



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LOS ADITIVOS MEJORADORES DEL
ÍNDICE DE VISCOSIDAD SOBRE LAS EMISIONES CONTAMINANTES Y
TORQUE DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA ALTERNATIVO

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

AUTOR: DARWIN GUSTAVO GUTIÉRREZ ESPINOZA

TUTOR: ING. MILTON OSWALDO GARCÍA TOBAR, MsC.

Cuenca - Ecuador
2022

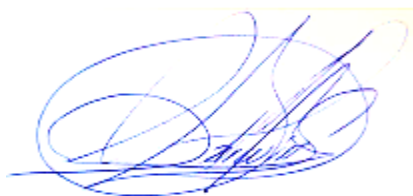
**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Yo, Darwin Gustavo Gutiérrez Espinoza con documento de identificación N° 0103982286, manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 20 de julio del 2022

Atentamente,



Darwin Gustavo Gutiérrez Espinoza

0103982286

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO
DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Darwin Gustavo Gutiérrez Espinoza con documento de identificación N° 0103982286, expreso vuestra voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Proyecto Técnico: “Análisis de la influencia de los aditivos mejoradores del índice de viscosidad sobre las emisiones contaminantes y torque de un motor de combustión interna alternativo”, el cual ha sido desarrollado para optar el título de: Ingierno Automotriz, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 20 de julio del 2022

Atentamente,



Darwin Gustavo Gutiérrez Espinoza

0103982286

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Milton Oswaldo García Tobar con documento de identificación N° 0104282181, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LOS ADITIVOS MEJORADORES DEL ÍNDICE DE VISCOSIDAD SOBRE LAS EMISIONES CONTAMINANTES Y TORQUE DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA ALTERNATIVO, realizado por Darwin Gustavo Gutiérrez Espinoza con documento de identificación N° 0103982286, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 20 de julio del 2022

Atentamente,



Ing. Milton Oswaldo García Tobar, MSc.

0104282181

DEDICATORIA

Dedico mi proyecto de titulación a Tatiana

Idrovo Villa por ser la persona que

siempre estuvo apoyándome para lograr

esta meta soñada.

Dedico a mis padres que fueron las personas

que siempre me llevaron por el camino del

bien para poder lograr una meta propuesta.

Dedico a dos personas especiales Ángel Idrovo

y Katy Villa por ser unos segundos

padres para mí y abrirme las puertas de su hogar.

Dedico a mi tío Patricio Gutiérrez que

ha sido un ejemplo para seguir y lo

llevo siempre en mi mente y en mi corazón.

Darwin Gustavo Gutiérrez Espinoza

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres por ser parte de mis

logros, también a mi compañera de vida

Tatiana Idrovo por apoyarte en todo momento

y a mi hijo Luca Donato que es mi inspiración

cada día para seguir adelante cada día de mi vida.

A mi hermano Pedro que, aunque a veces hemos

discutido es una buena persona y me apoyado en todo.

También hago un agradecimiento especial al Ing. Milton

García por la ayuda dada.

Darwin Gustavo Gutiérrez Espinoza

RESUMEN

El presente proyecto técnico desarrolla un modelo matemático sustentado en un método de la Superficie de Respuesta para la reducción de emisiones de gases contaminantes al usar un aditivo mejorador del índice de viscosidad, donde también se observa que, tras su uso, se da una reducción de potencia para un Motor de Combustión Interna Alternativo.

Para poder iniciar se definen las variables que interactúan en el proceso práctico basado en la Metodología de Superficie de Respuesta (MSR). Como resultado se obtienen las variables de entrada (rpm, índice de viscosidad del lubricante y desgaste) y las variables de salida (torque, potencia y emisiones contaminantes). Los resultados logrados exponen cómo las variaciones en las emisiones contaminantes dependen directamente de la fluctuación de las variables de entrada.

De igual manera para el análisis del uso de aditivos mejoradores del índice de viscosidad, influye en la potencia y torque del Motor. Se observa que, conforme se incrementa la concentración del aditivo, la potencia del motor disminuye. Esto se atribuye al incremento de viscosidad en el lubricante, a causa del aditivo, lo que hará que el esfuerzo requerido por el motor sea mayor.

Palabras Clave: Índice de viscosidad, emisiones contaminantes, motor de combustión interna, superficie de respuesta, torque, potencia

SUMMARY

This technical project develops a mathematical model based on a Response Surface method for the reduction of polluting gas emissions by using an additive that improves the viscosity index, where it is also observed that, after its use, there is a reduction in the power of an Alternative Internal Combustion Engine.

As a starting point, the variables that interact in the experimental process based on the Response Surface Methodology (RSM) are defined. As a result, the input variables (rpm, lubricant viscosity index and wear) and the output variables (torque, power and polluting emissions) are obtained. The results achieved show how the variations in polluting emissions depend directly on the fluctuation of the input variables.

In the same way, it is analyzed how the use of additives that improve the viscosity index influences the power and torque of the engine. It is observed that, as the concentration of the additive increases, the engine power decreases. This is attributed to the increase in viscosity in the lubricant, due to the additive, which will cause the effort required by the engine to be greater.

Keywords: Viscosity index, polluting emissions, internal combustion engine, response surface, torque, power

CONTENIDO

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	2
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA	3
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	4
DEDICATORIA	5
AGRADECIMIENTO	6
RESUMEN	7
SUMMARY	8
Introducción:	13
Antecedentes	14
Importancia:	14
Alcances	14
Delimitación geográfica	14
Subtítulos	¡Error! Marcador no definido.
Descripción del Problema:	15
Delimitación del problema:	16
Objetivo General y Específicos	17
Objetivo General:	17
Objetivo Específicos:	17
Capítulo 1: Revisión del Estado del Arte	18
1.1. Motor de combustión interna alternativo	18
Fase de admisión	19
Fase de compresión	19
Fase de Expansión	19
Fase de escape	19
1.2. Sistema de lubricación para los motores de combustión interna alternativos de cuatro tiempos.	20
1.2.1. Componentes en el sistema de lubricación	20
1.3. Aceites lubricantes	21
1.3.1. Propiedades de los Lubricantes	22
1.4. Aditivos de aceites	24
1.5. Emisiones contaminantes	25
1.6. Métodos de superficie de respuesta	26
2.1. Modelo Experimental	29

2.2. Variables de Entrada	30
2.2.1. Velocidad de giro del motor (RPM)	30
2.2.2. Aditivo mejorador del Índice de Viscosidad	30
2.2.3. Variable 3 (Estado mecánico del motor)	31
2.3. Diseño del Experimento	32
2.4. Variables Controlables	34
2.5. Variables de Respuesta	34
2.6. Adquisición de Datos	34
2.6.1. Adquisición de Emisiones Contaminantes	37
Capítulo 1: Revisión del Estado del Arte	39
3.1. Obtención de los modelos matemáticos	39
3.1.1. Modelo para Hidrocarburos no Combustionados (HC)	39
3.1.2. Modelo para Monóxido de Carbono (CO)	46
3.1.3. Modelo para Monóxido de Carbono (CO₂)	53
3.1.4. Torque y potencia de un motor de combustión interna:	60
Conclusiones	62
Referencias Bibliográficas	64
ANEXO I	68
ANEXO II	70

Figura 1: Ciclo de cuatro tiempos.	19
Figura 2: Diseño Box-Behnken para tres factores.	29
Figura 3: Esquema de las variables del experimento.	30
Figura 4: Aditivo mejorador del Índice de Viscosidad	31
Figura 5: Holgura entre vástago y guía de válvula	32
Figura 6: Scanner G - Scan II.	36
Figura 7: Analizador de gases QROTECH NGA 6000	37
Figura 8: Diagrama de Pareto de efectos estandarizados para HC	40
Figura 9: Grafica de residuos para HC	41
Figura 10: Gráfica de efectos principales para HC	42
Figura 11: Interacción para HC	43
Figura 12: Superficie de respuesta de contorno para HC Índice de viscosidad vs Desgaste	46
Figura 13: Diagrama de Pareto de efectos estandarizados Fuente: Elaboración Propia	47
Figura 14: Grafica de residuos para CO	48
Figura 15: Efectos principales para CO	49
Figura 16: Grafica de interacción para CO.	51
Figura 17: Superficie de respuesta y contorno para CO: Índice de viscosidad vs Desgaste	53
Figura 18: Diagrama de Pareto de efectos estandarizados.	54
Figura 19: Grafica de residuos para CO ₂	55
Figura 20: Efectos principales para CO ₂	56
Figura 21: Grafica de interacción para CO ₂	57
Figura 22: Superficie de respuesta y contorno para CO ₂ : Índice de viscosidad vs Desgaste ...	59
Figura 23: Torque y potencia con 0% de aditivo.	60
Figura 24: Torque y potencia con 50% de aditivo.	61
Figura 25: Torque y potencia con 100% de aditivo.	61

Tabla 1: Especificaciones técnicas del aditivo	31
Tabla 2: Datos técnicos de los vehículos experimentales	32
Tabla 3: Variables de entrada.....	33
Tabla 4: Corridas experimentales	33
Tabla 5: Especificaciones Técnicas para un Kia Picanto R	34
Tabla 6: Especificaciones técnicas de un vehículo Hyundai Creta	35
Tabla 7: Especificaciones técnicas para un motor de un Toyota Rav 4	35
Tabla 8: Características técnicas del Scanner	36
Tabla 9 : Especificaciones técnicas QROTECH QGA-6000.....	37
Tabla 10: Análisis de Varianza para HC	42
Tabla 11: Modelo Secuencial Suma de cuadrados para HC	43
Tabla 12: ANOVA para el modelo cuadrático para HC	44
Tabla 13: Ajuste estadístico del modelo para HC.....	45
Tabla 14: Factores en términos de Factores Codificados para HC	45
Tabla 15: Análisis de Varianza para CO	49
Tabla 16: Modelo Secuencial Suma de cuadrados para CO	50
Tabla 17: ANOVA para el modelo cuadrático para CO	51
Tabla 18: Ajuste estadístico del modelo para CO.....	52
Tabla 19: Factores en términos de Factores Codificados para CO	52
Tabla 20: Análisis de Varianza para CO ₂	56
Tabla 21: Modelo Secuencial Suma de cuadrados para CO ₂	56
Tabla 22: ANOVA para el modelo cuadrático para CO ₂	57
Tabla 23: Ajuste estadístico del modelo para CO ₂	58
Tabla 24: Factores en términos de Factores Codificados para CO ₂	58
Tabla 25: Tabla de resultados del banco dinamométrico.....	60

Introducción:

Un motor de combustión interna se basa en el funcionamiento de la transformación de una energía química en una energía mecánica partiendo de la deflagración que es fruto de la mezcla de un porcentaje de aire y combustible que ingresa dentro de la cámara de combustión[1].

Fundamentalmente la intención es la lubricación para interferir como un generador del lubricante que se introduce en medio de dos elementos en contacto con un movimiento establecido friccionante. El lubricante como prioridad principal es disminuir el roce también ayuda a la temperatura de los mecanismos que se encuentran en contacto[2].

Debido a esto se debe tomar en cuenta las emisiones contaminantes a nivel global de CO₂. Cerca de un 25% de las emanaciones totales de CO₂ procedentes de la combustión de combustibles. Los vehículos son también uno de los principales contribuyentes a las emisiones contaminantes tales como: NO_x, CO, CO₂, HC, entre otros[3].

El progreso con el paso de los años los lubricantes que se utilizan en los motores de combustión interna desde un principio del diseño de estos dispositivos hasta la actualidad disponen de una indagación con el fin de emplear la energía la cual induce por la variación para cumplir con su funcionamiento correcto. Se están desplegando aditivos para mejorar el índice de viscosidad y las propiedades de desgaste de los componentes del motor, y para reducir las emisiones contaminantes de carbono, ya que estos componentes influyen sobre varias propiedades del lubricante como es la fricción, la temperatura y otros más que son prioridad en la aplicación práctica dentro de una gama de aceites[4].

Antecedentes

Se tomo en cuenta proyectos técnicos elaborados anteriormente también se tomó información de artículos científicos para poder realizar el proyecto técnico para desarrollarlo de la manera más adecuada con el fin de cooperar para futuros proyectos que puedan realizarse.

Importancia

Se denota la importancia del presente proyecto técnico el cual se forma con esquemas, gráficos, datos textuales y tablas, entre otras informaciones técnicas. Su finalidad es proponer un sustento necesario para justificar el desarrollo que se lo realizó para el trabajo propuesto.

Alcances

Mediante el desarrollo del proyecto de investigación se busca determinar la influencia que poseen los aditivos mejoradores del índice de viscosidad en el comportamiento del MCIA.

Con el análisis se establecerá si existe variación en las emisiones contaminantes, torque y potencia de un MCIA a diferentes regímenes de giro del motor, además permitirá ampliar el conocimiento referente a los aditivos, al ser un parámetro poco evaluado en el campo automotriz.

Delimitación geográfica

El presente proyecto técnico se realizó en el transcurso del año 2022, en la Universidad Politécnica Salesiana en la Ciudad de Cuenca-Ecuador, con la finalidad de determinar el con un aditivo mejorador del índice de viscosidad lubricante para obtener resultados con lo que se reduce las emisiones de gases contaminantes y la variación de torque y potencia de un motor de combustión interna alternativo.

Descripción del Problema:

Para un motor de combustión interna alternativo funciona como una máquina cíclica térmica, la cual, durante su proceso de combustión está sometida a momentos críticos, por la naturaleza misma de su funcionamiento.

Uno de los elementos encargados de mitigar varios de los problemas de un motor debido a la combustión, es el aceite lubricante, el cual está expuesto a sufrir variaciones en sus propiedades físicas y químicas debido al principal problema que se tiene dentro de un MCI: la Temperatura.

Esta problemática se agudiza por la gama de aceites que el mercado ofrece, y más aún, el afán del usuario por usar aditivos que, sin conocer las ventajas o desventajas que estos pueden tener sobre el rendimiento del motor, los usan atendiendo simplemente a las recomendaciones comerciales del vendedor de aceites y aditivos.

Delimitación del problema:

Mediante el desarrollo del proyecto de investigación se busca determinar la influencia que poseen los aditivos mejoradores del índice de viscosidad en el comportamiento del MCIA.

Con el análisis se establecerá si existe variación en las emisiones contaminantes, torque y potencia de un MCIA a diferentes regímenes de giro del motor, además permitirá ampliar el conocimiento referente a los aditivos, al ser un parámetro poco evaluado en el campo automotriz.

Objetivo General y Específicos

Objetivo General:

Analizar la influencia que tienen los aditivos mejoradores del índice de viscosidad en las emisiones contaminantes, potencia y torque de un motor de combustión interna alternativo.

Objetivo Específicos:

Analizar el estado del arte, determinando las metodologías idóneas aplicables al presente caso de estudio.

Generar un registro de muestreo basado en un diseño experimental de superficie de respuesta para la obtención de datos en el analizador de gases y banco dinamométrico.

Analizar el comportamiento del torque, potencia y emisiones contaminantes, durante la variación iterativa de las distintas variables que afecten el comportamiento del motor, evaluando los resultados obtenidos.

Revisión del Estado del Arte

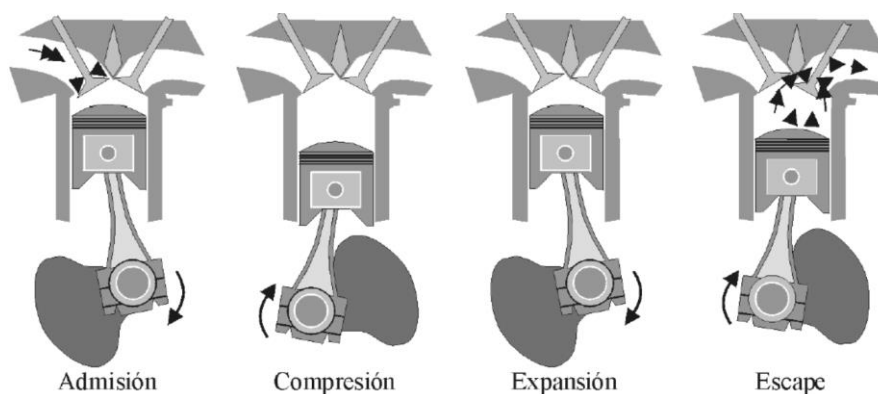
1.1. Motor de combustión interna alternativo

Generalmente, un motor se puede observar como un componente que admite convertir cualquier tipo de energía, en una energía mecánica. Adentro de ese extenso campo, se localiza el motor térmico, el mismo que se le puede llegar a colocar como aquel: *“dispositivo que permite obtener energía mecánica a partir de la energía térmica contenida en un fluido compresible”*[5]. Estos motores, funcionan a través de ciclos de cuatro tiempos, en donde, en donde se tiene cada cilindro va a requerir dos vueltas del cigüeñal por cada corrida de potencia. Para obtener un mayor rendimiento con un tamaño de motor determinado [6].

