el supuesto de normalidad de los datos, al observar los histogramas corrobora en su presentación una distribución normal de residuos y sin valores atípicos.

En las gráficas de Valor Ajustado vs. Residuo, se puede ver que los puntos no tienen ningún patrón determinado en forma de embudo o corneta y por lo tanto tiene una varianza constante, indica además que el error no tiene relación directa con la magnitud de pronóstico.

En las gráficas de Orden de observación vs. Residuo se identifica que los puntos no siguen ningún patrón determinado, sino más bien se encuentran de manera aleatoria en torno a la línea, con esta tendencia garantiza la independencia de los residuos.

Tabla 29: Resultado de las pruebas comparaciones de Tukey. Fuente: (Autores)





Al aplicar las comparaciones Tukey con un índice de confianza de 95% de las respuestas obtenidas de los lubricantes tienen los siguientes resultados:

- **Con el aceite a 20 °C:** al tener un tipo de lubricante pesado el torque será mayor, como resultado en los ensayos da una media de 10 Nm, al contrario, al trabajar con un aceite liviano el torque necesario para el giro del cigüeñal es de 6.8 Nm.
- **b. Con el aceite a 40 °C:** Con el incremento de la temperatura del aceite al tener un tipo de lubricante pesado el torque da como resultado da una media de 7.11 Nm, al contrario, al trabajar con un aceite liviano el torque necesario para el giro del cigüeñal es de 3.38 Nm.
- **Con el aceite a 70 °C:** Al realizar los ensayos a mayor temperatura del aceite el valor de toque disminuye, con el lubricante pesado da como resultado la media de 6.04 Nm, al contrario, al trabajar con un aceite liviano el torque necesario para el giro del cigüeñal es de 3.43 Nm.

Con los resultados de los ensayos aplicados a las diferentes condiciones propuestas en este proyecto, en esta última sección se realiza la evaluación de la eficiencia energética del motor Hyundai Avante 1.5L, que se menciona a continuación.

6.5. Eficiencia energética del motor

6.5.1. Aceite 10w-30

La figura 88, indica la aproximación de la curva de potencia por pérdidas mecánicas en los segmentos del motor, los valores de potencia a 450 rpm y 850 rpm se obtienen al convertir los valores de torque obtenidos por el sensor DYN-200 a potencia en kW, para obtener los datos de

potencia a 3000 y 6000 rpm se utiliza el método de regresión lineal y se obtiene la aproximación de la curva final de potencia del lubricante 10w-30.

Esta curva se obtiene para proponer una ecuación que pronostique las pérdidas del motor a 6000 revoluciones, en la ecuación se reemplaza 6000 en X^2 y así se obtiene el valor de 2.8722 KW.

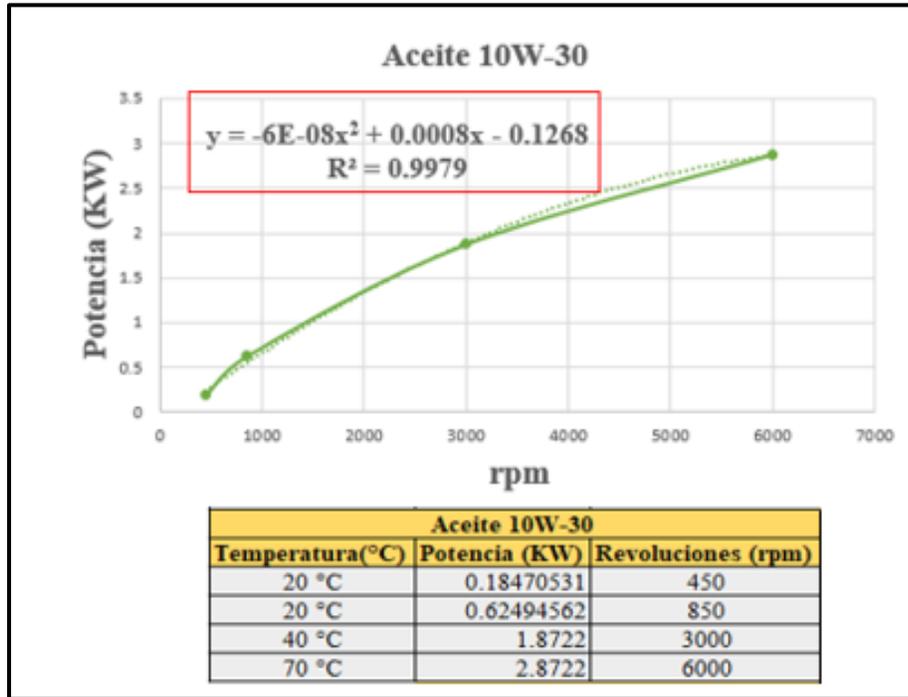


Figura 88: Curva de potencia por pérdidas mecánicas de los segmentos, del aceite 10w-30. Fuente: (Autores)

Para dar solución a la propuesta de este proyecto, que se enfoca en determinar la eficiencia energética del motor Hyundai Avante 1.5L entre segmento y cilindro, se analiza la curva de potencia del motor junto con la curva por pérdidas mecánicas en los segmentos del motor que se muestran en la figura 89.

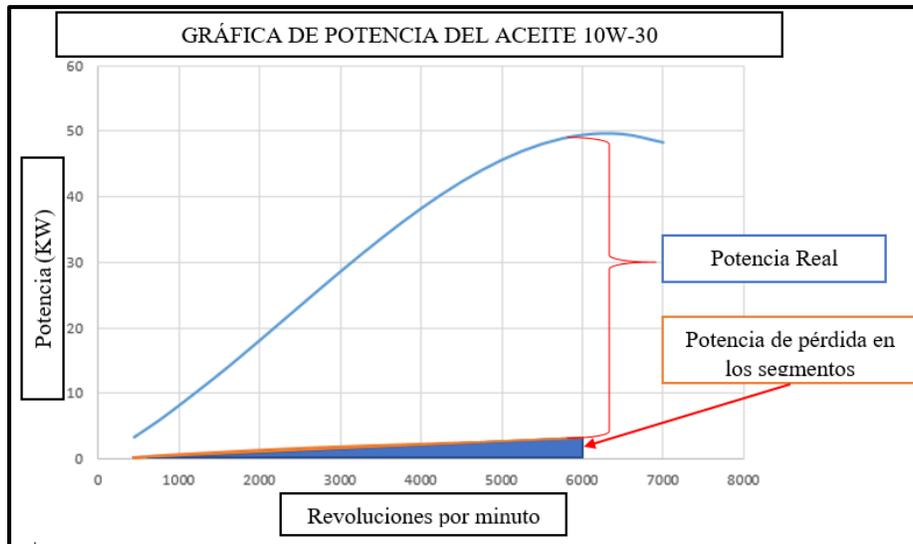


Figura 89: Curva de potencia real indicada y curva de potencia por pérdidas mecánicas. . Fuente: (Autores)

En las características del motor la potencia a 101 kPa es de 72 kW , para este ensayo se recalculó la potencia con una presión atmosférica de 75 kPa perteneciente a la ciudad de Cuenca, que da como resultado 49.52 Kw, al realizar la resta de 2.8722 Kw que son las pérdidas con el aceite 10w-30, se tiene que la potencia del motor final es de 46.65 Kw con el aceite 10w-30.

