



Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), Noviembre-Diciembre 2025,
Volumen 9, Número 6.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i6

APLICACIÓN DE UN DISEÑO EXPERIMENTAL PARA EL ESTUDIO DEL ADELGAZAMIENTO DEL ACEITE PARA MOTOR, MEDIANTE EL ANÁLISIS DE LA VISCOSIDAD PARA DETERMINAR SU EFICIENCIA.

**APPLICATION OF AN EXPERIMENTAL DESIGN FOR THE STUDY OF
ENGINE OIL THINNING, THROUGH VISCOSITY ANALYSIS TO
DETERMINE ITS EFFICIENCY.**

Alejandro Rojas Ayala

Tecnológico Nacional de México / IT de Zacatepec

Roberto Carlos Cárdenas Valdez

Tecnológico Nacional de México / IT de Zacatepec

Luis Alberto Arau Roffiel

Tecnológico Nacional de México / IT de Zacatepec

Nicolas Domínguez Reyes

Tecnológico Nacional de México / IT de Zacatepec

Iris Lizeth Hernández Solís

Tecnológico Nacional de México / IT de Zacatepec

Ricardo Rodríguez Robledo

Tecnológico Nacional de México / IT de Zacatepec

Abel Flores Moreno

Tecnológico Nacional de México / IT de Zacatepec

DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i6.22050

Aplicación de un Diseño Experimental para el Estudio del Adelgazamiento del aceite para motor, mediante el Análisis de la Viscosidad para determinar su eficiencia.

Alejandro Rojas Ayala¹alejandro.ra@zacatepec.tecnm.mx<https://orcid.org/0000-0003-0403-6169>Tecnológico Nacional de México / IT de
ZacatepecAv. Tecnológico No. 27, Col. Centro, Zacatepec
Morelos, C.P. 62780, México.**Roberto Carlos Cárdenas Valdez**roberto.cv@zacatepec.tecnm.mx<https://orcid.org/0000-0003-1813-0092>Tecnológico Nacional de México / IT de
ZacatepecAv. Tecnológico No. 27, Col. Centro, Zacatepec
Morelos, C.P. 62780, México.**Luis Alberto Arau Roffiel**Luis.ar@zacatepec.tecnm.mx<https://orcid.org/0000-0002-7795-8052>Tecnológico Nacional de México / IT de
ZacatepecAv. Tecnológico No. 27, Col. Centro, Zacatepec
Morelos, C.P. 62780, México.**Nicolas Domínguez Reyes**nicolas.dr@zacatepec.tecnm.mx<https://orcid.org/0009-0004-7282-0988>Tecnológico Nacional de México / IT de
ZacatepecAv. Tecnológico No. 27, Col. Centro, Zacatepec
Morelos, C.P. 62780, México.**Iris Lizeth Hernández Solís**Iris.hs@zacatepec.tecnm.mx<https://orcid.org/0009-0006-5479-1532>Tecnológico Nacional de México / IT de
ZacatepecAv. Tecnológico No. 27, Col. Centro, Zacatepec
Morelos, C.P. 62780, México.**Ricardo Rodríguez Robledo**r.rr@zacatepec.tecnm.mx<https://orcid.org/0009-0004-7976-6187>Tecnológico Nacional de México / IT de
ZacatepecAv. Tecnológico No. 27, Col. Centro, Zacatepec
Morelos, C.P. 62780, México.**Abel Flores Moreno**abel.fm@zacatepec.tecnm.mx<https://orcid.org/0009-0008-3833-167X>Tecnológico Nacional de México / IT de
ZacatepecAv. Tecnológico No. 27, Col. Centro, Zacatepec
Morelos, C.P. 62780, México.