Como se tiene el ciclo de trabajo para los motores de combustión interna alternativos se consiguen una clasificación en motores de cuatro tiempos (4T), y por otro lado tenemos a los motores de dos tiempos (2T). Por lo tanto, se va a tener algunas diferencias las cuales radican en un asunto de modificación en la carga, que se tendrá en el escape y admisión.

Para los motores de cuatro tiempos, se tendrá un ciclo de trabajo con el que se debe completar en dos vueltas que da el cigüeñal o, lo que es lo igual, en cuatro corridas del émbolo. Al final se procede con la designación de motores de 4 tiempos, cuyo ciclo se compone de las fases de Admisión, Compresión, Explosión y Escape, por lo que se presenta en la Figura 1.

Figura 1: Ciclo de cuatro tiempos.



Fuente: Payri

Fase de admisión

Se tienen las válvulas de admisión abiertas y las de escape cerradas, el émbolo se desplaza desde el punto muerto superior (PMS) hacia el punto muerto inferior (PMI). Debido a esto se crea en el interior del cilindro una pequeña depresión, suficiente como para inducir la entrada de gases a través del conducto de admisión. Estos gases serán aire o una mezcla de aire y combustible, dependiendo del tipo de motor. Cuando el émbolo llega al PMI las válvulas de admisión se cierran y comienza la siguiente fase.

Fase de compresión

Con las válvulas de admisión y escape cerradas el émbolo se desplaza desde el PMI hacia el PMS comprimiendo el fluido contenido en el cilindro.

En las cercanías del PMS se produce el salto de chispa en el caso de un motor de encendido provocado o se inyecta el combustible en el caso de un motor de encendido por compresión, produciéndose la combustión.

Fase de Expansión

La combustión, entre otros efectos, produce un aumento de presión de los gases contenidos en el cilindro, empujando al émbolo, que se desplaza desde el PMS hacia el PMI. Este desplazamiento es el único del que se obtiene trabajo.

Fase de escape

En el PMI se abre la válvula de escape y el émbolo comienza a desplazarse hacia el PMS expulsando los gases quemados hacia el exterior del cilindro.

Cuando el émbolo llega al PMS se cierra la válvula de escape y se inicia un nuevo ciclo.

En realidad, debido a la compresibilidad del aire y a que la combustión no puede producirse a volumen constante, es necesario realizar modificaciones respecto a lo descrito anteriormente en los momentos de apertura y cierre de las válvulas y en el instante de inicio de combustión, de modo que no coinciden con los PMS y PMI, sino que se producen con adelantos y retrasos respecto a estos puntos.

1.2. Sistema de lubricación para los motores de combustión interna alternativos de cuatro tiempos.

Dentro del sistema de lubricación en el motor tiene como objetivo principal entregar el aceite a todos los rincones con piezas móviles que se encuentre adentro del motor de combustión interna alternativo, así como reducir su temperatura y acumular los sedimentos y restos que se forman por la fricción de los elementos friccionante. Se crea una película de lubricante entre las partes móviles, evitando así un desgaste prematuro.

Los componentes más significativos que influyen en la lubricación, además de las particularidades oportunas de los lubricantes, son [7]:

- a) El nivel de pulido que tienen las superficies en contacto.
- b) El entorno y dureza de los materiales que disponen los pedazos conectados.
- c) La holgura que existe entre el acoplamiento entre las partes móviles.

El lubricante, además interviene como un elemento para la limpieza. Al fluir, sirve para lavar y limpiar los cojinetes y demás partes internas del motor. El aceite almacena pequeñas partículas de suciedad, llevándolas nuevamente al cárter. Las elementos de mayor tamaño son nuevamente llevados al mismo donde, las partículas de menor tamaño permanecen en el filtro de aceite cuando este cumpla con el trabajo de enviar hacia el motor.

1.2.1. Componentes en el sistema de lubricación

Bomba de aceite

La bomba de aceite es la encargada de suministrar el lubricante a presión dentro del motor de combustión interna alternativo.

El suministro de aceite en los motores de combustión se ejecuta mediante bombas de aceite con una cilindrada constante. Para garantizar que funcione de una manera eficiente

con seguridad que opera en ralentí caliente, estas bombas están sobredimensionadas, lo que provoca un bajo rendimiento en la mayoría de las velocidades de funcionamiento. En la actualidad se ha desarrollado una bomba de aceite de paletas que permite regular infinitamente el caudal de abastecimiento para lo cual se opera con mayor seguridad[8].

Filtro de aceite

El filtro de aceite en el sistema de lubricación es el encargado de filtrar las impurezas y evitando el avance a las partes móviles.

Los filtros de aceite convencionales se utilizan con aceites de motor de base mineral y sintética sintéticos. Aunque parece que la vida del filtro depende en gran medida de factores mecánicos, depende también del tiempo de servicio y la temperatura, además, el uso de aceites sintéticos mostró una mejora de la vida útil del filtro en general[9].

Depósito de aceite

Es conocido como cárter y es el depósito donde se encuentra almacenado el aceite antes de ser vertido.

El depósito de aceite es un componente realizado en placa de acero o asociaciones livianas de aluminio y tiene forma de una media luna. Se encuentra ubicado en la parte inferior del motor, también desde este punto que se encuentra todo el aceite que lubrica cada uno de los segmentos movedizos que se encuentran en la parte interna del mismo[10].

Colador del aceite

El colador de aceite es el elemento encargado de detener las impurezas grandes que se encuentran en el depósito de aceite.

El colador de aceite es un elemento es el responsable de que el motor retenga todos los sedimentos y residuos quemados de aceite que se generan del producto de la combustión. Por lo tanto, es de bastante utilidad para la retención de impurezas por un tiempo prolongado, cuando cumple su ciclo de trabajo es mejor reemplazarla por las altas temperaturas de trabajo[11].

1.3. Aceites lubricantes

El aceite lubricante es un líquido cuyas propiedades principales son las encargadas de mantener su viscosidad dentro del motor, pues en particular, deben soportar las

variaciones de temperaturas dependiendo de su rango de funcionamiento a la vez que impide el contacto directo que se produzcan de manera continua, en consecuencia, la fricción en seco de las piezas del motor que sufren un rozamiento de la una contra el otra [12].

Para conseguir este objetivo los aceites lubricantes se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- No tiene que ser exagerado espesos en frío pues también ni demasiado fluidos en caliente (por tanto, se debe tener una leve variación de la viscosidad con la temperatura)
- No desaprovechar su composición química (lo que tiene que ver con su estabilidad)
- No constituir residuos que sean de origen carbonosos ni barros
- No dar lugar a gasto excesivo
- No ser agresivos
- Tener unos excelentes conductores de calor.

Se logra vincular estas propiedades es indispensable colocar a los aceites lubricantes, que son de base naturales o sintéticos, una cadena de sustancias o aditivos que modifican o también optimizan las particularidades esperadas.[13]

1.3.1. Propiedades de los Lubricantes

Densidad

La densidad es la medida de la masa de una sustancia en relación con un volumen conocido, la densidad que se encuentra en la totalidad de los aceites oscila entre 700 y 950 kilogramos por metro cúbico (kg/m³). Dentro del lubricante, es una propiedad que redime un papel sustancial en la formación de una película lubricante y la disminución de la fricción entre las superficies de contacto. La densidad debe tenerse en cuenta a la hora de crear modeladores de lubricante que se manejen en los cálculos numéricos del grosor de la película y la fricción.[4]

Viscosidad

Se define a la viscosidad como la tenacidad al movimiento que brinda el fluido y se la representa con el grado SAE, la cual varía con la temperatura siendo diferente según el

tipo de aceite. Una adecuada viscosidad permite mantener una película de aceite suficiente para separar las superficies y evitar el rozamiento.

Para la viscosidad del aceite se tiene una aplicación muy elevada, el gasto de energía es mayor y el deterioro alcanza a ser excesivo por falta de circulación. Sin más una viscosidad que sea la correcta ayudara a extender la vida útil y la eficacia del motor.[14]

Índice de viscosidad

El índice de viscosidad es saber que la permutación de la viscosidad en un lubricante con la temperatura, por lo que mientras más elevado sea el IV, se tendrá un menor cambio del lubricante con la temperatura, y es útil para los consumidores de lubricantes y refinadores, pues es una medida del efecto de las variaciones de la temperatura en la viscosidad del aceite. Sin embargo, se ha comprobado que el índice de viscosidad no correlaciona con la energía de activación del flujo, depende de la viscosidad con la temperatura[14].

Detergencia

Se define como detergencia a la cabida del aceite para excluir residuos almacenados en las zonas de alta temperatura del motor. La capacidad detergente va a depender de las particularidades del aceite que sea utilizado de base así como, también del uso de aditivos purificadores, por lo tanto, los aceites que tienen una menor viscosidad son también los que menos restos carbonosos por otra parte estos tiene una mejor detergencia[15].

Acidez

Para la acidez que exhibe un lubricante se logra debido a los aditivos comprendidos. La acidez por lo tanto, deberá ser mínima para que no agrede a la superficie de las piezas con las que se encuentra en contacto, teniendo más relevancia a los semicojinetes los cuales son hecho con un material de antifricción. Cuando el grado de acidez de los aceites lubricantes está establecido al 0,03 % [16].

Estabilidad térmica

Se define como la habilidad que tiene un lubricante para resistir elevadas temperaturas. Una pésima estabilidad térmica, desemboca en la formación de tipos de lodos, también depósitos y un incremento de la viscosidad.

A temperaturas más elevadas, el porcentaje inicial de variación de la energía de activación se ordena de manera correcta dando una duración más extensa, frente a la degradación del aceite a altas temperaturas [17].

1.4. Aditivos de aceites

Los aditivos de aceite de un motor mejoran el rendimiento del lubricante del aceite base.

En la actualidad se busca optimizar el comportamiento tribológico en los motores de automoción que solicitan lubricantes que se adapten a las diferentes circunstancias de trabajo y condiciones de funcionamiento mediante mecanismos de regeneración para disminuir la fricción y el deterioro[18]:

Dentro de los principales aditivos, se tienen:

Antioxidantes: Es el encargado de ralentizar y frenar los procesos de oxidación.

Anticorrosivos: Sirve para impedir que se concentre agua dentro de la máquina a través de la creación de una capa lubricante.

Diluyentes: Sirven cuando el aceite lubricante se encuentra a temperaturas bajas, por lo que es más dificultoso que fluya. Este prototipo de aditivo es el encargado de que pueda hacer de una manera más fácil.

Los aditivos de los lubricantes ayudan para reducir la fricción en los motores de automoción, lo cual se realiza en situaciones de alta carga y temperatura. Cuando se origina fricción, desgaste, corrosión, formación de espuma y rozaduras en las piezas móviles, se añaden aditivos al aceite del motor para mejorar su rendimiento. Uno de estos aditivos es el que ayuda a reducir la fricción para, de cierta manera, prolongar la vida útil del motor[2].

Mejoradores del Índice de Viscosidad

El índice de viscosidad (IV) es un procedimiento generalmente manipulado para medir la variación de la viscosidad de un fluido en correspondencia a la temperatura. Mientras se tenga un mayor es el IV, será menor es el cambio referente en la viscosidad con la temperatura. Los mejoradores de IV, también se los conoce como modificadores de viscosidad, estos son aditivos que sirven directamente para el aumento de la viscosidad de un fluido a través de su rango de temperatura que es útil.

El aceite lubricante de los motores debe tener una viscosidad lo adecuadamente baja a bajas temperaturas para ayudar al arranque en frío y una viscosidad lo suficientemente alta a altas temperaturas para conservar sus características de soporte de carga. El índice de viscosidad (VI) es un indicador muy utilizado en el campo de la lubricación para evaluar la diferenciación de la viscosidad con la temperatura. El índice de viscosidad en los aceites de composición en base minerales y sintéticos se consigue mejorar mediante la adición de modificadores de viscosidad[19].

Aditivo mejorador del índice de viscosidad

Los aditivos mejoradores del índice de Viscosidad son generalmente de gran rendimiento actual sirve para garantizar la viscosidad de aceites de motor con una defensa frente a las pérdidas que es debido a los cizallamientos mecánicos, y por tanto se mantiene intacta, del aceite inclusive en situaciones extremas, impidiendo que el aceite del motor se disuelva cuando los arranques en frío se redundan con frecuencia.

Estos aditivos, se fundamentan en un mejorador del índice de viscosidad, establecido en un polímero monofuncional lo que permite mejorar la conducta de la: viscosidad / temperatura de aceites de motor, reduciendo la pérdida de viscosidad durante el aumento de temperatura.

Las principales propiedades de este tipo de aditivos son:

- Estabilidad a la depreciación de viscosidad
- Tener una lubricación inmejorable bajo todas las situaciones de servicio.
- Son compatibles con aceites minerales y sintéticos.
- Disminuye los ruidos del motor.
- Proporcionan una presión de aceite óptima bajo todas las condiciones de servicio
- Reducen el consumo de aceite.
- Mejoran la hermetización móvil entre pistón y cilindro.
- Disminuyen el desgaste.

1.5. Emisiones contaminantes

La combustión y las emisiones contaminantes de los motores de combustión interna que funcionan con diferentes mezclas con gasolina convencional, dependen, entre otros

factores, de la potencia, el par motor, ignición en la cámara de combustión originando emisiones tales como NO_x, HC, CO, CO₂ y PM.

Hidrocarburos (HC): Las emisiones contaminantes de hidrocarburos implican cuando no se tiene una combustión completa el combustible en el interior del motor, una diversidad de hidrocarburos expuestos hacia la atmósfera por lo tanto se tiene un mayor interés, por sus impactos en la salud, el ambiente. Estos compuestos existen en el ozono como también otros tales como el benceno, formaldehído y acetaldehído, los cuales poseen un nivel alto de toxicidad para el humano[20].

Monóxido de carbono (CO): El monóxido de carbono es producto de la ignición que se realiza de manera incompleta, sucede cuando el carbono en el combustible se corroe sólo de manera parcial. Referente al monóxido de carbono se consolida de manera fácil con la hemoglobina de la sangre por tanto habrá una reducción del flujo de oxígeno en el torrente sanguíneo causando variaciones en el sistemas nervioso y cardiovascular[21].

Óxidos de nitrógeno (NO_x): Cuando se tiene unas altas temperaturas con una presión que dominan dentro del motor, los átomos de nitrógeno y oxígeno del aire se fusionan para crear el monóxido de nitrógeno (NO), más otros óxidos de nitrógeno que son menos comunes, pero de modo colectivo se los conoce como NO_x[22].

Partículas (PM): Las partículas o partes por millón que se las conocen son producidas por los procesos de ignición dentro del motor de los vehículos. Este gas contaminante es el que posee mayor impacto a la salud humana; se le asocia con el acrecentamiento de una sintomatología referente a enfermedades respiratorias, disminución de la función pulmonar, asma y muertes de manera prematura por afecciones a sistema respiratorio y cardiovascular[23].

1.6. Métodos de superficie de respuesta

La Metodología utilizada para el presente proyecto es de la Superficie de Respuesta (RSM) donde está vinculado con técnicas matemáticas y estadísticas manejadas para poder crear y observar problemas para que una variable de interés sea influenciada por otras. Como intención de inicio para la siguiente técnica es delinear un ensayo que provea valores que contengan de acuerdo con la variable de respuesta con un fin de determinar el modelo matemático que concuerde y se ajusta a los datos logrados. Se tiene como objetivo final establecer para que los valores de los componentes que se optimicen en el valor de la variable respuesta. Esta metodología es utilizada para dar una solución más

práctica para valorar los factores individuales y compuestos del experimento que llevan a las respuestas de salida. Como los resultados logrados por análisis RSM facilitarían el mejor rendimiento del sistema para todos los conjuntos optimizados[24]. La metodología de superficie de respuesta (RSM) fue desarrollada inicialmente por Box Benkhen durante los años 50 [25], es método útil se trata de un conjunto de técnicas estadísticas que emplean las funciones polinómicas lineales o cuadradas para describir la relación entre las respuestas con sus variables de entrada de entrada para lograr el objetivo de maximizar o minimizar las las propiedades de la respuesta[26].