6.5.2. Aceite 20w-50

Para el aceite 20w-50 de igual manera se obtiene la curva de aproximación para proponer una ecuación que pronostique la eficiencia energética del motor a revoluciones superiores de los 850 rpm, al tener como referencia la potencia del fabricante a 6000 rpm, , en la ecuación se reemplaza 6000 en X^2 y así se obtiene el valor de 5.105 KW que pertenecen a las pérdidas con el aceite 20w-50, la ecuación indicada se la puede ver en la figura 90.

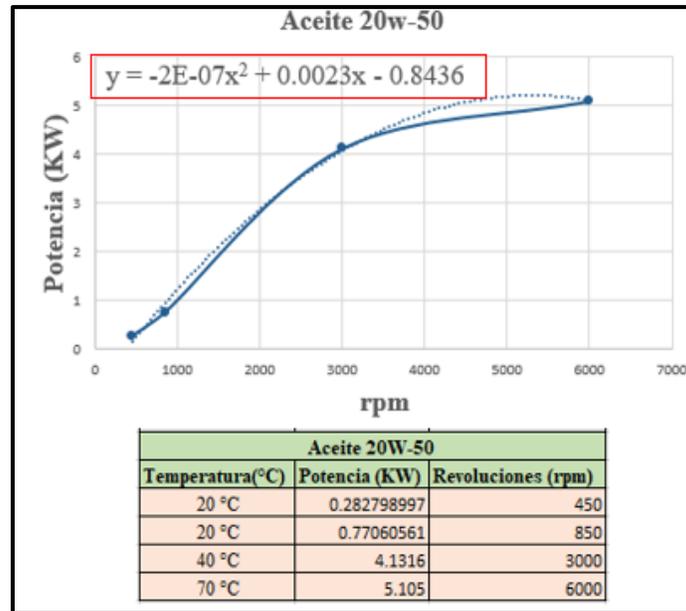


Figura 90: Curva de potencia por pérdidas mecánicas de los segmentos, del aceite 20w-50. Fuente: (Autores)

Para dar solución a la propuesta de este proyecto, que se enfoca en determinar la eficiencia energética del motor Hyundai Avante 1.5L entre segmento y cilindro, se analiza la curva de potencia del motor junto con la curva por pérdidas mecánicas en los segmentos del motor que se muestran en la figura 91.

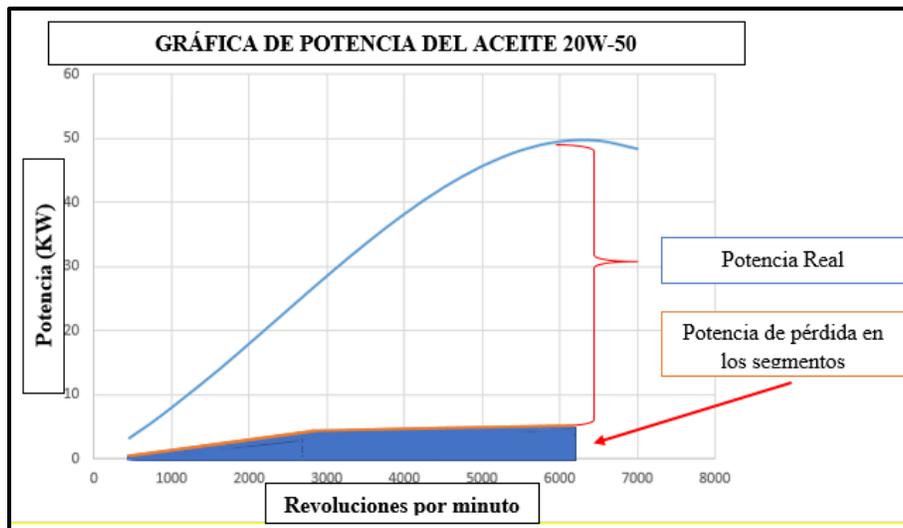


Figura 91: Curva de potencia real indicada y curva de potencia por pérdidas mecánicas. . Fuente: (Autores)

En las características del motor la potencia a 101 kPa es de 72 kW , para este ensayo se recalculó la potencia con una presión atmosférica de la ciudad de Cuenca perteneciente a 75 kPa, que da como resultado 49.52 Kw, al realizar la resta de 5.105 Kw que son las pérdidas con el aceite 20w-50, se tiene que la potencia del motor final es de 44.71 Kw con el aceite 20w-50.

6.5.3. Aceite 25w-60

Con el tercer aceite 25w-60 como las pruebas anteriores se debe obtener la curva de aproximación, para proponer una ecuación que pronostique la eficiencia energética del motor a revoluciones superiores de los 850 rpm, al tener como referencia la potencia del fabricante a 6000 rpm, en la ecuación se reemplaza 6000 en X^2 y así se obtiene el valor de 5.6917 KW que pertenecen a las pérdidas con el aceite 20w-50, la ecuación indicada se la puede ver en la figura 92.

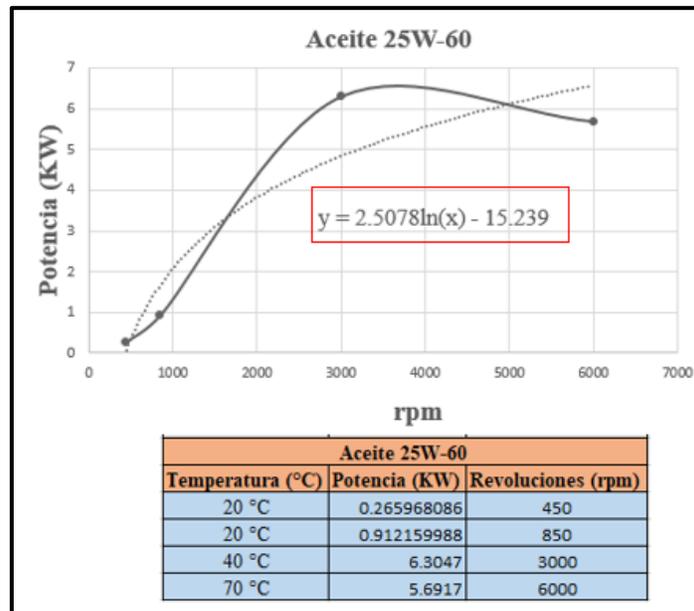


Figura 92: Curva de potencia por pérdidas mecánicas de los segmentos, del aceite 25w-60. Fuente: (Autores)

Para dar solución a la propuesta de este proyecto, que se enfoca en determinar la eficiencia energética del motor Hyundai Avante 1.5L entre segmento y cilindro, se analiza la curva de potencia del motor junto con la curva por pérdidas mecánicas en los segmentos del motor que se muestran en la figura 93.