¹ Autor principalCorrespondencia: alejandro.ra@zacatepec.tecnm.mx

RESUMEN

En el presente trabajo se realizó el análisis de lo que son los Diseños de Experimentos (DOE) en específico un DOE Factorial 2^3 factores, con relación al estudio del adelgazamiento del aceite para motor, mediante el Análisis de la Viscosidad para determinar su eficiencia. Se sometió el tipo de aceite a tres diferentes pruebas (Factores), las cuales son: Temperatura (A), Concentración (B) y Tiempo (C), y de esta forma obteniendo los valores que nos den la efectividad de que el diseño aplicado es el idóneo y considerando que los valores registrados influyen en la variable de interés de estudio. Se utilizaron del factor Temperatura 2 niveles, así como, diferentes Concentraciones (2 niveles) a diversos Tiempos (2 niveles), para observar que efecto significativo se tiene sobre el adelgazamiento de un aceite de motor, respecto a su viscosidad. Se usó un modelo estadístico que nos permitió desarrollar un mejor DOE Factorial de 2^3 factores con dos replicas, la cual se obtuvo al realizar la fase experimental con los factores ya mencionados. Las consideraciones que se tomaron fueron, la identificación del problema y definición de los objetivos, elección de los factores y los niveles a tratar, además, de la selección de la variable de respuesta, elección del diseño experimental, ejecución de la parte experimental, análisis estadístico de los datos, así como, mejoras y control del proceso, toma de decisiones y conclusión. Por lo que los DOE son una herramienta tan concurrida en el ámbito educativo e industrial que permite al investigador ser más eficiente y productivo en la toma de decisiones.

Palabras clave: diseño de experimentos; viscosidad; temperatura; aceite de motor



Application of an Experimental Design for the Study of Engine Oil Thinning, through Viscosity Analysis to determine its efficiency.

ABSTRACT

This study analyzes Designs of Experiments (DOEs), specifically a 2^3 -factor factorial DOE, to study the thinning of motor oil using viscosity analysis to determine its efficiency. The oil sample was subjected to three different tests (factors): Temperature (A), Concentration (B), and Time (C). The resulting values were used to confirm the suitability of the applied design and to assess its influence on the variable of interest. Two levels of temperature, two levels of concentration, and two levels of time were used to observe the significant effect of each on the thinning of motor oil relative to its viscosity. A statistical model was used to develop a more refined 2^3 -factor factorial DOE with two replicates, which was obtained by conducting the experimental phase with the aforementioned factors. The considerations taken into account were problem identification and objective definition, selection of factors and levels to be addressed, selection of the response variable, choice of experimental design, execution of the experimental phase, statistical analysis of the data, process improvements and control, decision-making, and conclusion. Therefore, Design of Experiments (DOE) is such a widely used tool in the educational and industrial fields that it allows researchers to be more efficient and productive in their decision-making.

Keywords: Design of Experiments; Viscosity; Temperature; Motor Oil.

Artículo recibido 20 octubre 2025

Aceptado para publicación: 15 noviembre 2025



INTRODUCCIÓN

Cuando nos enfrentamos a la elección del lubricante adecuado para el motor de nuestro vehículo, hay un factor fundamental a considerar, y que se pasa por alto, es el índice de viscosidad. La Razón es sencilla, ya que es vital para garantizar que nuestro motor este en optimas condiciones. En esencia, la viscosidad es lo que determina el espesor y la resistencia de esta película de aceite que actúa como escudo protector. El verdadero trabajo del índice de viscosidad es asegurar que esta película lubricante limite no se rompa, incluso cuando las piezas internas se mueven a alta velocidad y enfrenta diferentes temperaturas y presiones. Lamentablemente, el problema de fondo es la falta de información o la actitud de los dueños de los vehículos que optan por cualquier de tipo de lubricante, buscando normalmente, el más económico. Por otra parte, la falta de una buena lubricación en el motor de combustión interna, puede desencadenar un desgaste excesivo que compromete directamente las piezas metálicas sometidas a condiciones críticas de presión y temperatura (Arboleda Serrano & Hidalgo Meneses, 2024; Espinoza Segarra, 2012; Guamán Albarracín & Ávila Pesántez, 2020; Moran Velásquez, 2022).

Por otra parte la viscosidad puede analizarse desde el punto de condiciones variables, por ejemplo, cuando un lubricante es sometido a altas presiones, se debe determinar diversas propiedades; como el coeficiente viscosidad-presión, coeficiente viscosidad-temperatura. Para estos casos es importante considerar el desarrollo y la calibración de técnicas viscométricas avanzadas, como el viscosímetro de bola rodante y viscosímetro de caída de cuerpo, ya que permiten hacer mediciones en amplios rangos de presión y temperatura. En el caso de la industria petrolera, la alta viscosidad de los crudos y extrapesados (clasificados generalmente con gravedades API entre 10° API y 22.3° API o menor a 10° API respectivamente), una solución para estos casos es la adición de soluciones poliméricas a base de agua como aditivos reductores de la viscosidad, aunque también la viscosidad de estos crudos la podemos reducir al aumentarle temperatura. Así mismo, la degradación y la vida útil de un lubricante de motor de vehículos pesados (como autobuses a diésel), es influida por factores como la temperatura del motor, filtración de aire y combustible, la degradación química (oxidación, nitración, sulfatación), para estos casos el análisis a realizar, es la medición de viscosidad cinemática a 100°C (CARRERA DE INGENIERÍA EN PETRÓLEOS TEMA : TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR VERONICA JOMAIRA SOLEDISPA SALTOS TUTOR :, 2023; Inyección de Emulsión Agua / Aceite , Como Método



de Recuperación Mejorada En Un Yacimiento de Aceite Pesado En El Sureste de México, 2023; Universidad Del Azuay Facultad de Ciencia y Tecnología, 2012; Méndez, 2012)