La RSM comprende un grupo de enfoques matemáticos y estadísticos en el que la respuesta de provecho depende de diversas variables significativas, y con el objetivo del método es crear y perfeccionar esta respuesta [27].

El análisis de la varianza (ANOVA) sirve para el cálculo de la variación en torno al modelo con la variación pura dentro de las afirmaciones de cada tipo de modelo. Basándose en las observaciones. Esta prueba mide la adecuación de los resultados del *valor F* el modelo de mayor orden con diferentes modelos basados en el análisis de superficie de respuesta términos significativos con una relación significativa entre los parámetros bien y normalmente, sería la diferencia ($p < 0,05$) falta de ajuste para el modelo lineal, sin embargo, el elegido [28].

En la última década, la mayor parte de la investigación en combustibles alternativos ha hecho hincapié en el uso de RSM como análisis secundario para maximizar la cantidad de investigación con la que se pueda alcanzar para una cantidad fija de datos experimental. Esta herramienta ha sido aplicada con éxito por varios de investigadores para optimizar el rendimiento del motor y las emisiones de escape del motor del motor utilizando varios tipos de combustibles alternativos. La aplicación de RSM tiene un amplio compendio que se utiliza dentro del campo para los combustibles alternativos. La mayoría de los investigadores e ingenieros de este campo han utilizado la RSM para resolver el problema entre los factores individuales y combinados de la prueba. El problema entre los factores individuales y combinados de las variables experimentales con las respuestas de salida. Aproximadamente el 54% de las horas-hombre de las pruebas podrían evitarse utilizando la metodología de superficie de respuesta. Box y Draper muestran cómo la investigación en la optimización de RSM se centró en las respuestas experimentales del modelo y luego evolucionó hacia la modelización de los experimentos

numéricos. Ha habido una serie de estudios de optimización de motores que involucran parámetros del motor que han reportado como carga, velocidad y la carga, la velocidad y el momento de la inyección estática de gasolina y diésel en motores de encendido por ignición o también por compresión para mejorar el rendimiento del motor de encendido por chispa y compresión para mejorar la eficacia del motor y reducir las emisiones de escape mediante RSM. Se optimizaron parámetros como la carga, la velocidad y el tiempo de inyección estática de un motor CI para la disminución del ruido, también el consumo de combustible sumándose aquello las emisiones de escape mediante RSM. Hay algunos artículos de revisión que fueron publicados recientemente relacionados con el uso de RSM por donde su revisión se centró en la comparación entre Taguchi y el diseño compuesto central, y la optimización de RSM en química aplicada, respectivamente. Sin embargo, la mayoría de los estudios revisados hasta el momento, no tienen en cuenta la aplicación de RSM en el combustible alternativo. Aquí, la atención se centrará en la revisión de la aplicación de RSM, especialmente para resolver el problema de una gran cantidad de respuestas relacionadas con los combustibles alternativos[28].

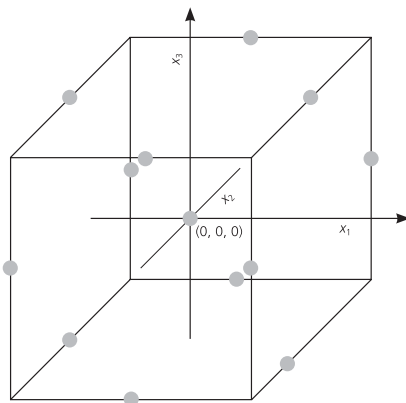
Diseño Experimental

2.1. Modelo Experimental

La aplicación de la técnica para Metodología de la Superficie de Respuesta (RSM) conlleva a la obtención de modelos matemáticos que optimizan la relación entre diferentes factores que afecten a una respuesta.

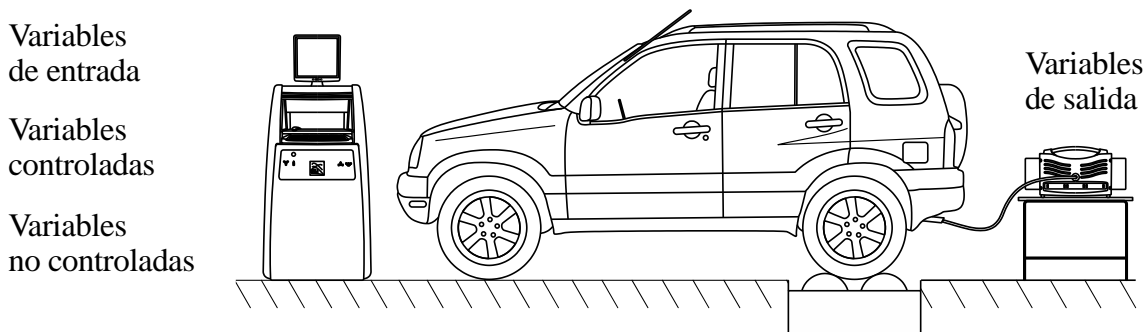
Para el presente trabajo, el diseño experimental se basa en uno de orden dos, Box – Behnken, debido al ajuste idóneo que se tiene al usar tres factores y a la optimización de las muestras en relación con las corridas experimentales a realizar. De forma geométrica, esta relación de variables se presenta en la Figura 2.

Figura 2: Diseño Box-Behnken para tres factores.



El modelo matemático que se pretende obtener requiere en primera instancia, la definición de las variables que interactúan en el proceso del experimento ya sea de forma directa e indirecta, cuyo esquema se recoge en la Figura3.

Figura 3: Esquema de las variables del experimento.



2.2. Variables de Entrada

Las variables de entrada indican los parámetros iniciales, y cuya interacción, afecten a la variabilidad de los factores de respuesta.

El presente estudio busca plantear un modelo matemático que permita analizar la influencia del uso de aditivos mejoradores del índice de viscosidad en las emisiones contaminantes, potencia y torque de un motor, cuyo rendimiento se verá afectado por el comportamiento que tengan las variables de entrada: *velocidad de giro (carga), estado mecánico del motor, porcentaje de aditivo.*

2.2.1. Velocidad de giro del motor (RPM)

La velocidad de giro del motor, expresado en revoluciones por minuto juega un papel muy importante en el proceso de combustión, el cual se ve afectado directamente por la temperatura. Buscar una buena estabilidad en la viscosidad requiere un análisis propio a diferentes regímenes de giro del motor.

Los tres niveles de este factor se obtienen directamente al modificar la carga de aceleración. El nivel inferior (*-1*), se lo obtendrá con el motor funcionando en ralentí, mientras que el nivel superior (*1*) será el equivalente a un motor en plena carga (2500 rpm).

2.2.2. Aditivo mejorador del Índice de Viscosidad

La segunda variable de estudio es el aditivo mejorador del índice de viscosidad, siendo el factor más representativo en el estudio, esto debido a que se pretende estudiar el impacto que tiene el uso de este tipo de aditivo en el comportamiento dinámico del motor.

Para el desarrollo de este estudio, se utiliza el aditivo Visco Plus de la casa comercial Liqui Moly, (Figura 4) debido a la factibilidad que representa su uso en cuanto al costo,

disponibilidad y preferencia de uso entre los usuarios, precisamente por su relación costo - beneficio. Los datos técnicos de este aditivo se recogen en la Tabla 1.

Figura 4: Aditivo mejorador del Índice de Viscosidad



Fuente: Payri

Tabla 1: Especificaciones técnicas del aditivo

Color/Apariencia	Naranja claro
Densidad @ 20°C	0,89 g/cm ³ DIN 51757
Viscosidad @ 40°C	299,6 mm ² /s ASTM D7042
Punto de Inflamación	120 °C DIN ISO 2592
Punto de Fluidez	-15 °C DIN ISO 3016
Olor	Característico
Forma	Líquida

Fuente: Elaboración Propia

La obtención de los diferentes niveles de esta variable se da a través de la cantidad de aditivo suministrado al motor. El fabricante recomienda adicionar 300 ml de aditivo por cada 7 litros de aceite lubricante. Con este antecedente, los tres niveles de la variable de entrada “Aditivo” resulta en:

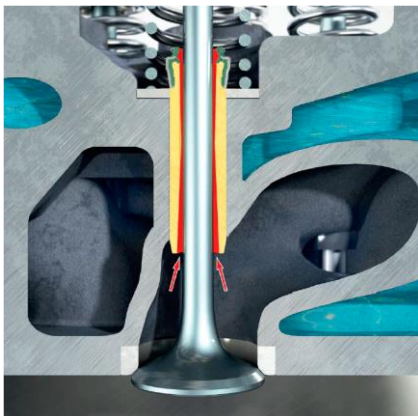
- ✓ **Nivel inferior (-1):** 0% de aditivo recomendado por el fabricante.
- ✓ **Nivel medio (0):** 50% de aditivo recomendado por el fabricante (150ml).
- ✓ **Nivel superior (1):** 100% de aditivo recomendado por el fabricante (300ml).

2.2.3. Variable 3 (Estado mecánico del motor)

La condición mecánica del motor incide de forma directa en el transcurso de la combustión, y, por lo tanto, en la emisión de gases contaminantes. Un motor con mayor desgaste tendrá mayor holgura entre sus componentes, lo que dará paso a pequeñas partículas de aceite a la cámara de combustión en donde se quemarán en conjunto con el combustible. Obsérvese este fenómeno en la Figura 5.

Producto de esta combustión, se incrementarán los valores de gases contaminantes. En respuesta a esto, se utilizan lubricantes de mayor viscosidad para sellar estas holguras generadas, dando como resultado un impacto importante en el torque y potencia del motor.

Figura 5: Holgura entre vástago y guía de válvula



Fuente: Payri

Para el desarrollo del proyecto se utilizarán tres vehículos diferentes, caracterizados por su estado mecánico en base a su recorrido total. La especificación técnica para cada uno de los vehículos experimentales se recoge en la Tabla 2.

Tabla 2: Datos técnicos de los vehículos experimentales

Vehículo	Kia Picanto	Hyundai Creta	RAV 4
Kilometraje	10,020	45,000	21,4000
Modelo	2022	2020	2007
Cilindrada	1200 cc	1600 cc	2400 cc
Potencia Máxima	4 en línea	4 en línea	4 en línea
Par Máximo	122 /4000	151/4850	194/4000
Relación de Compresión	10.5:1	10.5:1	9.8:1
Distribución	Por cadena	Por cadena	Por cadena
Viscosidad del aceite	10w30	5w30	20w50

Fuente: Elaboración propia.

2.3. Diseño del Experimento

Se han definido ya, las tres variables de estudio, con sus correspondientes niveles, resumidos en la Tabla 3. A partir de esta información, se genera un diseño experimental mediante Superficie de Respuesta del tipo Box Benkhen. Este proceso permite obtener un orden de muestreo aleatorio a través de la combinación de las diferentes variables de entrada para la adquisición de los datos de emisiones contaminantes, torque y potencia.

Tabla 3: Variables de entrada

Variable	Unidad	Nivel inferior	Nivel medio	Nivel superior
Velocidad de Giro	[rpm]	-1	0	1
Concentración de aditivo	[%]	-1	0	1
Estado Mecánico del Motor	[cualitativo]	-1	0	1

Fuente: Elaboración Propia

El resultado conta de un diseño de 15 corridas experimentales, las cuales se detallan en la Tabla 4.

Tabla 4: Corridas experimentales

Std	Run	Factor 1 Vel. Giro [RPM]	Factor 2 Aditivo [%]	Factor 3 Estado Mecánico [cualitativo]
5	1	-1	0	-1
9	2	0	-1	0
13	3	0	0	0
12	4	0	1	1
17	5	0	0	0
15	6	0	0	0
7	7	-1	0	1
2	8	1	-1	0
4	9	1	1	0
8	10	1	0	1
11	11	0	-1	1
6	12	1	0	-1
14	13	0	1	-1
10	14	-1	1	0
16	15	-1	-1	0

Fuente: Elaboración propia.

2.4. Variables Controlables

Las variables de control son cada una de las características de los procesos experimentales y estos son valores fijos y que son controlados por el experimentador a lo largo del proceso.

En el presente proyecto técnico, se analizan las variables que inciden en el proceso de combustión, pero que son fácilmente controlables al principio del experimento.

Para cada proceso experimental, se pondrá a punto el motor, partiendo con bujías y filtros nuevos, así como presión estandarizada en los neumáticos.

2.5. Variables de Respuesta

Estos son todos los valores que nos da la realización del experimento como resultado, y son los siguientes:

- Torque
- Potencia
- Emisiones de gases contaminantes

2.6. Adquisición de Datos

La adquisición de datos se ajusta al diseño experimental planteado anteriormente. Se realiza estas pruebas en los distintos vehículos antes mencionados con el fin de obtener datos reales; con lo que los datos parten de las revoluciones, índice de viscosidad y desgaste del motor. Por lo tanto, se obtendrá torque, potencia, emisiones contaminantes.

Las especificaciones técnicas del vehículo Kia Picanto R se especifican en seguida en la Tabla 5:

Tabla 5. Especificaciones Técnicas para un Kia Picanto R

Especificaciones técnicas	
Motor	1200 cc
Válvulas	16 válvulas
Numero de cilindros	4
Potencia	85 @ 6000 hp/rpm
Torque	120 @ 4000 N*m/rpm
Relación de compresión	10: 1
Peso bruto vehicular	1208 kg
Capacidad de carga	330 lts

Fuente: Elaboración propia

Las especificaciones técnicas del vehículo Hyundai Creta son las que se detallan a continuación en la Tabla 6 colocada a continuación:

Tabla 6: Especificaciones técnicas de un vehículo Hyundai Creta

Especificaciones técnicas	
Motor	1600 cc
Válvulas	16 válvulas
Numero de cilindros	4
Potencia	123 @ 6000 hp/rpm
Torque	150 @ 4000 N*m/rpm
Relación de compresión	10,5: 1
Peso bruto vehicular	1359 kg
Capacidad de carga	402 lts

Fuente: Elaboración propia

Las especificaciones técnicas del vehículo Hyundai Creta son las que se detallan a continuación en la Tabla 7 colocada a continuación:

Tabla 7: Especificaciones técnicas para un motor de un Toyota Rav 4

Especificaciones técnicas	
Motor	2400 cc
Válvulas	16 válvulas
Numero de cilindros	4
Potencia	152 @ 6000 hp/rpm
Torque	194 @ 4000 N*m/rpm
Relación de compresión	10,4: 1
Peso bruto vehicular	2000 kg
Capacidad de carga	756 lts

Fuente: Elaboración propia

Unidad experimental

Para el inicio de la adquisición de datos se consideran como variables: combustible, filtros en general, bujías, estado de inyectores, banco dinamométrico, presión de neumáticos, aditivos; los mismos que serán definidos en la generación del registro de muestreo.

Se utiliza 3 vehículos para realizar las pruebas de campo.

- Hyundai Creta año 2020 con un kilometraje de 45.000 km.
- Kia Picanto año 2022 con un kilometraje de 8.000 km.
- Toyota Rav 4 año 2007 con un kilometraje de 215.200 km.

Antes de realizar las pruebas en los vehículos se tendrán que dejar a punto cada uno de los motores para lo cual se tendría que revisar filtros, bujías, inyectores, aceite, presión de neumáticos, alineación; también se tendrá la revisión de cada uno de los sensores del vehículo con un Scanner automotriz G-Scan II (Figura 5 y la Tabla 8) de características técnicas del scanner para verificar el estado actual de cada uno de los elementos internos del motor con el cual se puede realizar una toma de datos de manera correcta.

Figura 6: Scanner G - Scan II



Tabla 8: Características técnicas del Scanner

Descripción	Características
Programación de módulos	De la ECU
Base de datos genéricos	Multimarca
Definiciones completas de códigos	OBD2
Funciones especiales	Reprogramaciones
Osciloscopio	Observar graficas e interpretación
Multímetro digital	Mediciones en sensores, actuadores

Fuente: Manual de usuario G - Scan II

2.6.1. Adquisición de Emisiones Contaminantes

Para la adquisición de datos producidos por los gases contaminantes que se produce en la unidad experimental, se trabajó con un analizador de gases marca QROTECH con modelo QGA-6000 mostrando en la Figura 6. El analizador de gases posee la configuración que atiende al método Non Dispersive Infra-red (NDIR); este equipo se utiliza para analizar los gases tales como: (CO, HC y CO₂). También se tiene en consideración que para los análisis de los gases de O₂ y NO_x se los realiza empleando el método electroquímico.