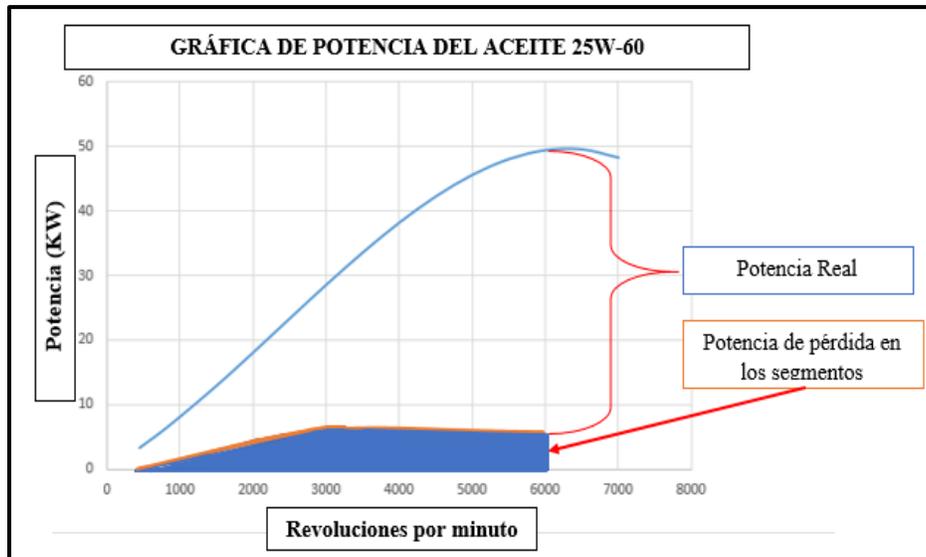


Figura 93: Curva de potencia real indicada y curva de potencia por pérdidas mecánicas. Fuente: (Autores)

En las características del motor la potencia a 101 kPa es de 72 kW , para este ensayo se recalculó la potencia con una presión atmosférica de la ciudad de Cuenca perteneciente a 75 kPa, que da como resultado 49.52 Kw, al realizar la resta de 5.6917 Kw que son las pérdidas con el aceite 25w-60, se tiene que la potencia del motor final es de 43,83 Kw con el aceite 20w-50.

6.5.4. Porcentaje de eficiencia energética del motor Hyundai Avante 1.5 l.

La figura 94, refleja el valor en porcentajes de la eficiencia energética del motor con los tres tipos de lubricantes utilizados en los ensayos.

Los resultados relevantes de esta sección son:

- Con el aceite 25w-60 se tiene una pérdida considerable del 10%.
- Con el aceite 20w-50 la pérdida es del 9%.
- Con el aceite 10w-30 se tiene una pérdida menor que los aceites anteriores del 5%.



Figura 94: Eficiencia del motor con diferentes lubricantes. Fuente: (Autores)

6.5.5. Distribución de las pérdidas mecánicas en el motor Hyundai Avante 1.5 l

Con el objetivo de contrastar los resultados, se comparan la distribución de pérdidas obtenidas al aplicar el método de arrastre en el presente estudio, con las pérdidas obtenidas al aplicar el método de arrastre propuestas en el libro de Payri de un motor Diésel de 6 cilindros de 10 litros, como se observa en la figura 95.

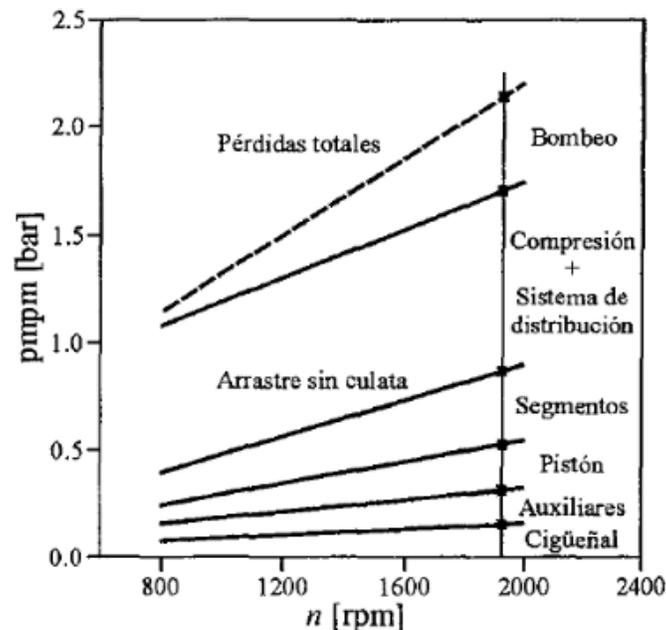


Figura 95: Distribución de las pérdidas mecánicas en un MEC. Fuente: (Payri & Desantes, 2011)

Los resultados de este ensayo se tiene la potencia en unidades de kW. lo cual se procede a realizar una conversión de unidades a Bares, como se observa en la Tabla 31, con el fin de realizar la comparación de tendencias de la propuesta por Payri con los resultados del presente ensayo.

Tabla 30: Cálculos obtenidos de kW a Bar. Fuente: (Autores)