El principal objetivo central en un aceite, es evaluar la degradación del lubricante y la presencia de contaminantes para poder diagnosticar tempranamente futuras fallas en los componentes mecánicos internos de un motor. Es sabido que el lubricante no solo reduce la fricción y evita un desgaste excesivo, Esino también refrigera, amortigua golpes, minimiza depósitos y sella la cámara de combustión. Por otra parte, la vida útil de los lubricantes se ve comprometida por la severidad de la carga, los cambios químicos y el porcentaje de contaminación. Diversos estudios que se han realizado son: la problemática intrínseca de la lubricación, la evaluación de la degradación, el análisis de contaminantes, la identificación y cuantificación de las partículas presentes en el aceite. Con este conocimiento, que es obtenido a partir del análisis fisico-químico, podremos aplicar diversas técnicas que nos ayuden a aumentar la fiabilidad de los equipos, motores a gasolina, motores a diesel, etc., reduciendo los costos de mantenimiento y mejorando la disponibilidad de los mismos (*DIAGNÓSTICO DE MOTORES DIESEL MEDIANTE EL ANÁLISIS DEL ACEITE USADO* Bernardo Tormos Dr. Ingeniero Industrial, n.d.; Pablo et al., n.d.; Silva, 2017; Vinicio et al., 2023).

Cuando describimos un diseño de experimentos con tres factores (A, B, C), es porque combinamos todos los niveles de tres variables independientes, con el objetivo de analizar sus efectos individuales y sus posibles interacciones (AB, AC, BC, ABC), sobre una variable independiente, usando un número total de tratamientos que es el productos de sus niveles ($a \times b \times c$), con réplicas para poder estimar su error, analizando todo esto con un ANOVA de tres vías, para poder determinar cuáles factores y combinaciones son estadísticamente significativos (Montgomery, 2017; Tang & Zhang, 2013).

Para simular condiciones en tiempo real, podemos utilizar un diseño de experimentos factorial, capaz de manipular diferentes variables como porcentajes de mezcla, revoluciones por minuto del motor y carga aplicada, por poner un ejemplo. El análisis efectuado aplicando un diseño experimental para adelgazamiento de un aceite de motor, mediante el análisis de la viscosidad del mismo, podremos determinar su efectividad, empleando los diferentes factores a analizar, como son: la temperatura diámetro del balín y densidad del aceite. Así mismo la metodología que se propone es basada en una análisis estadístico, validada por la ANOVA (Análisis de la Varianza), con el fin de determinar el mejor



comportamiento de dos aceites de motor de diferentes marcas (*Centro Universitario Querétaro, Qro. Noviembre, 2018.*, 2018; *No Title*, 2008; García-Díaz et al., 2013; Ingeniería et al., 2016; Ingeniería & Automotriz, 2021; Issn, 2004).

METODOLOGÍA

En este trabajo de investigación, se analiza la viscosidad del aceite para motor y el efecto que puede generarse debido a la interacción con otros factores. Se consideran 3 factores, los cuales son: A – Tipo de Aceite con 2 niveles, el factor B – Diametro del Balín con 2 niveles y el factor C – Temperatura, tambien con 2 niveles. Por lo tanto, se supone que se consideraron que a = 2 niveles para el factor A, b = 2 niveles para el factor B y c = 2 niveles para el factor C, de esta forma tenemos un arreglo de 2x2x2 y se toma la decisión de aplicar un DOE Factorial 2³. Es pertinente mencionar que se utilizo un modelo estadístico con dos replicas para resolver la parte de nuestra problemática.