La Tabla 9, se almacena los principales datos técnicos del analizador de gases de la Figura 7.

Figura 7: Analizador de gases QROTECH QGA 6000

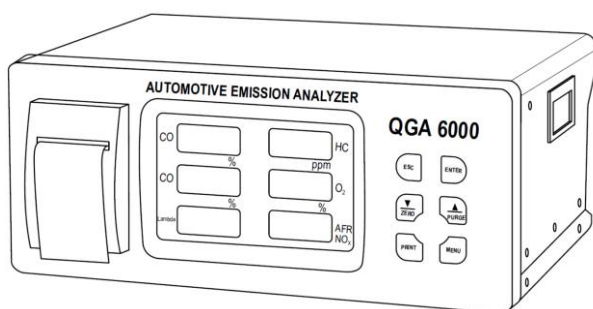


Tabla 9 : Especificaciones técnicas QROTECH QGA-6000

Medición	CO, HC, CO ₂ , O ₂ , Lambda, AFR, NO _x (opcional)			
Método para su medición	CO, HC, CO ₂ : Método NDIR O ₂ , NO _x : Célula Electroquímica			
Rango para su medición	0.00 ~ 9.99%		0 ~ 9999 ppm	
Resolución	CO	0.01%	HC	1 ppm
Display	4 dígitos LED		4 ó 5 dígitos LED	
Rango de medición	0.0 ~ 20.0%		0.00 ~ 25.00 %	
Resolución	CO ₂	0.1%	O ₂	0.01 %
Display	4 dígitos LED		4 dígitos LED	
Rango de medición	0 ~ 2.000		0.0 ~ 99.0	
Resolución	Lambda	0,001	AFR	0.1
Display	4 dígitos LED		4 dígitos LED	

Rango de medición		0-5000 ppm
Resolución	Nox (Opcional)	1 ppm
Display		4 dígitos LED
Reiterabilidad		Menos de $\pm 2\%$ FS
Tiempo para su respuesta		Dentro de 10 segundos (más de 90%)
Tiempo para su calentamiento		Aproximadamente 2 ~ 8 minutos
Cantidad para muestra recogida		4 ~ 6 L/min
Alimentación eléctrica		220V CA o 110V CA $\pm 10\%$ 50 o 60Hz

Fuente: Manual de usuario QROTECH QGA-6000

Análisis de Resultados

3.1. Obtención de los modelos matemáticos

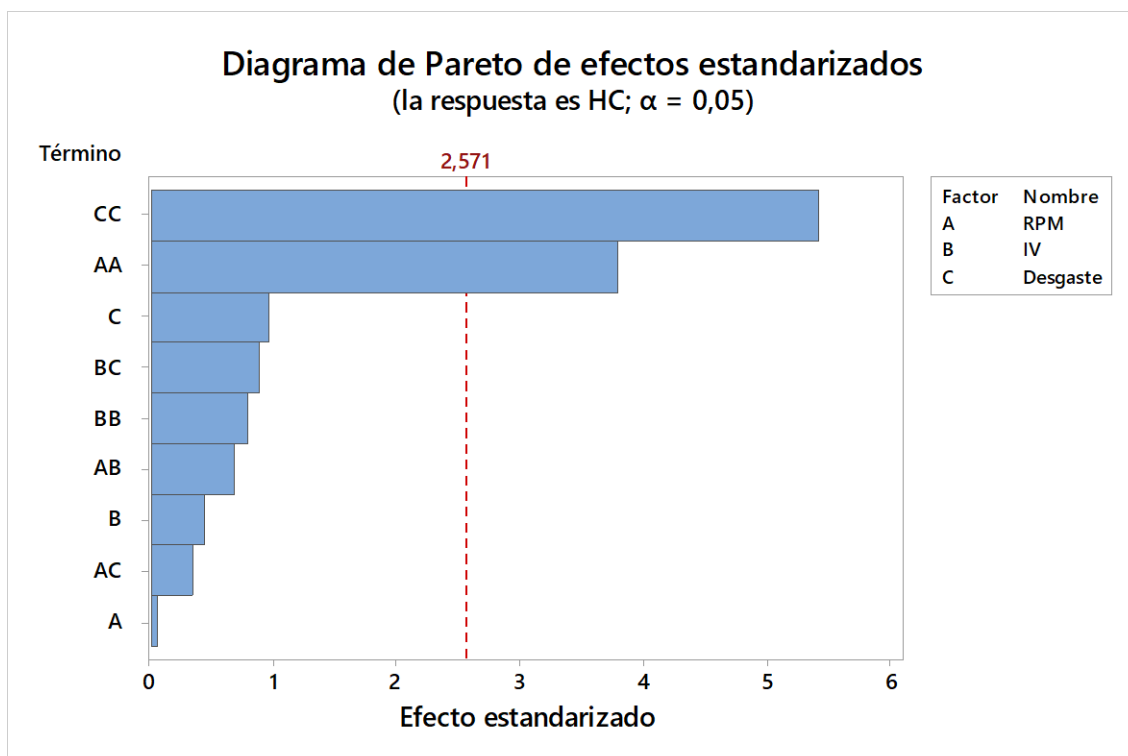
El objetivo principal del presente estudio radica en cuantificar la influencia que tiene un aditivo mejorador del índice de viscosidad sobre el comportamiento dinámico el motor, determinado a través de su torque y potencia durante la interacción de las variables de entrada. Además, se pretende medir, como este impacto y/o diferenciación de estas variables, repercute sobre las emisiones emanadas las cuales son producidas por el motor de combustión interna.

Como resultado obtenido tras el análisis de las muestras, se plantean modelos matemáticos para Monóxido de Carbono (CO), Hidrocarburos no Combustionados (HC) y Dióxido de Carbono (CO₂), así como un análisis de torque y potencia

3.1.1. Modelo para Hidrocarburos no Combustionados (HC)

La condición mecánica del motor incide en una eficaz interpretación de los resultados que se proyecte para un análisis partiendo del diseño realizado a través del método de superficie de respuesta. Primero se determinan los términos que contribuyen de una manera relevante en la variable de respuesta (HC). Se utiliza el diagrama de Pareto, de la Figura 8 para observar, dentro de los efectos principales, cuáles son las variables que representan mayor variabilidad a la respuesta de salida, en relación con su interacción. Con una referencia de 2.571 y una significancia de un 0.05, se identifica que los efectos más significativos del modelo es el desgaste, el índice de viscosidad y la velocidad de giro del motor (RPM).

Figura 8: Diagrama de Pareto de efectos estandarizados para HC

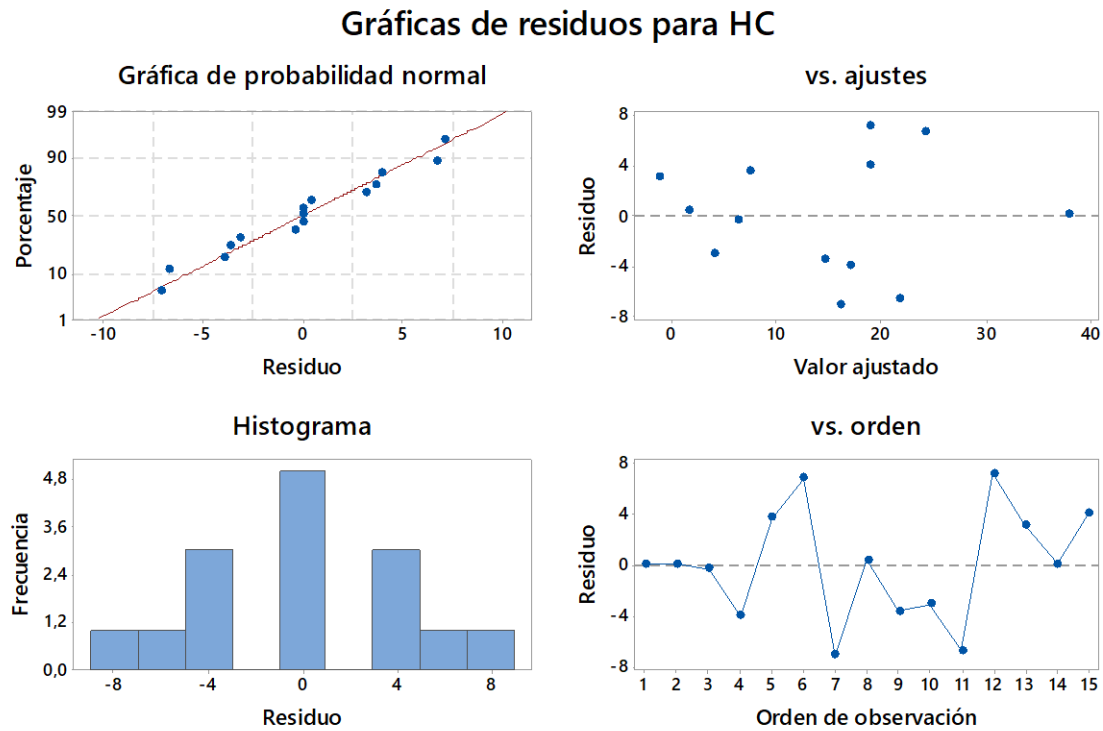


Fuente: Elaboración propia

La grafica de residuos para HC, (Figura 9), indica en la gráfica de probabilidad normal, como los residuos se ajustan a la recta, por tanto, cumple la suposición de normalidad de los datos, también reiterado por el histograma que muestra una simetría sin valores extraños. También se observa que los residuos son de manera aleatoria, por lo tanto, tienen una varianza constante. En la gráfica donde se visualiza el orden vs residuos se sintetiza la forma como fluctúan los valores cercanos de cero, al momento de la adquisición de los datos.

Con este análisis, se ve que la adquisición de los datos ha sido correcta, por lo que la aleatoriedad de las muestras se garantiza, en torno al diseño experimental.

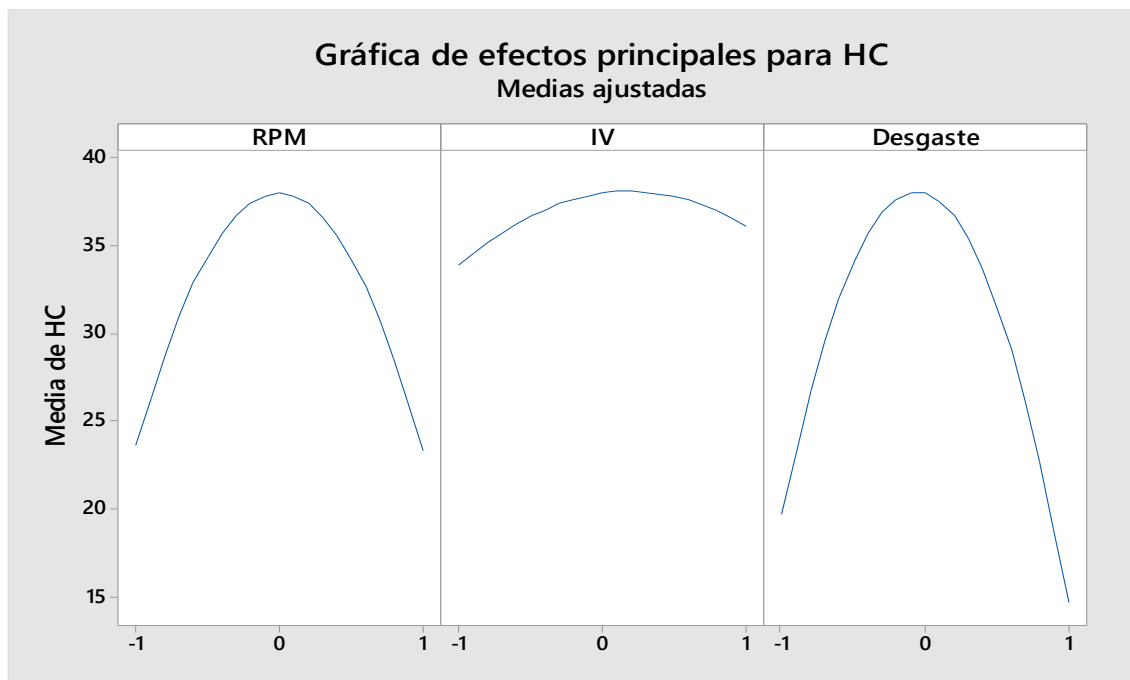
Figura 9: Gráfica de residuos para HC



Fuente: Elaboración propia

En la gráfica de efectos principales de la Figura 10 se considera una relación entre los predictores y la respuesta. Se logra observar que el índice de viscosidad y el desgaste tiene similitudes por sus curvaturas dentro del rango colocado como mínimo y máximo. En conclusión, como no se tiene unas líneas horizontales los efectos principales son afectados en la respuesta de cada factor.

Figura 10: Gráfica de efectos principales para HC



Fuente: Elaboración propia

En el Anexo II, se muestran las gráficas de efectos principales para (CO, CO₂), donde no existían líneas paralelas, y, por ende, los predictores afectan las relaciones de las variables de entrada y de salida.

El modelo matemático que se estima para las emisiones de hidrocarburos no combustionados, en un inicio, recopila los valores estadísticos más significativos que se recogen en la Tabla 10.

Tabla 10: Análisis de Varianza para HC

	Desviación Estándar	P - Valor secuencial	Falta de ajuste p - valor	R ²	R ² Ajustado	R ² Previsto
Lineal	15,24	0,9660		0,0231	-0,2434	-0,6176
2FI	17,61	0,9660		0,0512	-0,6604	-2,0574
Cuadrática	7,36	0,0077		0,7099	0,7099	-0,6575
Cúbica	0,0000			1,0000	0,9537	

Fuente: Elaboración propia

Para la Tabla 11 se muestra un modelo secuencial de la suma de cuadrados para HC. Se obtiene un polinomio de orden superior (cuadrático) aceptando una significancia de términos que se adicionan al modelo el cual no posea un alias. Este tipo de modelos

“alias” se da cuando existen modelos factoriales fraccionados que no pueden incluirse en todas las combinaciones de factores según sus niveles.

Tabla 11: Modelo Secuencial Suma de cuadrados para HC

	Suma de cuadrados	df	Media cuadrática	F-valor	p-valor
Media vs Total	4646,40	1	4646,40		
Lineal vs Media	60,25	3	20,08	0,0865	0,9660
2FI vs Lineal	73,50	3	24,50	0,0790	0,9696
Cuadrática vs 2FI	2209,10	3	736,37	13,60	0,0077
Cúbica vs Cuadrática	270,75	3	90,25		
Residual		2	0,0000		
Total	7260,00	15	484,00		

Fuente: Elaboración Propia

El análisis que se representa en las interacciones para los Hidrocarburos no combustionados (HC) de la Figura 11, muestra la interacción de los factores de (*índice de viscosidad* rpm* y también del *índice de viscosidad * desgaste*). Esto se confirma con el *p – valor*, del análisis para la varianza ANOVA de la Tabla 12, del modelo cuadrático. Con este valor estadístico se pondera la significancia de una variable, cuyo valor deberá ser menor que el valor de significancia de $\alpha = 0,005$.