Cálculos obtenidos de kW a Bar		
10w-30 @ 450 rpm	20w-50 @ 450 rpm	25w-60 @ 450 rpm
$W_{neto} = \frac{Pot. pm}{\left(\frac{rpm}{120}\right)}$ $W_{neto} = \frac{0.8842 * 1000 W}{\left(\frac{6000}{120}\right)}$ $W_{neto} = \frac{884.2}{50} = 17.684 J$ $P_{mi} = \frac{W_{neto}}{V_{total}/(m^3)}$ $P_{mi} = \frac{17.684 J}{1500cm^3/(1000000)}$ $= 11789.33 Pa$ $P_{mi} = 832219.21 * 0.00001$	$W_{neto} = \frac{Pot. pm}{\left(\frac{rpm}{120}\right)}$ $W_{neto} = \frac{3.8676 * 1000 W}{\left(\frac{6000}{120}\right)}$ $W_{neto} = \frac{3867.6}{50} = 77.35 J$ $P_{mi} = \frac{W_{neto}}{V_{total}/(m^3)}$ $P_{mi} = \frac{77.35 J}{1500cm^3/(1000000)}$ $= 364011.12 Pa$ $P_{mi} = 51568 * 0.00001$	$W_{neto} = \frac{Pot. pm}{\left(\frac{rpm}{120}\right)}$ $W_{neto} = \frac{6.72 * 1000 W}{\left(\frac{6000}{120}\right)}$ $W_{neto} = \frac{6720}{50} = 134.4 J$ $P_{mi} = \frac{W_{neto}}{V_{total}/(m^3)}$ $P_{mi} = \frac{134.4 J}{1500cm^3/(1000000)}$ $= 89600 Pa$ $P_{mi} = 89600 * 0.00001$
$P_{mi} = 0.11 Bar$	$P_{mi} = 0.51 Bar$	$P_{mi} = 0.89 Bar$
Cálculos obtenidos de KW a Bar		
10w-30 @ 6000 rpm	20w-50 @ 6000 rpm	25w-60 @ 6000 rpm
$W_{neto} = \frac{Pot. pm}{\left(\frac{rpm}{120}\right)}$ $W_{neto} = \frac{10.04 * 1000 W}{\left(\frac{6000}{120}\right)}$ $W_{neto} = \frac{10040}{50} = 200.8 J$ $P_{mi} = \frac{W_{neto}}{V_{total}/(m^3)}$ $P_{mi} = \frac{200.8 J}{1500cm^3/(1000000)}$ $= 133866.66 Pa$ $P_{mi} = 133866.66 * 0.00001$	$W_{neto} = \frac{Pot. pm}{\left(\frac{rpm}{120}\right)}$ $W_{neto} = \frac{23.02 * 1000 W}{\left(\frac{6000}{120}\right)}$ $W_{neto} = \frac{23020}{50} = 460.4 J$ $P_{mi} = \frac{W_{neto}}{V_{total}/(m^3)}$ $P_{mi} = \frac{460.4 J}{1500cm^3/(1000000)}$ $= 306933.33 Pa$ $P_{mi} = 306933.33 * 0.00001$	$W_{neto} = \frac{Pot. pm}{\left(\frac{rpm}{120}\right)}$ $W_{neto} = \frac{26.31 * 1000 W}{\left(\frac{6000}{120}\right)}$ $W_{neto} = \frac{26310}{50} = 526.2 J$ $P_{mi} = \frac{W_{neto}}{V_{total}/(m^3)}$ $P_{mi} = \frac{526.2 J}{1500cm^3/(1000000)}$ $= 350800 Pa$ $P_{mi} = 350800 * 0.00001$
$P_{mi} = 1.33 Bar$	$P_{mi} = 3.06 Bar$	$P_{mi} = 3.5 Bar$

La figura 96, muestra los resultados obtenidos por el método de arrastre para los segmentos del motor y con los diferentes tipos de lubricantes.

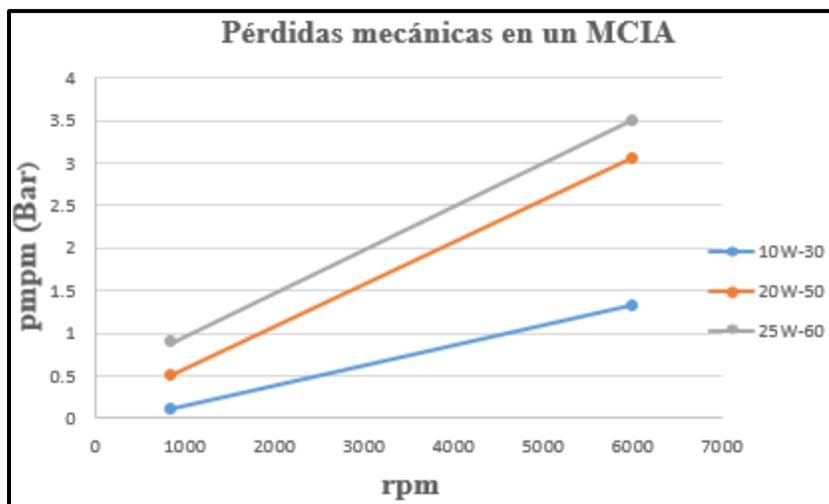


Figura 96: : Distribución de las pérdidas mecánicas en un MEC. Fuente: (Autores)

6.6. Comparación y resultados

En la figura 96 , se observa la distribución de pérdidas mecánicas generada por los segmentos del motor Hyundai Avante 1.5L, a 100 rpm están alrededor de (0 a 0.7) Bar, comparado con la figura 95, de la distribución de pérdidas mecánicas generadas por los segmentos propuestos en el libro de Payri de un motor Diésel de 6 cilindros de 10 litros a 100 rpm de (0.5 a 1) Bar, se valida el método de arrastre ya que se aplicó de manera correcta al tener como resultados la misma tendencia propuesta por Payri.

7. CONCLUSIONES

- Con los resultados obtenidos en el presente proyecto, se establece que se cumple con el objetivo general planteado, es decir, determinar la eficiencia energética del motor Hyundai Avante 1.5L, al ser el aceite 25w-60 el más perjudicial para el motor con una pérdida del 10% de su eficiencia energética cuando su temperatura es de 20 °C y el aceite 10w-30 con un 5% de pérdida en la misma condición de temperatura, se toma en cuenta que para el mes Julio la eficiencia del motor disminuirá debido a las bajas temperaturas que se encuentra la región del Austro Ecuatoriano.
- Mediante la revisión de la literatura se establecieron los fundamentos teóricos más relevantes del comportamiento tribológico, presente en diferentes elementos de un MCI.
- Para obtener los datos de las señales de torque se realizó un procedimiento de dos fases. La primera fase consistió en la adquisición de las señales de los valores de torque mediante una tarjeta de adquisición de datos DAQ NI USB-6212 conectada desde el sensor de torque

hasta una interfaz de LabVIEW. En la segunda fase se obtienen las bases de datos de las diferentes pruebas para su respectivo análisis comparativo de la distribución de pérdidas mecánicas propuestas en el libro de Payri con la distribución de pérdidas mecánicas desarrolladas en este proyecto, así se valida el método de arrastre ya que se aplicó de manera correcta al tener como resultados la misma tendencia de las pérdidas mecánicas en los segmentos.

- Para la evaluación de los datos obtenidos, se utilizó el método de varianza de un solo factor (ANOVA), al agrupar los datos mediante el método de Tukey con un índice de confianza de 95%, la misma que fue utilizada para estimar los valores de torque más influyentes en relación al tipo de aceite, su temperatura y a las revoluciones de operación.
- Con respecto a los datos obtenidos en los ensayos realizados, se planteó diferentes tipos de condiciones para su respectivo análisis de los cuales se obtuvo los siguientes resultados:
 - **Para un aceite 10w-30 a una temperatura de 20, 40 y 70 ± 2°C y a una velocidad de 850 rpm:** El valor de torque es mucho mayor al tener una temperatura de trabajo a 20°C que da una media de 6.8010 Nm, en cambio al elevar la temperatura del aceite el torque disminuye a la mitad con un valor de la media de 3.4526 (Nm).
 - **Para un aceite 20w-50 a una temperatura de 20, 40 y 70 ± 2°C y a una velocidad de 850 rpm:** En comparación con el aceite anterior el valor de torque aumenta considerablemente al estar la temperatura del aceite a 20°C que da una media de 8.634 (Nm), en cambio al elevar la temperatura del aceite el torque necesario disminuye con un valor obtenido de la media de 5.2803 (Nm).
 - **Para un aceite 25w-60 a una temperatura de 20, 40 y 70 ± 2°C y a una velocidad de 850 rpm:** En comparación con los dos aceites anteriores el valor de torque aumenta notoriamente al tener una temperatura de trabajo del aceite a 20°C que da una media de 10.001 (Nm), en cambio al elevar la temperatura del aceite el torque necesario disminuye con un valor obtenido de la media de 5.9968 (Nm).
- Finalmente, con los ensayos realizados, se pudo demostrar que la eficiencia de un MCLA está relacionada directamente con el tipo de aceite que se utiliza, en este caso con un 10w-30 será mucho más eficiente al trabajar a temperaturas mayores a 40°C hasta llegar a su temperatura normal de funcionamiento.