Figura 11: Interacción para HC

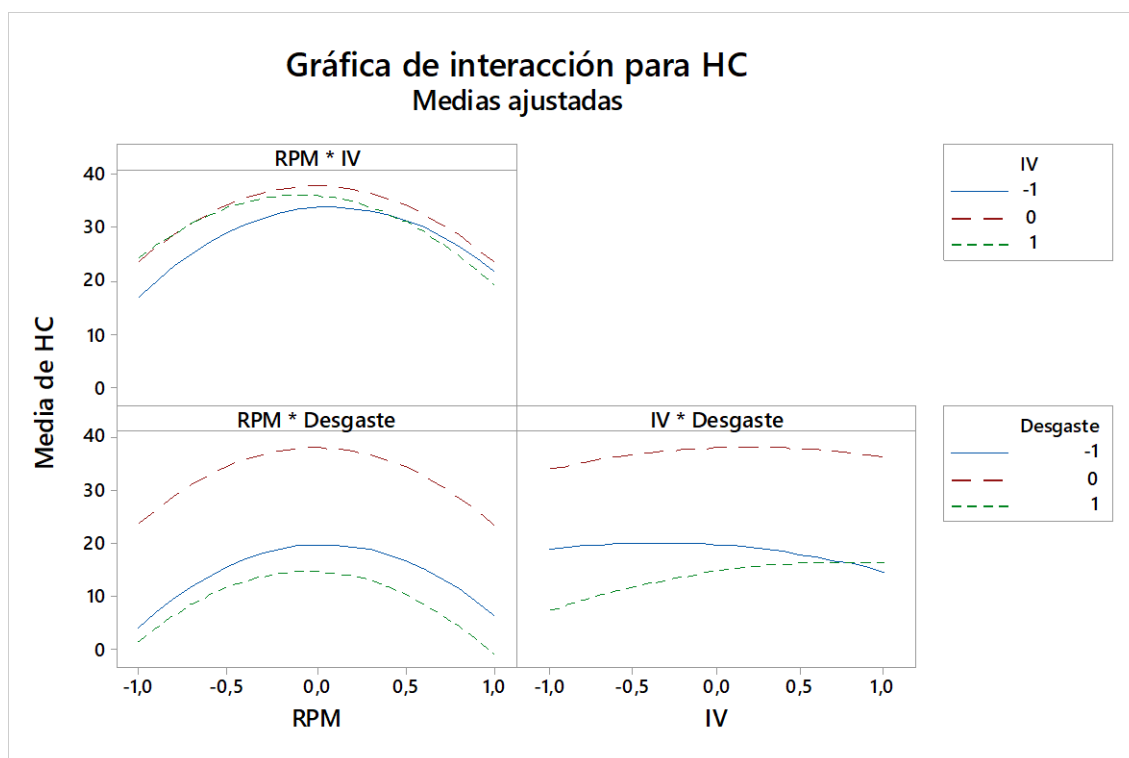


Tabla 12: ANOVA para el modelo cuadrático para HC

	Suma de cuadrados	df	Media cuadrática	F-valor	p-valor	
Modelo	2342,85	9	260,32	4,81	0,0493	significan te
A-Desgaste	0,1250	1	0,1250	0,0023	0,9635	
B-Viscosidad	10,13	1	10,13	0,1870	0,6835	
C-Combustible	50,00	1	50,00	0,9234	0,3807	
AB	25,00	1	25,00	0,4617	0,5270	
AC	6,25	1	6,25	0,1154	0,7479	
BC	42,25	1	42,25	0,7802	0,4175	
A ²	776,31	1	776,31	14,34	0,0128	
B ²	33,23	1	33,23	0,6137	0,4689	
C ²	1589,77	1	1589,77	29,36	0,0029	
Residual	270,75	5	54,15			
Falta de ajuste	270,75	3	90,25			
Error Puro	0,0000	2	0,0000			

Fuente: Elaboración Propia

El **F-valor** de 4,81 indica que el modelo tiene una significancia muy alta, así como una probabilidad de 4,93% de que un **F - valor** alto puede darse a raíz de ruidos externos.

El estadístico **p- valor** que contengan valores que sean menor a un valor de 0,0500 dejan ver que los términos **A²**, **C²** para el modelo son de bastante relevancia. Por otro lado, los valores que son más altos que 0,150 no son significativos. En el caso de que existan demasiados valores insignificantes para el modelo propuesto, se debería reducir el orden.

El **F - valor** para el modelo, de 4,81, involucra que el modelo es significativo. Sólo hay un 4,93% de posibilidades de que un **F - valor** sea inmenso y se deba al ruido.

En la Tabla 13 se observa un ajuste estadístico del modelo. El **R²** previsto posee un valor de 0,7099, el cual no se encuentra distante del **R² ajustado** de (-0,6575) como se debería esperar por que tiene una diferencia de 1,36. Esto indica que el modelo tiene un excelente desarrollo.

Tabla 13: Ajuste estadístico del modelo para HC

Desv. Estándar	7,36	R²	0,8964
Media	17,60	R² Ajustado	0,7099
Coef. Var. %	41,81	R² Previsto	-0,6575

Fuente: Elaboración Propia

Los cambios en factores de salida se dan según la variación de los factores de entrada. Los coeficientes que formarán parte del modelo, se los estiman a través de un indicador estadístico conocido como *factor de inflación de la varianza (FIV)*, la misma que se da luego de una regresión por mínimos cuadrados. En este caso, al ser un diseño de tipo ortogonal, los valores de FIV son de 1. Si los FIV son mayores a 1, mayor será la correlación entre las variables. En la Tabla 14 se coloca los factores recopilados donde se observan valores de FIV mayores que 1.

Tabla 14: Factores en términos de Factores Codificados para HC

Factor	Estimación del Coeficiente	df	Error estándar	VIF
Intercepción	38,00	1	4,25	
<i>A-Desgaste</i>	-0,1250	1	2,60	1,0000
<i>B-Viscosidad</i>	1,12	1	2,60	1,0000
<i>C-Combustible</i>	-2,50	1	2,60	1,0000
<i>AB</i>	-2,50	1	3,68	1,0000
<i>AC</i>	-1,25	1	3,68	1,0000
<i>BC</i>	3,25	1	3,68	1,0000
<i>A²</i>	-14,50	1	3,83	1,01
<i>B²</i>	-3,00	1	3,83	1,01
<i>C²</i>	-20,75	1	3,83	1,01

Fuente: Elaboración Propia

Se plantea una ecuación en base de los términos de factores recopilados que modela la emisión de hidrocarburos no combustionados (HC), el cual se mide en partículas por millón (ppm). Para la ecuación matemática sirve para modelar el nivel para cada factor.

$$HC = 38 - 0,01250A + 1,12B - 2,50C - 2,50AB - 1,25AC + 3,25BC - 14,50A^2 - 3,00B^2 - 20,75C^2.$$

De donde:

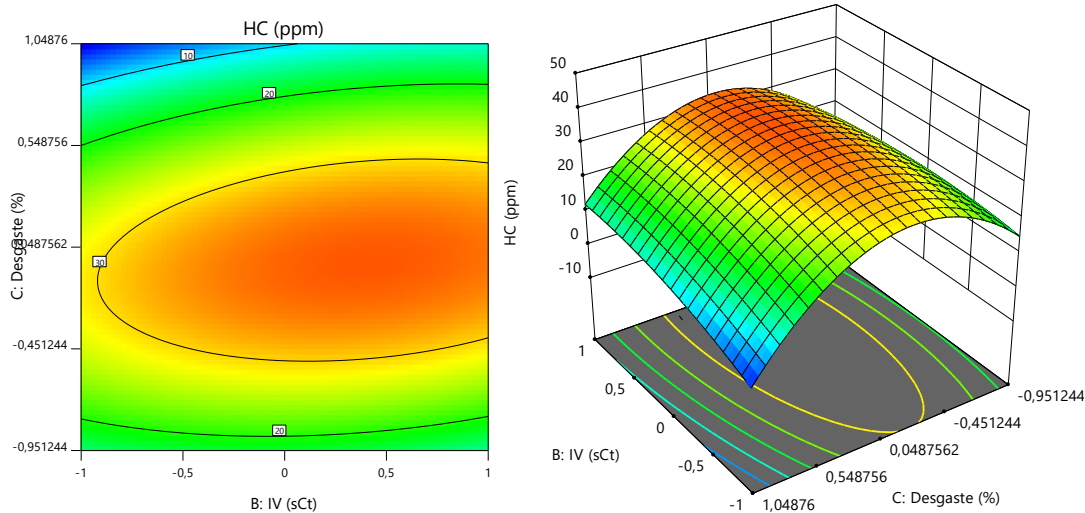
A: RPM

B: Índice de viscosidad

C: Desgaste

La Figura 12, se ejemplifica en el análisis de la superficie de respuesta, donde se observa la interacción entre las variables *Desgaste* e *Índice de Viscosidad (IV)*. Se observa la influencia que tiene el uso del aditivo en relación con el desgaste, para la emisión de HC. Para un motor que presenta mayor desgaste, el uso de aditivos puede mejorar esta situación al funcionar como sellante de holguras, a la vez que, como resultado, se obtiene una reducción en las emisiones contaminantes.

Figura 12: Superficie de respuesta de contorno para HC Índice de viscosidad vs Desgaste

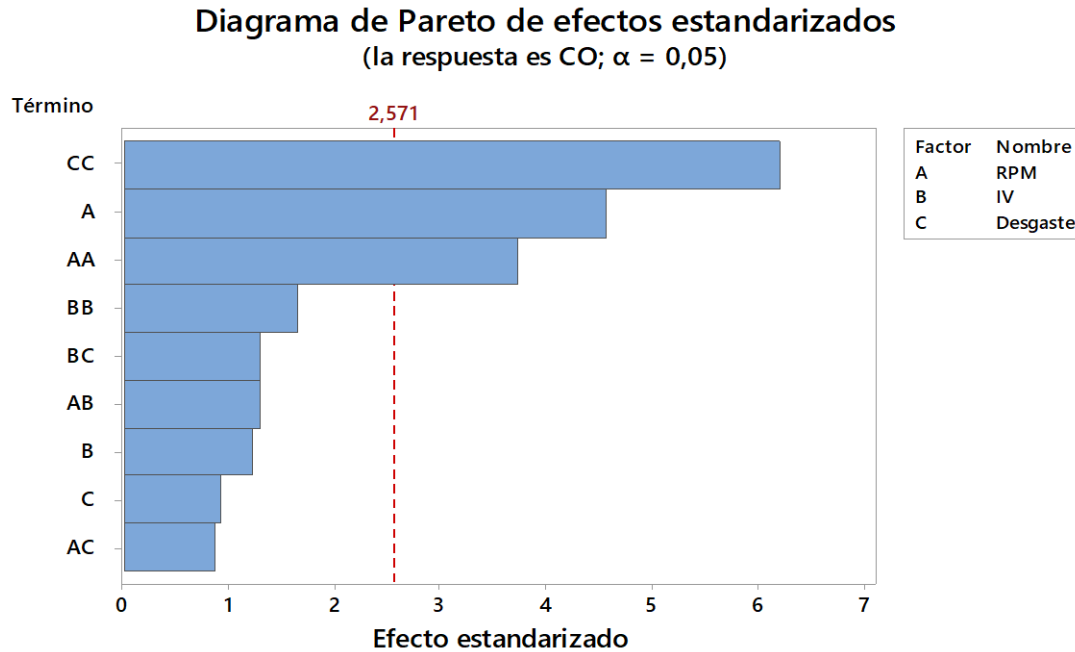


Fuente: *Elaboración Propia*

3.1.2. Modelo para Monóxido de Carbono (CO)

Primero se determinan los términos que contribuyen de una manera relevante en la variable de respuesta (CO). Se utiliza el diagrama de Pareto, de la Figura 11 para observar, dentro de los efectos principales, cuáles son las variables que representan mayor variabilidad a la respuesta de salida, en relación con su interacción. Con una referencia de 2.571 y una significancia de un 0,05, se identifica que los efectos más significativos del modelo es el desgaste, el índice de viscosidad y la velocidad de giro del motor (RPM).

Figura 13: Diagrama de Pareto de efectos estandarizados

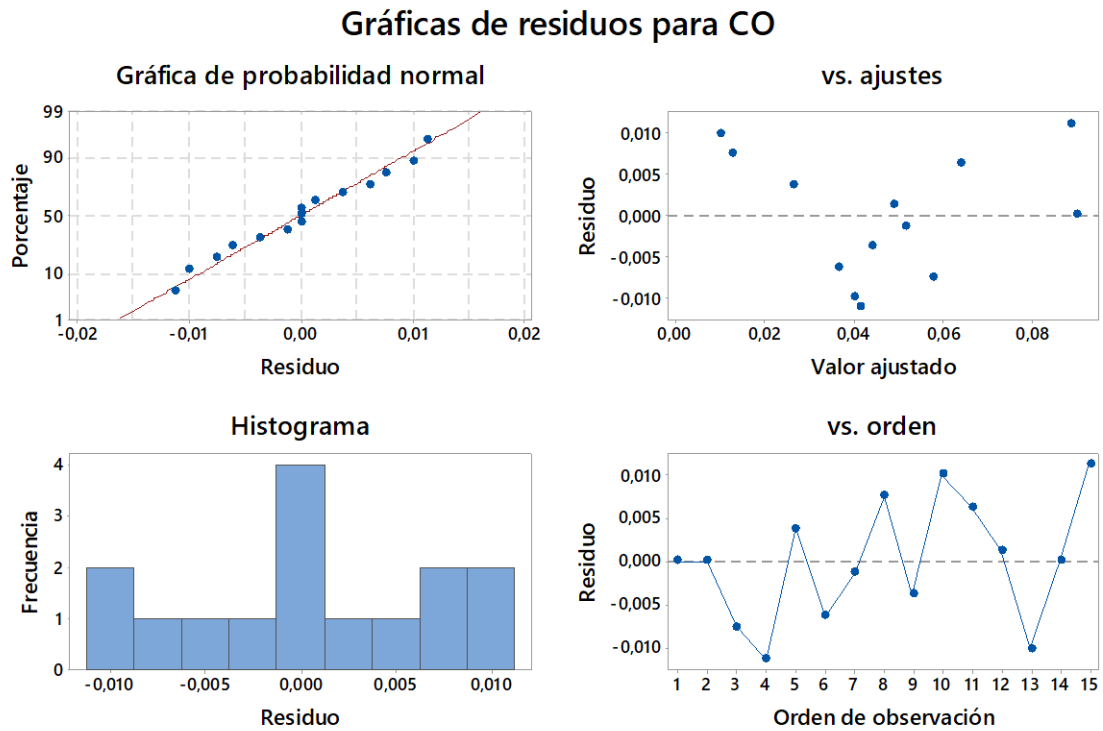


Fuente: Elaboración Propia

Para la gráfica de residuos de CO mostrado en la Figura 14, la probabilidad normal muestra los residuos que se ajustan a la recta, por tanto, cumple la suposición de normalidad de los datos, también reiterado por el histograma que muestra una simetría sin valores extraños. También se observa que los residuos son de manera aleatoria, por lo tanto, tienen una varianza constante. En la Figura en donde se visualiza el orden vs residuos se sintetiza la forma como fluctúan los valores cercanos de cero, al momento de la adquisición de los datos.

Con este análisis, se ve que la adquisición de los datos ha sido correcta, por lo que la aleatoriedad de las muestras se garantiza, en torno al diseño experimental.

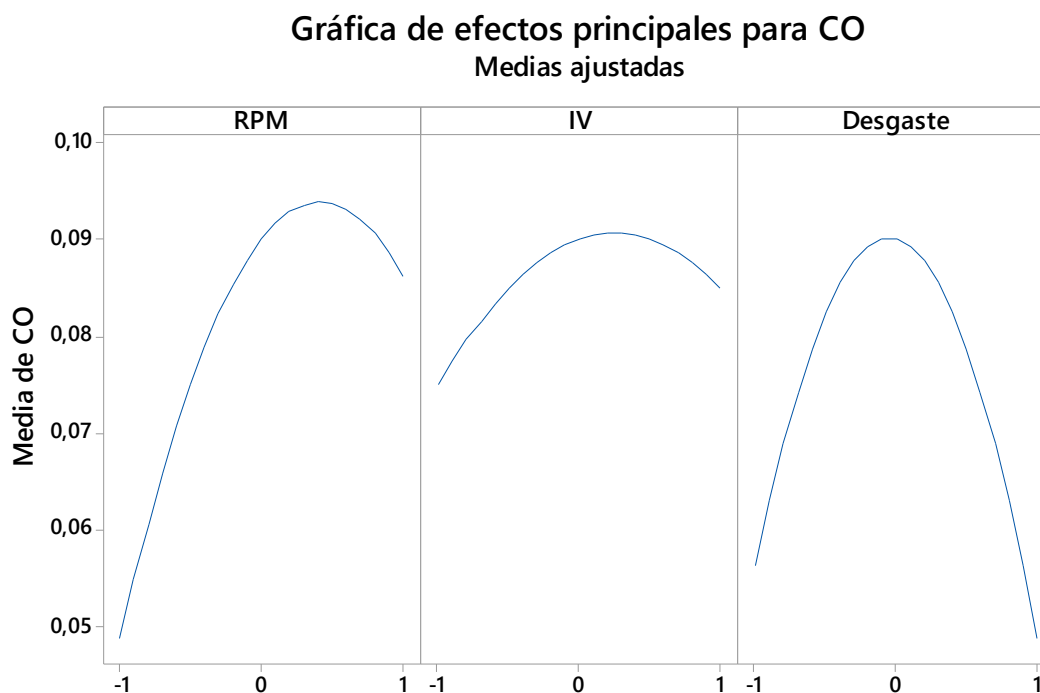
Figura 14: Gráfica de residuos para CO



Fuente: Elaboración Propia

En la gráfica de efectos principales se considera una relación entre los predictores y la respuesta. Se logra observar que el índice de viscosidad y el desgaste tiene similitudes por sus curvaturas dentro del rango colocado como mínimo y máximo. En conclusión, como no se tiene unas líneas horizontales los efectos principales son afectados en la respuesta de cada factor como se observa en la Figura 15.

Figura 15: Efectos principales para CO



Fuente: Elaboración Propia

Se visualiza en la Tabla 15 la varianza con su análisis para el (CO). Se estima el coeficiente de R^2 se aproxima al valor de 1 en este modelo de forma cuadrática.

El modelo matemático que se estima para las emisiones de monóxido de carbono, en un inicio, recopila los valores estadísticos más significativos que se recogen en la Tabla 15.

Tabla 15: Análisis de Varianza para CO

	Desviación Estándar	P - Valor secuencial	Falta de ajuste p - valor	R^2	R^2 Ajustado	R^2 Previsto
Lineal	15,24	0,9660		0,0231	-0,2434	-0,6176
2FI	17,61	0,9696		0,0512	-0,6604	-2,0574
Cuadrática	7,36	0,0077		0,8964	0,7099	-0,6575
Cúbica	0,0000			1,0000	1,0000	

Fuente: Elaboración propia

Se visualiza la Tabla 16 donde se acumula la anexión de cuadrados del modelo que se realiza de manera secuencial. Se obtiene un polinomio de orden superior (cuadrático) aceptando una significancia de términos que se adicionan al modelo el cual no posea un seudónimo.

Tabla 16: Modelo Secuencial Suma de cuadrados para CO

	Suma de Cuadrados	df	Media Cuadrática	F-valor	p-valor
Media vs Total	4646,40	1	4646,40		
Lineal vs Media	60,25	3	20,08	0,0865	0,9660
2FI vs Lineal	73,50	3	24,50	0,0790	0,9696
Cuadrática vs 2FI	2209,10	3	736,37	13,60	0,0077
Cúbica vs Cuadrática	270,75	3	90,25	0,0865	
Residual	0,0000	2	0,0000		
Total	7260,00	15	484,00		

Fuente: Elaboración Propia

El análisis que se representa en las interacciones para el monóxido de carbono (CO) donde se muestra la interacción de los factores de (índice de viscosidad* rpm y también del índice de viscosidad * desgaste), con lo que se demuestra que el *p – valor*, parte del análisis para la varianza ANOVA obteniendo un modelo cuadrático de la Tabla 17. Teniendo un valor estadístico para ponderar de un factor su significancia, por lo tanto, se obtendrá una significancia de menos de ($\alpha=0,005$) y la Figura 16.

Figura 16: Gráfica de interacción para CO

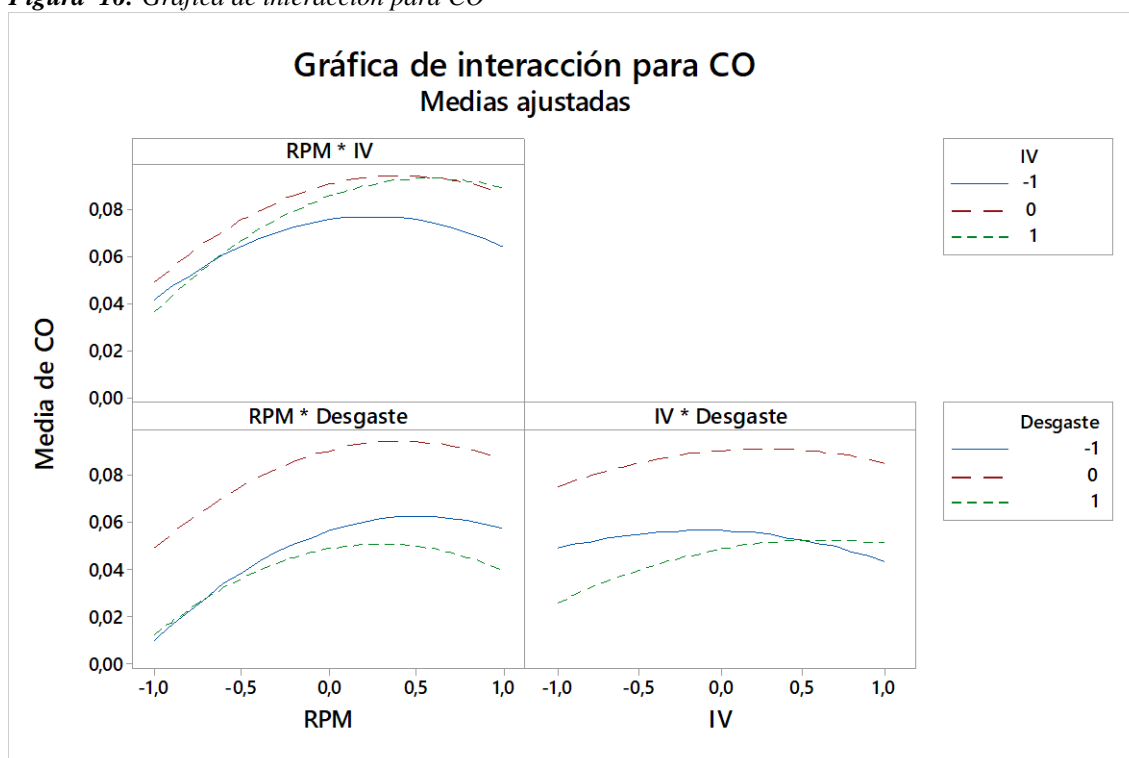


Tabla 17: ANOVA para el modelo cuadrático para CO

	Suma de cuadrados	df	Media cuadrática	F-valor	p-valor	
Modelo	0,0104	9	0,0012	8,57	0,0493	significante
A-RPM	0,0028	1	0,0028	20,83	0,9635	
B-Índice de Viscosidad	0,0002	1	0,0002	1,48	0,6835	
C- Desgaste	0,0001	1	0,0001	0,8333	0,3807	
AB	0,0002	1	0,0002	1,67	0,5270	
AC	0,0001	1	0,0001	0,7407	0,7479	
BC	0,0002	1	0,0002	1,67	0,4175	
A ²	0,0019	1	0,0019	13,85	0,0128	
B ²	0,0004	1	0,0004	2,74	0,4689	
C ²	0,0052	1	0,0052	38,46	0,0029	
Residual	0,0007	5	0,0001			
Falta de ajuste	0,0007	3	0,0002			
Error Puro	0,0000	2	0,0000			

Fuente: Elaboración Propia

El *F-valor* del modelo de 8,57, implica que el modelo es significativo. Sólo hay un 4,93% de posibilidades de que un *F-valor* tan grande puse deba al ruido.

El P – valor que sea inferior a 0,0500 muestran que para los términos del modelo son significativos. En este caso, A^2 y C^2 estos términos serán significativos del modelo. Los valores que sean superiores a 0,1591 revelan que los términos del modelo dejan de ser significativos. En el caso de que existan bastantes términos del modelo que no son significativos (esto puesto que sin referirse a los que se requieren para afirmar la jerarquía), la reducción del modelo puede mejorar el modelo.

En la Tabla 18 se observa un ajuste del modelo. El R^2 previsto posee un valor de 0,9383 no es un valor que se encuentra distante del R^2 ajustado de (0,8273) como se debería esperar por que tiene una diferencia de 0,11 esto indica que el modelo tiene un excelente desarrollo, la variación de la respuesta con valores extraños.

Tabla 18: Ajuste estadístico del modelo para CO

Desv. Estándar	0,0116	R^2	0,9383
Media	0,0527	R^2 Ajustado	0,8273
Coef. Var. %	22,06	R^2 Previsto	0,0802

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 19 los coeficientes que representan una variación de variables de salida esto se da según como vaya variando las variables de entrada. Este ajuste factor de inflación de la varianza (VIF), son valores mayores que 1,0000.

Tabla 19: Factores en términos de Factores Codificados para CO

Factor	Estimación del Coeficiente	df	Error estándar	VIF
Intercepción	0,0900	1	0,0067	
A-Desgaste	0,0187	1	0,0041	1,0000
B-Viscosidad	0,0050	1	0,0041	1,0000
C-Combustible	-0,0037	1	0,0041	1,0000
AB	0,0075	1	0,0058	1,0000
AC	-0,0050	1	0,0058	1,0000
BC	0,0075	1	0,0058	1,0000
A^2	-0,0225	1	0,0060	1,01
B^2	-0,0100	1	0,0060	1,01
C^2	-0,0375	1	0,0060	1,01

Fuente: Elaboración Propia

Se plantea una ecuación en base de los términos de factores recopilados que modela la emisión de monóxido de carbono (CO), el cual se mide en porcentaje de concentración (%). Esta ecuación matemática sirve para modelar el nivel para cada factor.

$$CO = 0,0900 + 0,0187A + 0,0050B - 0,0037C + 0,0075AB - 0,0050AC + 0,0075BC - 0,0225A^2 - 0,0100B^2 - 0,0375C^2$$

Ecuación 2

De donde:

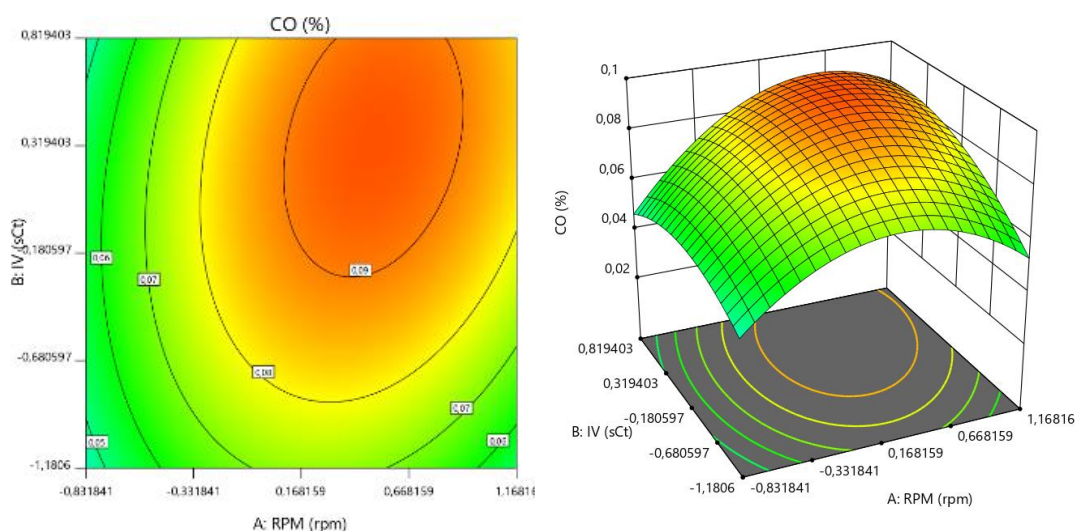
A: RPM

B: Índice de viscosidad

C: Desgaste

La variable de respuesta se obtiene el (CO) según la variación del índice de viscosidad vs desgaste, se puede tener una CO si son motores nuevos y con aceites de baja viscosidad se visualiza en la Figura 17.

Figura 17: Superficie de respuesta y contorno para CO: Índice de viscosidad vs Desgaste



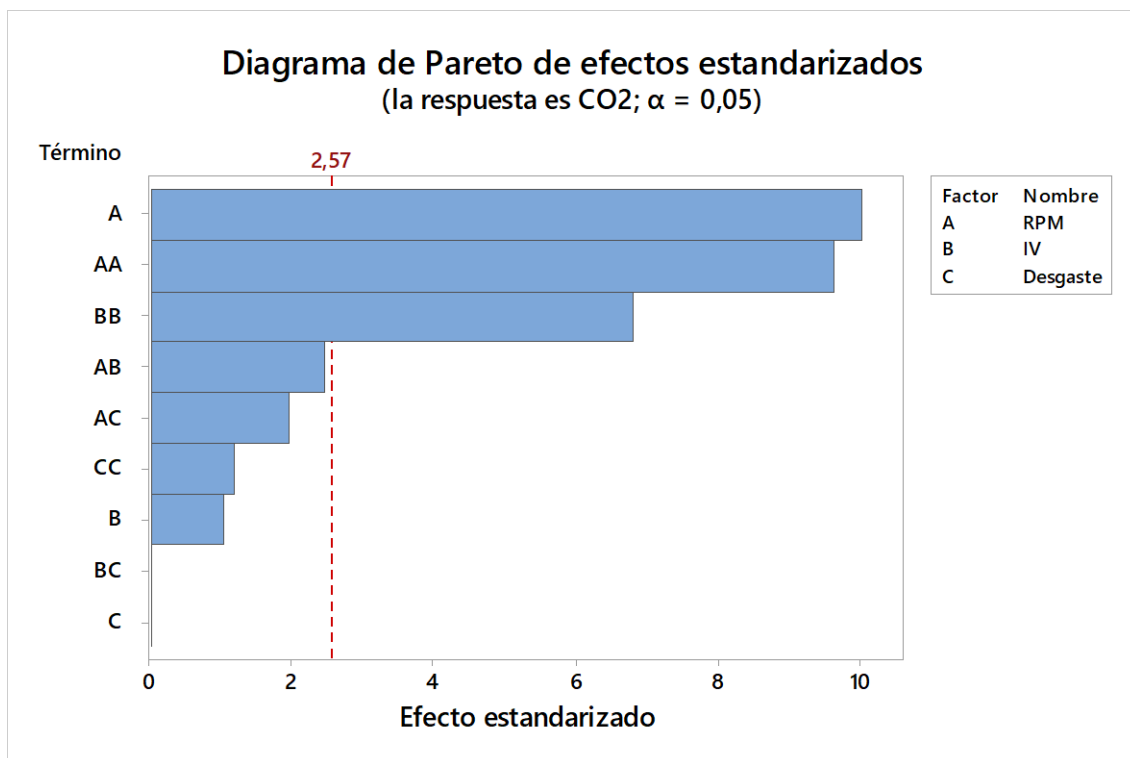
Fuente: Elaboración Propia

3.1.3. Modelo para Monóxido de Carbono (CO₂)

Se determinan los términos que contribuyen de una manera relevante en la variable de respuesta (CO₂). Se utiliza el diagrama de Pareto, de la Figura 18 para observar, dentro de los efectos principales, cuáles son las variables que representan mayor variabilidad a la respuesta de salida, en relación con su interacción. Con una referencia de 2.57 y una

significancia de un 0,05, se identifica que los efectos más significativos del modelo es el desgaste, el índice de viscosidad y la velocidad de giro del motor (RPM).

Figura 18: Diagrama de Pareto de efectos estandarizados

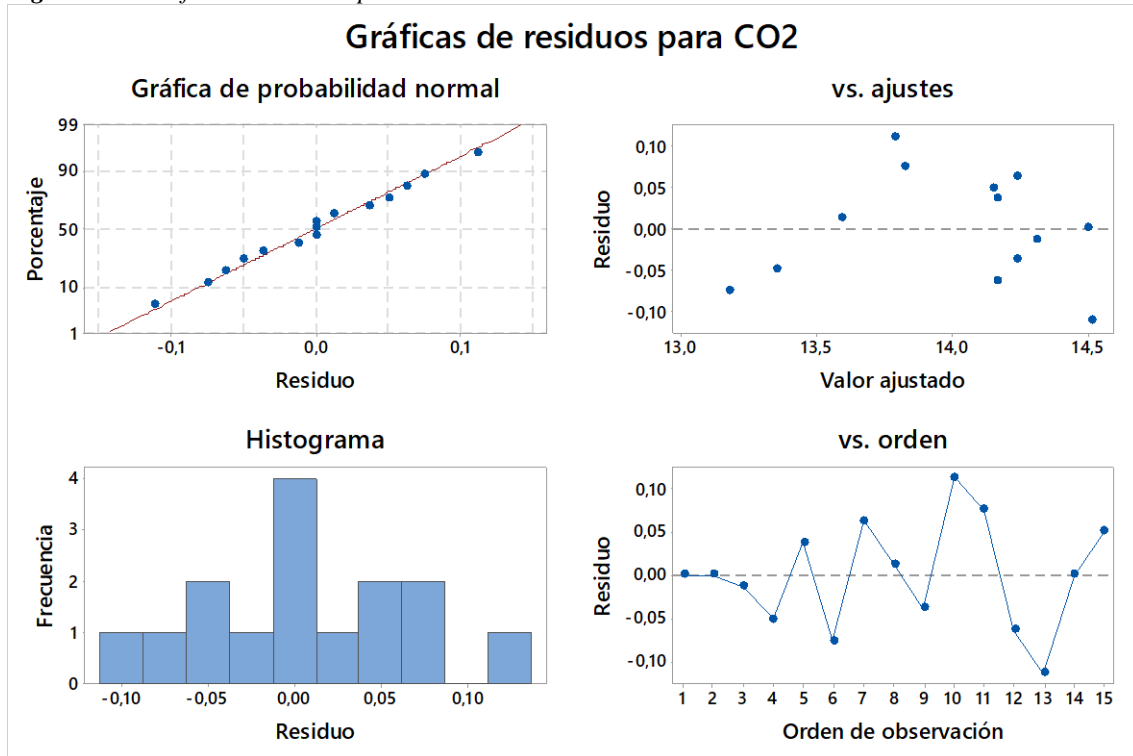


Fuente: Elaboración Propia

La grafica de residuos para CO₂, de la Figura 19, en la Figura de probabilidad normal, se indica como los residuos se ajustan a la recta, por tanto, cumple la suposición de normalidad de los datos, también reiterado por el histograma que muestra una simetría sin valores extraños. También se observa que los residuos son de manera aleatoria, por lo tanto, tienen una varianza constante. En la Figura en donde se visualiza el orden vs residuos se sintetiza la forma como fluctúan los valores cercanos de cero, al momento de la adquisición de los datos.