8. RECOMENDACIONES

Se recomienda seguir con futuras investigaciones con respecto a los comportamientos tribológicos en un MCIA, se tomará en cuenta los siguientes factores:

Para controlar las revoluciones del MCIA se recomienda emplear un motor trifásico con un variador de frecuencia, para que a futuros trabajos se realicen ensayos con velocidades superiores a los 1000 rpm y poder analizar su comportamiento tribológico.

En la selección de materiales, para la instrumentación, es recomendable realizar un análisis de estructuras para determinar si el material soportará los esfuerzos al que se van a someter.

Se recomienda en futuros trabajos de investigación realizar un análisis tribológico implementado todos los pistones con sus respectivos segmentos para tener un balance equilibrado.

Al momento de realizar la toma de datos de la unidad experimental, se recomienda controlar la temperatura utilizando elementos eléctricos y electrónicos automatizados.

Se recomienda en futuros trabajos de investigación aplicar más de 3 diferentes tipos de aceites, para generar bases de datos del comportamiento al aplicar diferentes condiciones de funcionamiento.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Blázquez, A. (2016). *Análisis de la lubricación termo-elastohidrodinámica y mixta mediante la aplicación de modelos numéricos*.
- Castillo, F. (2007). *TRIBOLOGÍA: FRICCIÓN, DESGASTE Y LUBRICACIÓN*. .
<http://profefelipe.mex.tl/imagesnew/4/6/9/5/1/TRIBOLOGIA.pdf>
- Castillo Herrera, W. P., & Toapanta Cunalata, O. G. (2019). *Principios de tribología aplicados en la ingeniería mecánica*. Editorial Científica 3Ciencias.
<https://doi.org/10.17993/IngyTec.2019.57>
- Chimeno, C. (2019). *NANOPARTÍCULAS COMO OBJETOS INNOVADORES PARA LA MEJORA DE CALIDAD DE PROCESOS TRIBOLÓGICOS Y ANALÍTICOS*.
- García, R. (n.d.). Teoría de Lubricantes. *Ingeniero Marino*.
- Gómez, B. M. A. (2007). Caracterización de las propiedades tribológicas de los recubrimientos duros. *TDX (Tesis Doctorals En Xarxa)*. <http://www.tdx.cat/handle/10803/1774>
- GÓMEZ ESTRADA, Y. A. (2013). *Contribución al desarrollo y mejora para la cuantificación de la degradación en aceites lubricantes usados de MCIA a través de la técnica de espectrometría infrarroja por transformada de Fourier (FT-IR)*.
<https://doi.org/10.4995/Thesis/10251/19244>
- Guerrero, T. (2016). *Determinación de la degradación y contaminación del aceite de motores Otto en función del kilometraje recorrido*.
- Gutiérrez, A. (2011). *EVALUACIÓN TRIBOLÓGICA DE NUEVOS MATERIALES QUE REDUZCAN EL DESGASTE EN PIEZAS MECÁNICAS Y LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL*.
- Hernandez, H. E. Edgar. (2002). *Mecánica de fractura y análisis de falla*. Universidad Nacional de Colombia.
- Iniesta, E. (2016). *ESTUDIO Y VALIDACIÓN DE UNA METODOLOGÍA DE ENSAYO PARA EL ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE LA FUERZA DE FRICCIÓN EN EL BLOQUE PISTÓN-CAMISA-SEGMENTOS DE UN MCIA*.
- López, M. Á. J. (2018). *Determinación del desgaste de los elementos mecánicos del motor mediante el análisis del aceite usado*.
- Navarro, M. N. M. C. Á. (2010). Estudio introductorio de la aplicación de la tribología en las artroplastias de las articulaciones humanas. *Ciencias Holguín*.
- Payri, F. D. J. (2011). *Motores de combustión interna alternativos*. Reverté.
https://gdocu.upv.es/alfresco/service/api/node/content/workspace/SpacesStore/130ad267-fe67-4ec7-8363-51b16ffe11a6/TOC_0809_04_01.pdf?guest=true
- Peña, A. (2002). *CARACTERIZACION MECANICA Y TRIBOLOGICA DEL AL 6061-T651 Y DEL AL 6061-T651 CON RECUBRIMIENTO DE FOSFATO DE CROMO*.
- Popov, V. (2020). *Principios y aplicaciones de la mecánica de contacto en tribología, fricción y adherencia* (Martin Jose, Ed.; 2nd ed.). une.
- Ronda, J. (2017). *MODELADO DE LAS PÉRDIDAS MECÁNICAS EN MOTORES DIÉSEL DE INYECCIÓN DIRECTA*.
https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/100311/53257388Z_TFM_15209679998332916131137430562047.pdf?sequence=2

Sanz, S. (2017). *Motores* (Editex).

Totten, G. (2006). *Handbook of lubrication and tribology* (G. Totten, Ed.; 2nd ed., Vol. 1).
Taylor & Francis.

<https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=24bMBQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Handbook+of+lubrication+and+tribology&ots=wzqfu2TzQu&sig=PYqfz7MB1qbGVGywFiIkXH0O3zE#v=onepage&q=Handbook%20of%20lubrication%20and%20tribology&f=false>