Con este análisis, se ve que la adquisición de los datos ha sido correcta, por lo que la aleatoriedad de las muestras se garantiza, en torno al diseño experimental.

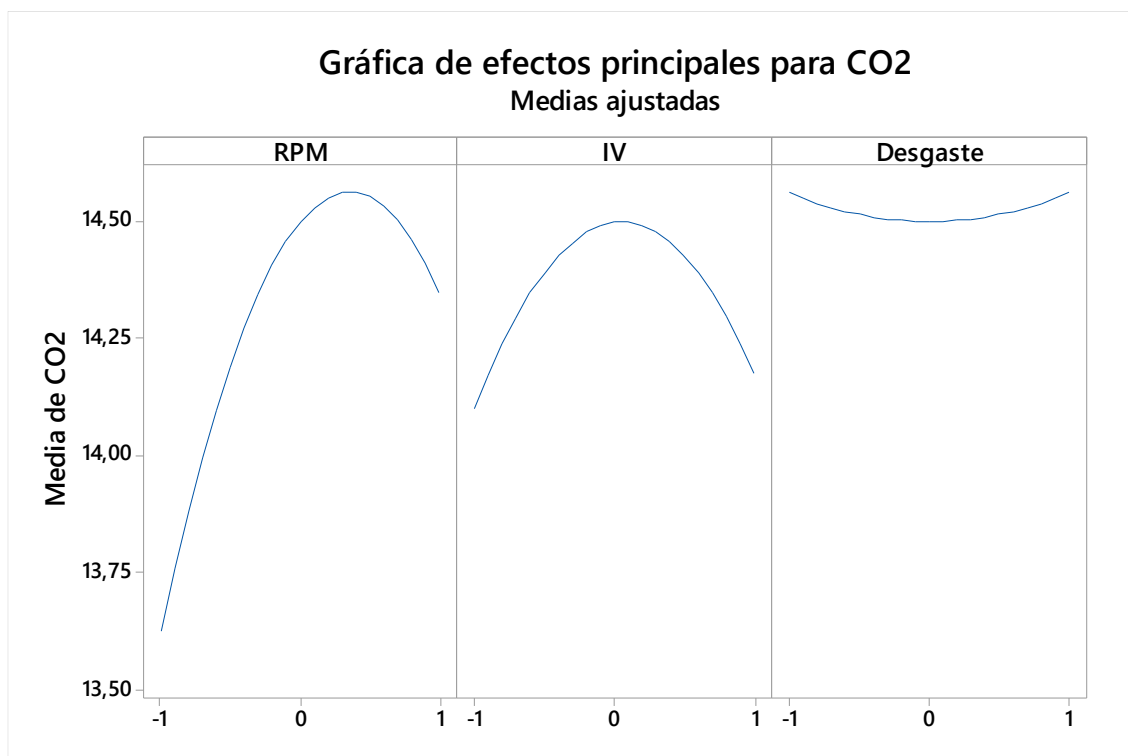
Figura 19: Gráfica de residuos para CO2



Fuente: Elaboración Propia

En la gráfica de efectos principales se considera una relación entre los predictores y la respuesta. Se logra observar que el índice de viscosidad y el desgaste no tiene similitudes por sus curvaturas dentro del rango colocado como mínimo y máximo. En conclusión, como no se tiene unas líneas horizontales los efectos principales son afectados en la respuesta de cada factor como se observa en la Figura 20.

Figura 20: Efectos principales para CO2



Fuente: Elaboración Propia

Se visualiza en la Tabla 20 la varianza con su análisis para el CO₂. Se estima el coeficiente de R^2 se aproxima al valor de 1 en este modelo de forma cuadrática.

Tabla 20: Análisis de Varianza para CO₂

	Desviación Estándar	P - Valor secuencial	Falta de ajuste p - valor	R^2	R^2 Ajustado	R^2 Previsto
Lineal	0,3779	0,1155		0,4035	0,2408	-0,0649
2FI	0,4284	0,9029		0,4424	0,0242	-1,0758
Cuadrática	0,1025	0,0005		0,9801	0,9442	0,6810
Cúbica	0,0000			1,0000	1,0000	

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 21 acumula la anexión de cuadrados del modelo que se realiza de manera secuencial. Se obtiene un polinomio de orden superior (cuadrático) aceptando una significancia de términos que se adicionan al modelo el cual no posea un pseudónimo.

Tabla 21: Modelo Secuencial Suma de cuadrados para CO₂

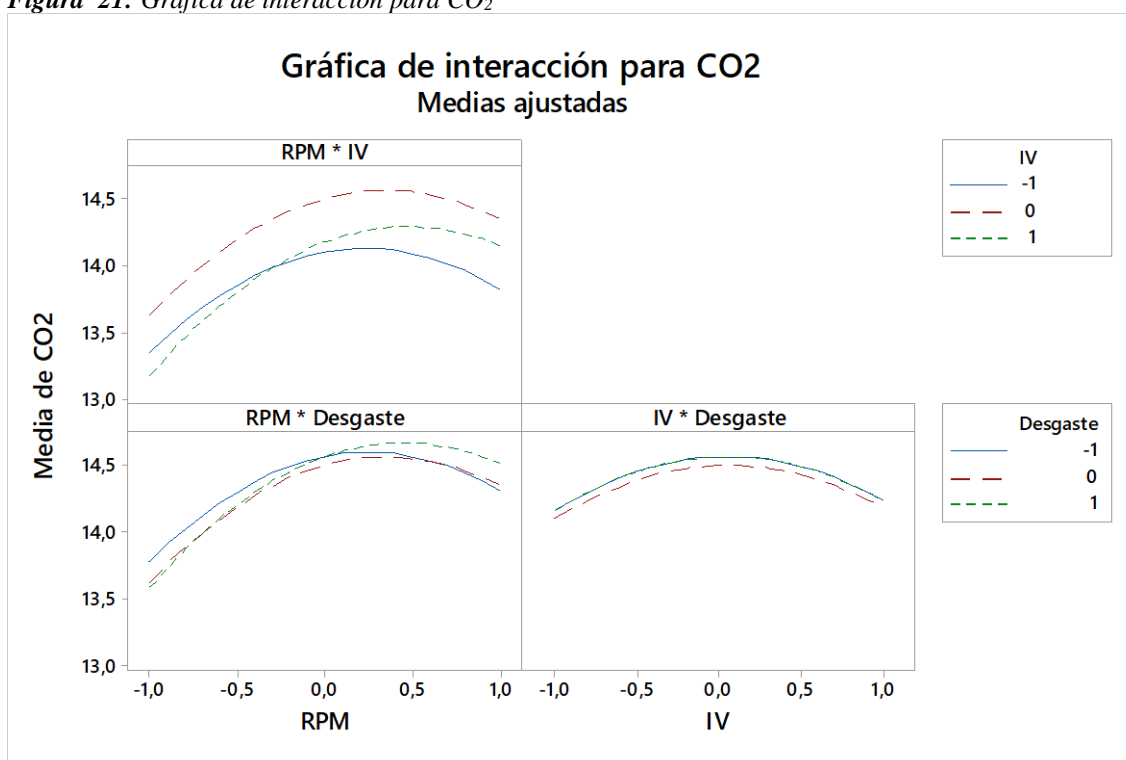
	Suma de cuadrados	df	Media cuadrática	F-valor	p-valor
Media vs Total	2968,07	1	2968,07		
Lineal vs Media	1,06	3	0,3542	2,48	0,1155

2FI vs Lineal	0,1025	3	0,0342	0,1862	0,9029
Cuadrática vs 2FI	1,42	3	0,4719	44,95	0,0005
Cúbica vs Cuadrática	0,0525	3	0,0175		
Residual	0,0000	2	0,0000		
Total	2970,70	15	198,05		

Fuente: Elaboración Propia

El análisis que se representa en las interacciones para el Dióxido de carbono (CO₂) donde se muestra la interacción de los factores de (índice de viscosidad* rpm y también del índice de viscosidad * desgaste), con lo que se demuestra que el *p* – *valor*, parte del análisis para la varianza ANOVA obteniendo un modelo cuadrático de la Tabla 22. Teniendo un valor estadístico para ponderar de un factor su significancia, por lo tanto, se obtendrá una significancia de menos de ($\alpha=0,005$) y la Figura 21.

Figura 21: Grafica de interacción para CO₂



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 22: ANOVA para el modelo cuadrático para CO₂

	Suma de cuadrados	df	Media cuadrática	F-valor	p-valor	
Modelo	2,58	9	0,2868	27,31	0,0010	significante
A-Desgaste	1,05	1	1,05	100,12	0,0002	
B-Viscosidad	0,0112	1	0,0112	1,07	0,3481	
C-Combustible	0,0000	1	0,0000	0,0000	1,0000	
AB	0,0625	1	0,0625	5,95	0,0587	
AC	0,0400	1	0,0400	3,81	0,1084	

BC	0,0000	1	0,0000	0,0000	1.0000
A ²	0,9698	1	0,9698	92,36	0,0002
B ²	0,4852	1	0,4852	46,21	0,0010
C ²	0,0144	1	0,0144	1,37	0,2940
Residual	0,0525	5	0,0105		
Falta de ajuste	0,0525	3	0,0175		
Error Puro	0,0000	2	0,0000		

Fuente: Elaboración Propia

El **F – valor** en el modelo, de 27,31, esto se debe a que el modelo tiene un valor es muy significativo. También para un solo 0,10% de posibilidades de que un valor F - tan grande pueda producirse esto se debe al ruido.

Los P – valores que sean menores a 0,0500 esto indica que los valores obtenidos del modelo serán significativos. Para el caso, A, A² y B² son términos tomados de manera significativa dentro del modelo. Para los valores que son superiores a 0,1000 esto indica que los términos del modelo no serán significativos. Si existen muchos más términos del modelo que no van a ser significativos (a esto sin contar los necesarios para afirmar la jerarquía), el reajuste del modelo puede mejorar el modelo los valores se puede observar.

En la Tabla 23 se observa un ajuste del modelo. El **R²** previsto posee un valor de 0,9383 no es un valor que se encuentra distante del **R² ajustado** de (0,8273) como se debería esperar por que tiene una diferencia de 0,11 esto indica que el modelo tiene un excelente desarrollo, la variación de la respuesta no tiene valores extraños.

Tabla 23: Ajuste estadístico del modelo para CO₂

Desv. Estándar	0,1025	R²	0,9383
Media	14,07	R² Ajustado	0,8273
Coef. Var. %	0,7285	R² Previsto	0,0802

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 24 los coeficientes que representan una variación de variables de salida esto se da según como vaya variando las variables de entrada. Este ajuste factor de inflación de la varianza (VIF), son valores iguales y mayores que 1,0000.

Tabla 24: Factores en términos de Factores Codificados para CO₂

Factor	Estimación del Coeficiente	df	Error estándar	VIF
---------------	-----------------------------------	-----------	-----------------------	------------

Intercepción	14,50	1	0,0592	
A-Desgaste	0,3625	1	0,0362	1,0000
B-Viscosidad	0,0375	1	0,0362	1,0000
C-Combustible	0,0000	1	0,0362	1,0000
AB	0,1250	1	0,0512	1,0000
AC	0,1000	1	0,0512	1,0000
BC	0,0000	1	0,0512	1,0000
A ²	-0,5125	1	0,0533	1,01
B ²	-0,3625	1	0,0533	1,01
C ²	0,0625	1	0,0533	1,01

Fuente: Elaboración Propia

Se plantea una ecuación en base de los términos de factores recopilados que modela la emisión de Dióxido de carbono (CO₂), el cual se mide en porcentaje de concentración (%). Esta ecuación matemática sirve para modelar el nivel para cada factor.

$$CO_2 = 14,50 + 0,3625A + 0,0375B + 0,0000C + 0,1000AB - 0,0000AC + 0,000BC - 0,5125A^2 - 0,3625B^2 - 0,0625C^2$$

Ecuación 3

De donde:

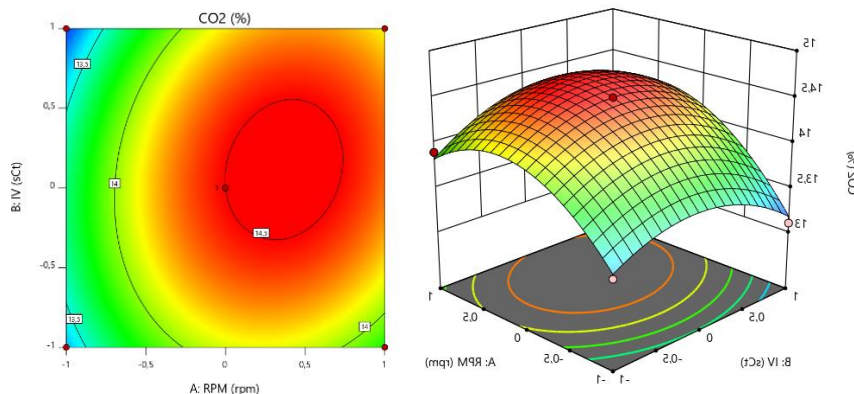
A: RPM

B: Índice de viscosidad

C: Desgaste

La variable de respuesta se obtiene el (CO₂) según la variación del índice de viscosidad vs desgaste, se puede tener una CO₂ si son motores nuevos y con aceites de baja viscosidad en la Figura 22.

Figura 22: Superficie de respuesta y contorno para CO₂: Índice de viscosidad vs Desgaste



Fuente: Elaboración Propia

3.1.4. Torque y potencia de un motor de combustión interna:

Para la potencia y torque se utilizó un banco dinamométrico donde se consiguieron los datos de potencia y torque, acorde al uso progresivo del aditivo, donde se pudo confirmar que el aditivo mejorador del índice de viscosidad en el lubricante se obtiene un mejor rendimiento mecánico del motor.

En la Tabla 25 observan los resultados de torque y potencia, obtenidos en el banco dinamométrico al incrementar de forma progresiva la concentración de aditivo en el aceite.