10. ANEXOS

Anexo 1. Regresión lineal del aceite 10w-30

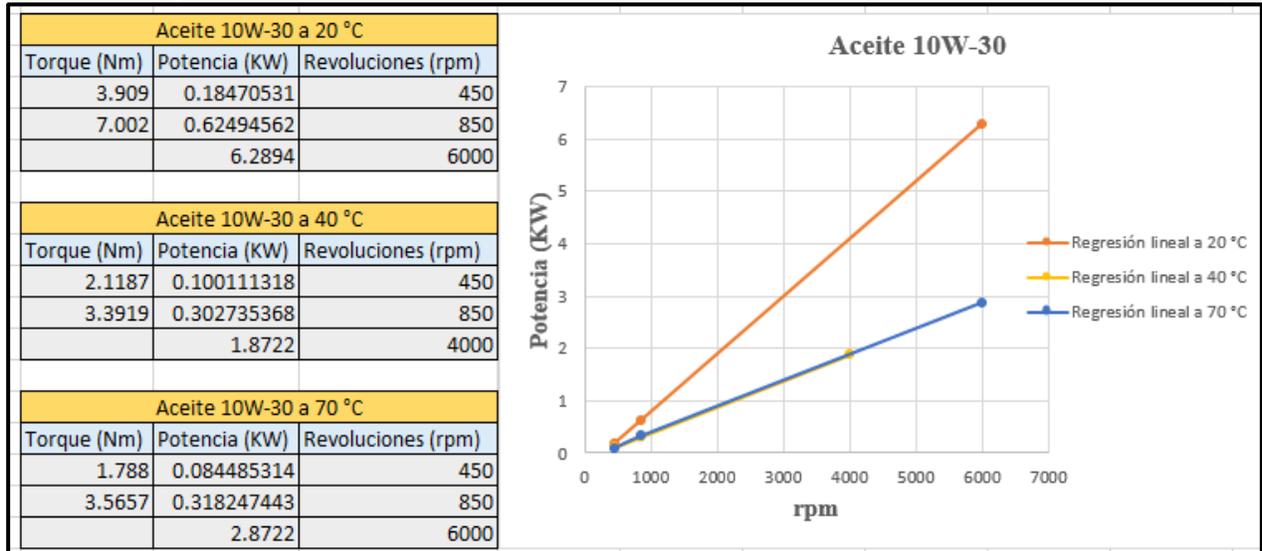


Figura A-1. Datos para realizar la Regresión lineal del aceite 10w-30. Fuente: Autores.

Anexo 2. Regresión lineal del aceite 20w-50

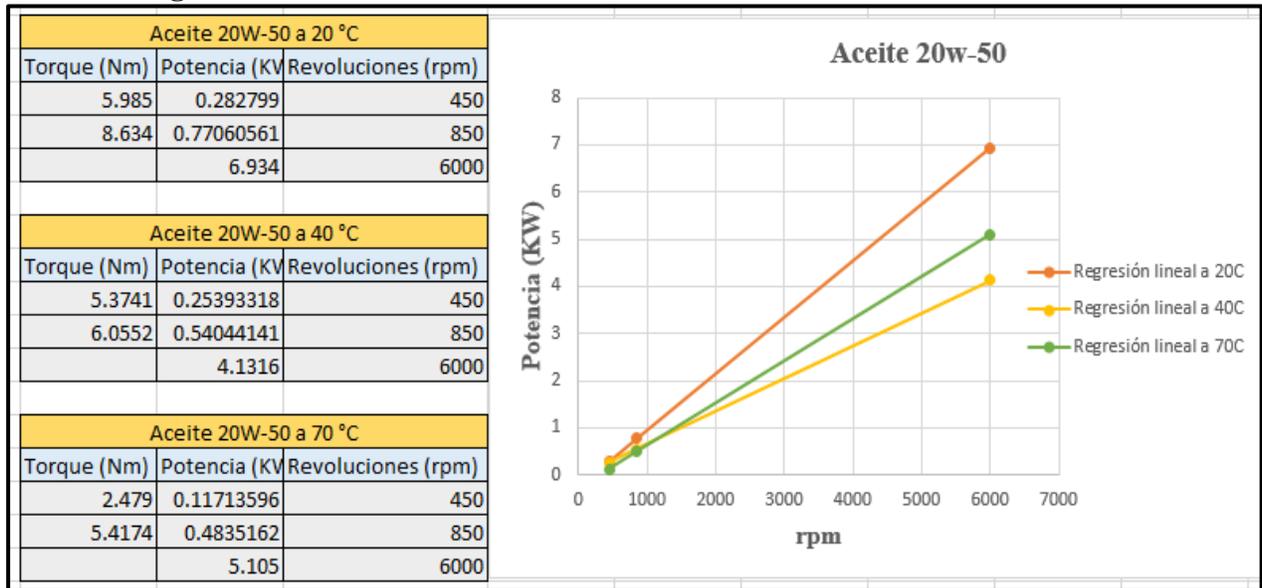


Figura A-2. Datos para realizar la Regresión lineal del aceite 20w-50. Fuente: Autores.

Anexo 3. Regresión lineal del aceite 25W-60

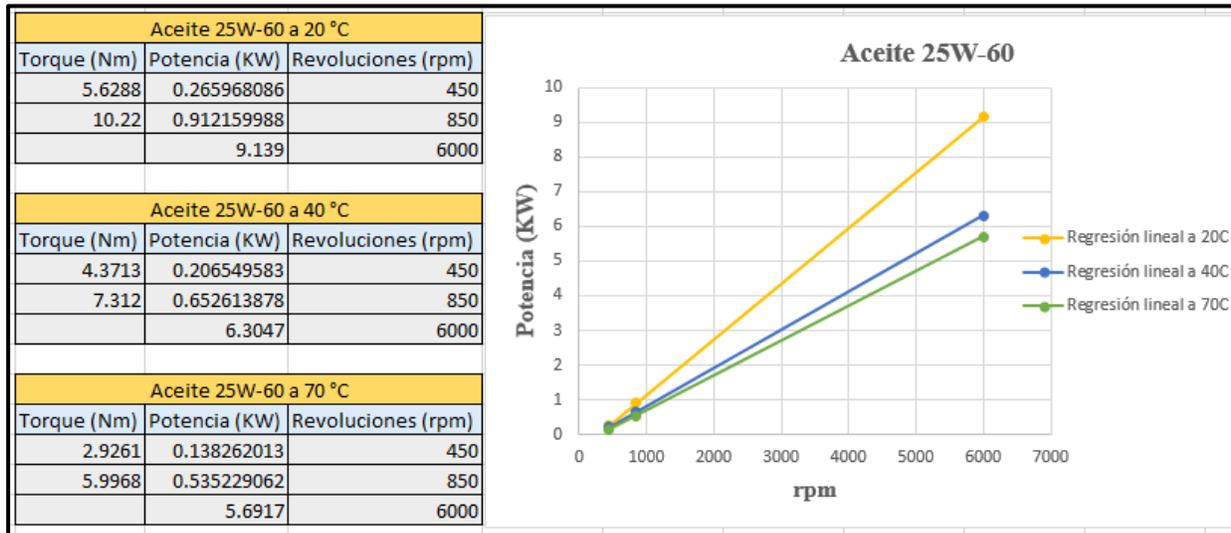


Figura A-3. Datos para realizar la regresión lineal del aceite 20w-50. Fuente: Autores.

Anexo 4. Cálculo del par motor con aceite 10w-30 Semisintético a 20°C

En la figura A-4, se puede apreciar el comportamiento de los diferentes segmentos esta vez al aplicar un aceite 10w-30. En este caso los segmentos de aceite siguen con una amplia diferencia de par necesario para generar el movimiento al cigüeñal.