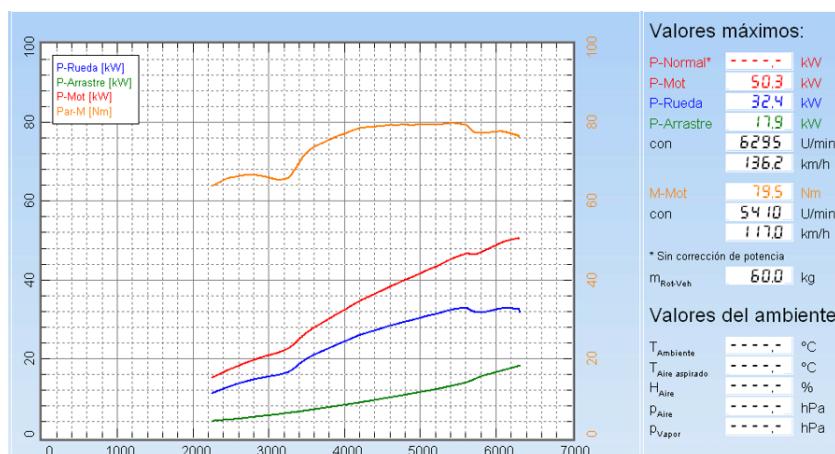
Tabla 25: Tabla de resultados del banco dinamométrico

% aditivo	Torque (Nm)	Potencia(kW)
0	79,5	50,3
50	74	49,1
100	73,6	47,5

Fuente: Elaboración Propia

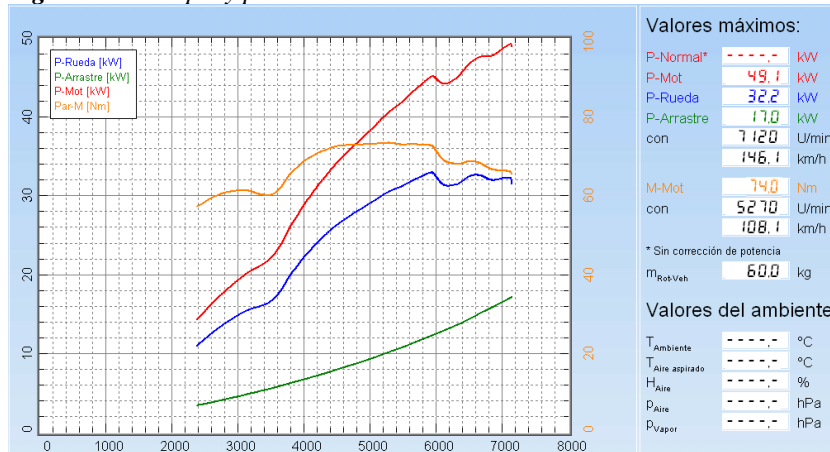
La Figura 23, muestra las curvas para la potencia de arrastre y la potencia del motor en las ruedas directrices. Se observan los valores obtenidos al realizar las pruebas en el banco dinamométrico. Sin aditivo se obtuvo una potencia de 50,3 kW y un torque de 79,5 Nm.

Figura 23: Torque y potencia con 0% de aditivo



Por su parte, la Figura 24, muestra las curvas para la potencia de arrastre y la potencia del motor en las ruedas directrices. Con un contenido del 50% de aditivo se obtuvo una potencia de 49,1 kW y un torque de 74 Nm.

Figura 24: Torque y potencia con 50% de aditivo



Finalmente, con un 100% de aditivo se obtuvo una potencia de 47,5 kW y un torque de 73,6 Nm (Figura 25).

Figura 25: Torque y potencia con 100% de aditivo





Conclusiones

El presente proyecto técnico nace tras el planteamiento de su objetivo general “*analizar de influencia de los aditivos mejoradores para el índice de viscosidad emisiones contaminantes, torque y potencia de un motor de combustión interna alternativo*”

El primer objetivo fue analizar el estado del arte para determinar las metodologías aplicables al presente caso de estudio. Este objetivo se ha cumplido al plantear a la Metodología de Superficie de Respuesta como diseño experimental para correlacionar las variables que inciden en las emisiones contaminantes cuando se usa un aditivo mejorador del índice de viscosidad. Son varios los autores que aplican esta metodología a motores de combustión interna para el estudio y reducción de emisiones por la versatilidad que tiene el modelo.

El segundo objetivo específico fue generar un registro de muestreo basado en un diseño experimental de superficie de respuesta para la obtención de datos en el analizador de gases y banco dinamométrico. Para ello, resulta vital determinar las variables de entrada y salida, así como cada uno de sus niveles. Las variables de entrada fueron: la velocidad de giro del motor, el estado mecánico del mismo y la concentración del aditivo mejorador del índice de viscosidad. Como respuesta a la interacción de estas variables se llegó a determinar la respuesta entorno a las emisiones contaminantes, potencia y torque del motor. Con estas variables definidas se plantea un diseño experimental basado en la superficie de respuesta a través del modelo Box – Benkhen con el fin de obtener un orden aleatorio al momento de la obtención de las muestras.

Finalmente se planteó analizar el comportamiento del torque, potencia y emisiones contaminantes, durante la variación iterativa de las distintas variables que afectan el

comportamiento del motor, evaluando los resultados obtenidos. El resultado de este objetivo se da mediante la obtención de los modelos matemáticos que estiman la emisión de gases contaminantes, potencia y torque tras el uso de un aditivo mejorador del índice de viscosidad.

Referencias Bibliográficas

- [1] F. Payri González and J. M. Desantes Fernández, *Motores de combustión interna alternativos*. Editorial Universitat politècnica de valencia, 2011.
- [2] L. P. C. Yanchatipan, J. E. G. Maila, J. F. Ñ. Loachamin, and E. J. S. Plaza, “Caracterización tribológica en combinación con varios aceites y aditivos lubricantes en sistemas automotrices,” *Dominio las Ciencias*, vol. 7, no. 4, p. 4, 2021.
- [3] N. Dimitrakopoulos and M. Tunér, “Evaluation of engine efficiency, emissions and load range of a PPC concept engine, with higher octane and alkylate gasoline,” *Fuel*, vol. 275, p. 117955, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.117955>.
- [4] E. Höglund, “Influence of lubricant properties on elastohydrodynamic lubrication,” *Wear*, vol. 232, no. 2, pp. 176–184, 1999, doi: [https://doi.org/10.1016/S0043-1648\(99\)00143-X](https://doi.org/10.1016/S0043-1648(99)00143-X).
- [5] A. Alagumalai, “Internal combustion engines: Progress and prospects,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 38, pp. 561–571, Oct. 2014, doi: [10.1016/J.RSER.2014.06.014](https://doi.org/10.1016/J.RSER.2014.06.014).
- [6] J. A. Á. Flórez and I. C. Agramunt, *Motores alternativos de combustión interna*. Universitat Politecnica de Catalunya. Iniciativa Digital Politecnica, 2005.
- [7] J. J. P. Arregle *et al.*, *Procesos y tecnología de máquinas y motores térmicos*. Editorial Universitat Politècnica de València, 2020.
- [8] H. Neukirchner, M. Kramer, and T. Ohnesorge, “The controlled vane-type oil pump for oil supply on demand for passenger car engines,” SAE Technical

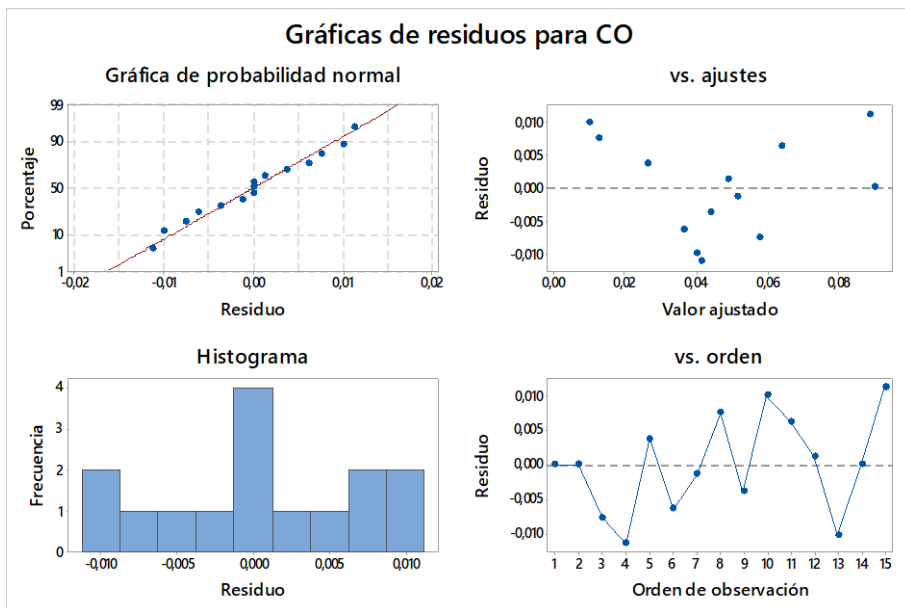
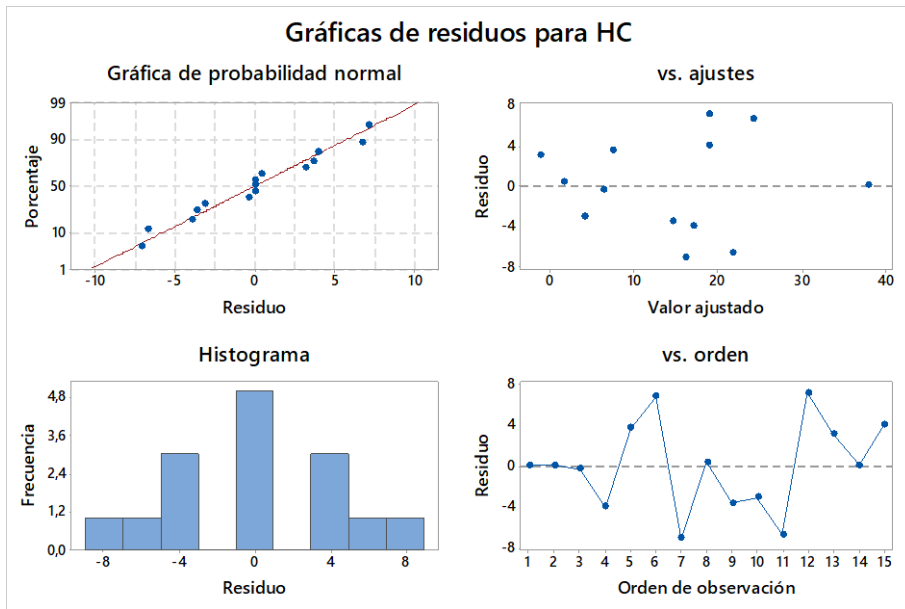
- Paper, 2002.
- [9] A. K. Goyal and R. W. Willyoung, “Engine oil filter performance with synthetic and mineral oils,” SAE Technical Paper, 1985.
- [10] F. Xiaofen, S. Xiaohu, and X. Shungen, “Influence of air content on pressure fluctuation in oil reservoir of internal combustion engine oil pump,” *Mod. Manuf. Eng.*, vol. 456, no. 9, p. 21, 2018.
- [11] M. Rundo and N. Nervegna, “Lubrication pumps for internal combustion engines: a review,” *Int. J. Fluid Power*, vol. 16, no. 2, pp. 59–74, 2015.
- [12] C. G. Saravanan *et al.*, “Experimental study of feasibility of orange peel oil as a partial replacement for gasoline fuel in SI engine with and without MAO coated piston,” *Fuel*, vol. 315, May 2022, doi: 10.1016/j.fuel.2022.123173.
- [13] L. R. Rudnick, *Synthetics, mineral oils, and bio-based lubricants: chemistry and technology*. CRC press, 2020.
- [14] S. Verdier, J. A. P. Coutinho, A. M. S. Silva, O. F. Alkilde, and J. A. Hansen, “A critical approach to viscosity index,” *Fuel*, vol. 88, no. 11, pp. 2199–2206, 2009, doi: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2009.05.016>.
- [15] C. Gómez Herrera, “Detergencia. Sus principales mecanismos,” 1996.
- [16] M. C. Díaz Alvarez and S. M. Guerrero Arrelucea, “Influencia del índice de acidez en el poder calorífico del biodiesel, obtenido a partir de aceites reciclados de cocina,” 2018.
- [17] C. Sayin and M. K. Balki, “Effect of compression ratio on the emission, performance and combustion characteristics of a gasoline engine fueled with iso-butanol/gasoline blends,” *Energy*, vol. 82, pp. 550–555, Mar. 2015, doi: 10.1016/j.energy.2015.01.064.
- [18] M. K. A. Ali *et al.*, “Fuel economy in gasoline engines using Al₂O₃/TiO₂ nanomaterials as nanolubricant additives,” *Appl. Energy*, vol. 211, pp. 461–478, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.11.013>.
- [19] E. R. Tapia Manrique, “Composición química, actividad antioxidante y antiCandida albicans del aceite esencial de Clinopodium pulchellum (Kunth)

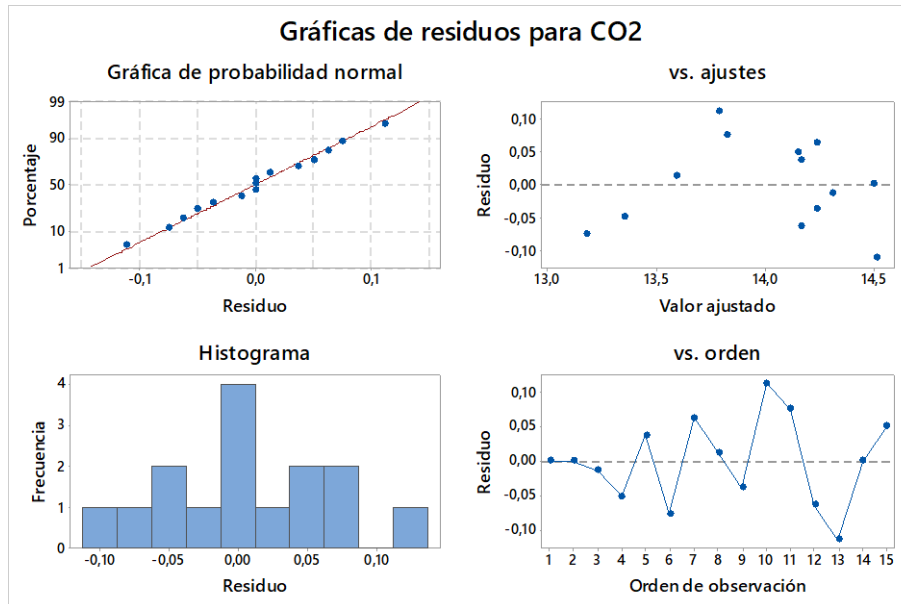
- Govaerts ‘panizara,’” 2018.
- [20] W. C. Nadaleti and G. Przybyla, “NO_x, CO and HC emissions and thermodynamic-energetic efficiency of an SI gas engine powered by gases simulated from biomass gasification under different H₂ content,” *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 45, no. 41, pp. 21920–21939, 2020.
- [21] C. Chen, K. Xu, X. Ji, L. Miao, and J. Jiang, “Enhanced adsorption of acidic gases (CO₂, NO₂ and SO₂) on light metal decorated graphene oxide,” *Phys. Chem. Chem. Phys.*, vol. 16, no. 22, pp. 11031–11036, 2014.
- [22] J. B. Joshi, V. V Mahajani, and V. A. Juvekar, “Invited review absorption of NO_x gases,” *Chem. Eng. Commun.*, vol. 33, no. 1–4, pp. 1–92, 1985.
- [23] V. Selimovic, R. J. Yokelson, G. R. McMeeking, and S. Coefield, “In situ measurements of trace gases, PM, and aerosol optical properties during the 2017 NW US wildfire smoke event,” *Atmos. Chem. Phys.*, vol. 19, no. 6, pp. 3905–3926, 2019.
- [24] M. Elkelawy *et al.*, “Maximization of biodiesel production from sunflower and soybean oils and prediction of diesel engine performance and emission characteristics through response surface methodology,” *Fuel*, vol. 266, p. 117072, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.117072>.
- [25] M. A. Bezerra, R. E. Santelli, E. P. Oliveira, L. S. Villar, and L. A. Escalera, “Response surface methodology (RSM) as a tool for optimization in analytical chemistry,” *Talanta*, vol. 76, no. 5, pp. 965–977, 2008, doi: <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2008.05.019>.
- [26] O. I. Awad *et al.*, “Response surface methodology (RSM) based multi-objective optimization of fusel oil -gasoline blends at different water content in SI engine,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 150, pp. 222–241, 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.07.047>.
- [27] S. G. Sigarchian, R. Paleta, A. Malmquist, and A. Pina, “Feasibility study of using a biogas engine as backup in a decentralized hybrid (PV/wind/battery) power generation system - Case study Kenya,” *Energy*, vol. 90, pp. 1830–1841, 2015, doi: [10.1016/j.energy.2015.07.008](https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.07.008).

- [28] D. F. McCarthy, E. Gallagher, T. R. Gormley, T. J. Schober, and E. K. Arendt, “Application of response surface methodology in the development of gluten-free bread,” *Cereal Chem.*, vol. 82, no. 5, pp. 609–615, 2005.

ANEXO I

GRAFICAS DE RESIDUOS





ANEXO II

GRAFICAS DE EFECTOS PRINCIPALES