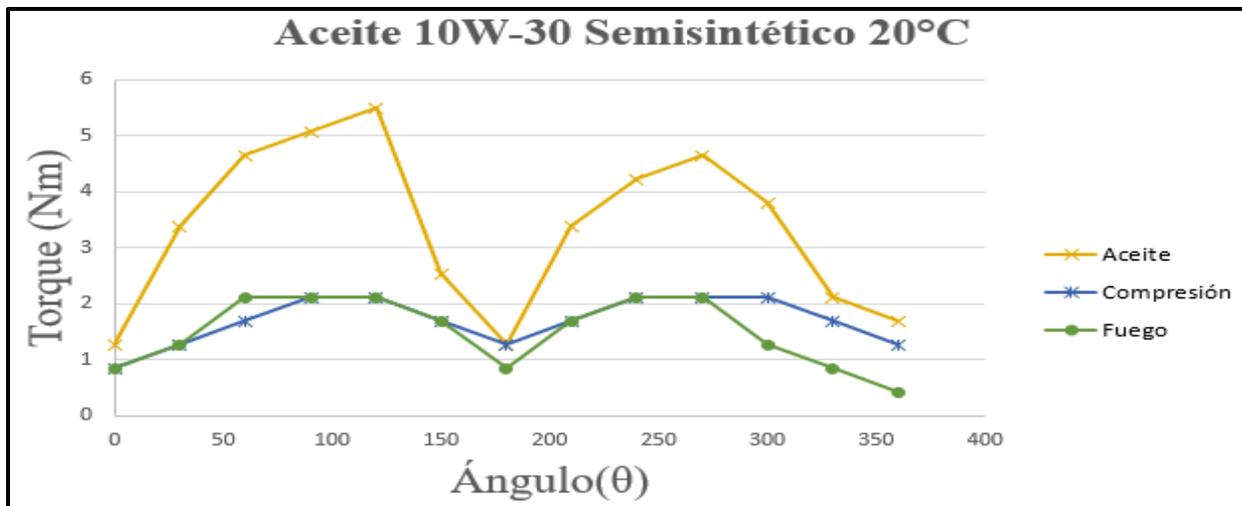


Figura A-4. Par necesario para el arrastre sin lubricación con aceite 10w-30. Fuente: Autores.

Anexo 5. Cálculo del par motor con aceite 20w-50 Semisintético a 20°C

Las pérdidas de fricción en los segmentos de aceite son mayores ver figura A-5, debido a que, en este segmento, las condiciones de lubricación son completamente mixtas su comportamiento.

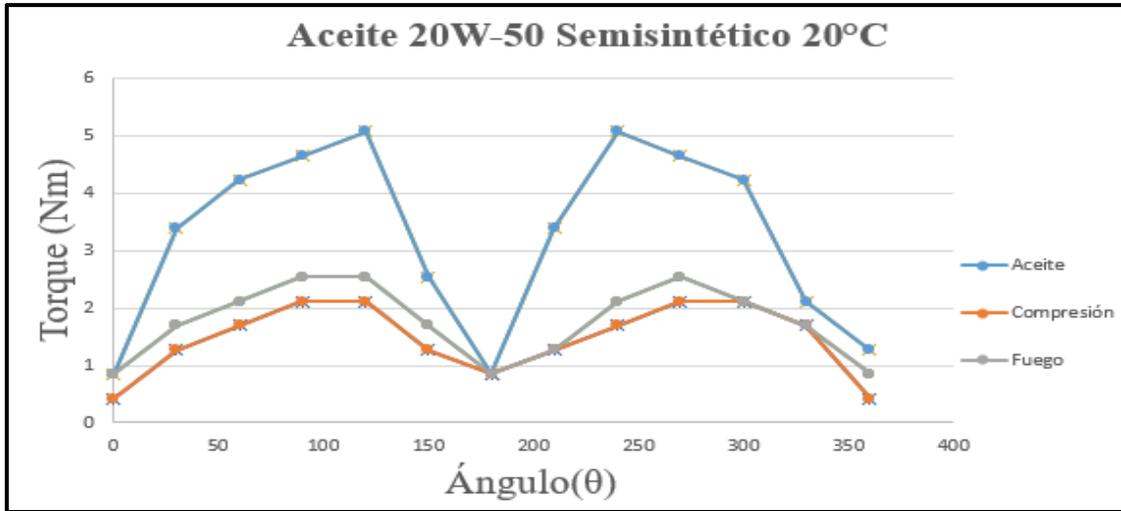


Figura A-5. Par necesario para el arrastre con lubricación con aceite 20w-50. Fuente: Autores.

Anexo 6. Cálculo del par motor con aceite 25w-60 Semisintético a 20°C

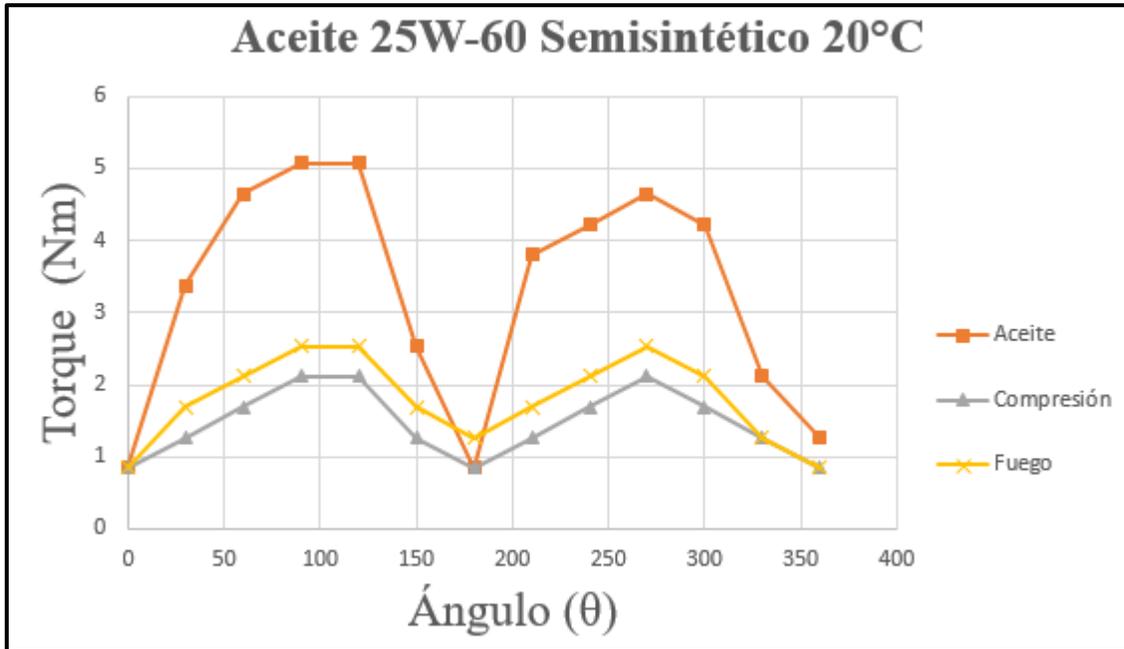


Figura A-6. par motor con aceite 25w-60. Fuente: Autores. Autores

Anexo7. Comparación del segmento de aceite al aplicar diferentes tipos de aceites

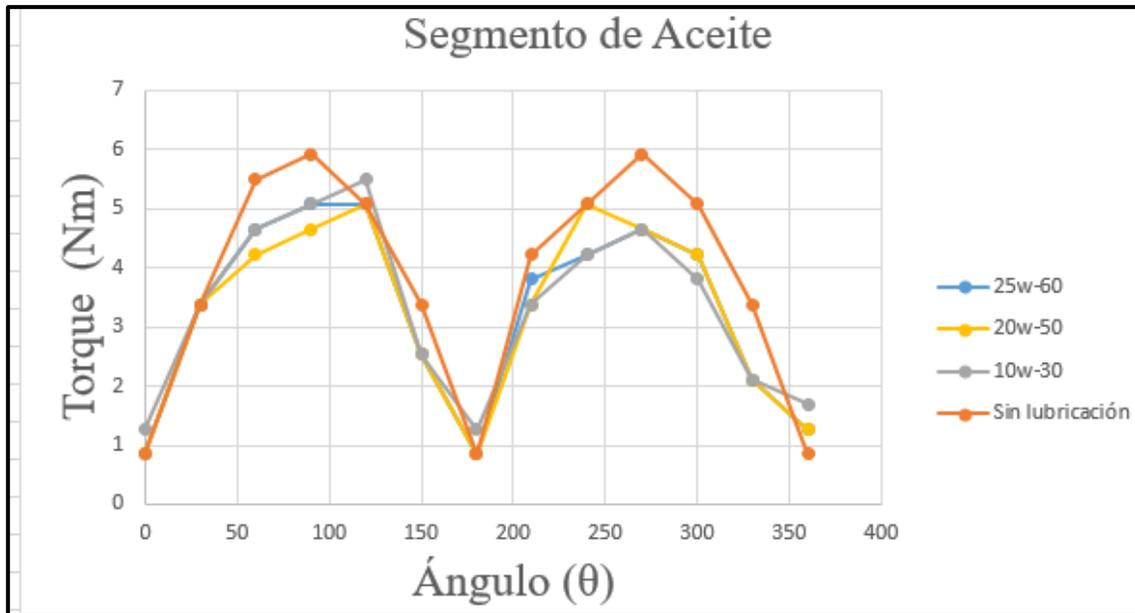


Figura A-7. Comparación del segmento de aceite. Fuente: Autores. Autores

Anexo8. Comparación del segmento de compresión al aplicar diferentes tipos de aceites

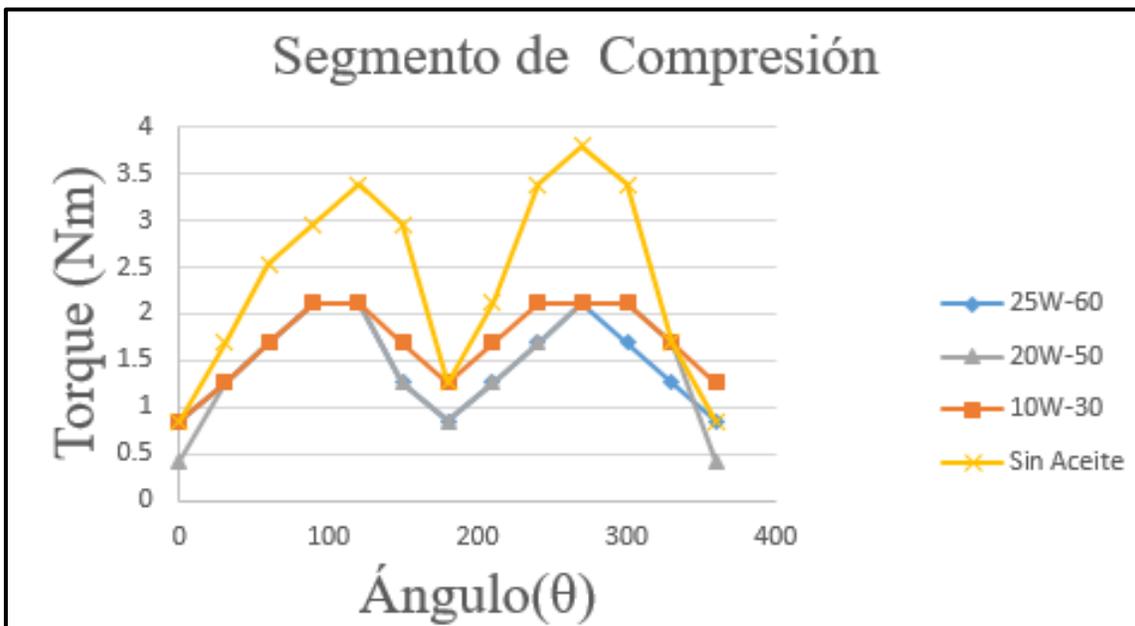


Figura A-8. Comparación del segmento de aceite. Fuente: Autores. Autores

Anexo9. Comparación del segmento de fuego al aplicar diferentes tipos de aceites

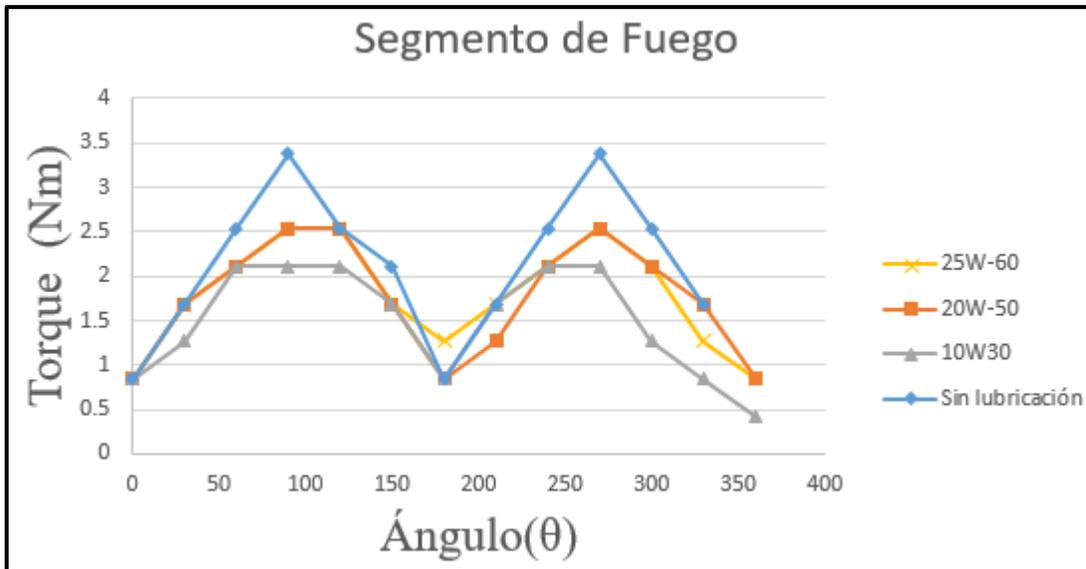


Figura A-9. Comparación del segmento de fuego. Fuente: Autores.