El Modelo Estadístico se expresa de la siguiente forma considerando los efectos:

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\alpha\beta\gamma)_{ijk} + \varepsilon_{ijkl}$$

Donde:

$$i = 1, 2, \dots, a; j = 1, 2, \dots, b; k = 1, 2, \dots, c; l = 1, 2, \dots, n$$

Las Hipótesis se plantean de la iguiente manera y se prueban con la ANOVA:

$$H_0: \alpha_1 = \alpha_2 \dots = \alpha_a = 0$$

$$H_0: \beta_1 = \beta_2 \dots = \beta_b = 0$$

$$H_0: \gamma_1 = \gamma_2 \dots = \gamma_c = 0$$

$$H_1: \alpha_i \neq 0 \text{ para algún } i$$

$$H_1: \beta_j \neq 0 \text{ para algún } j$$

$$H_1: \gamma_k \neq 0 \text{ para algún } k$$

$$H_0: (\alpha\gamma)_{ik} = 0 \text{ para todo } ik$$

$$H_0: (\beta\gamma)_{jk} = 0 \text{ para todo } jk$$

$$H_0: (\alpha\beta)_{ij} = 0 \text{ para todo } ij$$

$$H_1: (\alpha\gamma)_{ik} \neq 0 \text{ para algún } ik$$

$$H_1: (\beta\gamma)_{jk} \neq 0 \text{ para algún } jk$$

$$H_1: (\alpha\beta)_{ij} \neq 0 \text{ para algún } ij$$

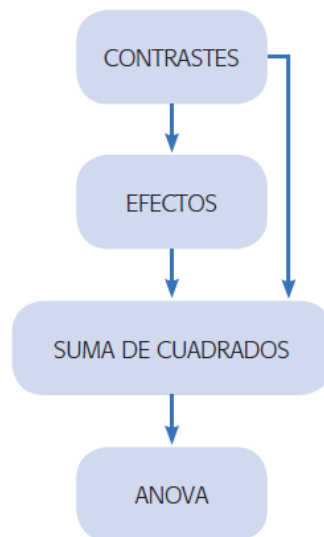
$$H_0: (\alpha\beta\gamma)_{ijk} = 0 \text{ para todo } ijk$$

$$H_1: (\alpha\beta\gamma)_{ijk} \neq 0 \text{ para algún } ijk$$

Para obtener la Tabla ANOVA se necesita calcular la Suma de Cuadrados de cada uno de los Efectos como se ilustra en la siguiente Figura 1.

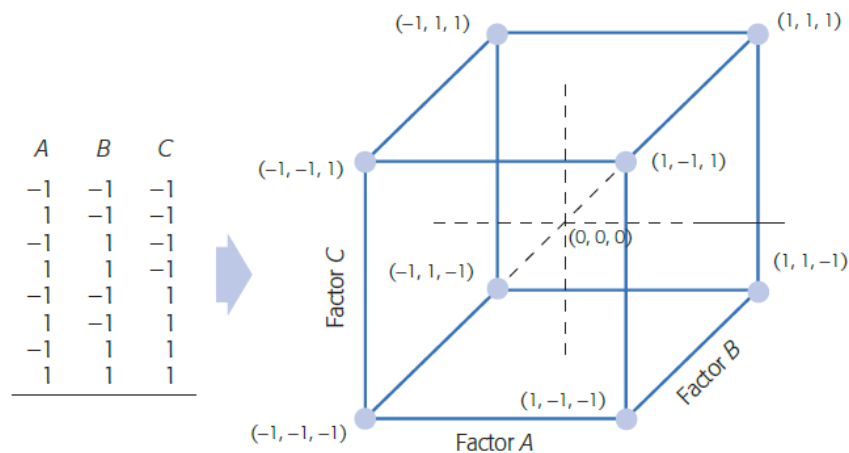
Figura 1. Pasos para obtener la ANOVA de un diseo 2³.





Tomando en consideración a (Gutiérrez Pulido, 2012), con este diseño se pudo estudiar los $2^3 - 1 = 7$ Efectos. De los cuales se tienen A, B, y C como Efectos principales, las respectivas interacciones de los Factores AB, AC y BC, y una interacción triple ABC. Tal y como se muestra de manera gráfica en la Figura 2.

Figura 2. DOE Factorial 2^3 su representación geométrica y tabla de signos.



Por lo tanto, apartir de los factores a estudiar A, B y C, se obtienen los 8 tratamientos estándar (1), a, b, c, ab, ac, bc, abc. Los efectos en este diseño se calcularon a partir de la tabla de signos que se muestra en la Figura xx representada por la notación Yates.

Los Contrastes obtenidos se muestran en la parte de Resultados de este trabajo de investigación, mientras que los Efectos y Sumas de Cuadrados se obtienen de la siguiente manera:

$$Efecto_A = \frac{CONTRASTE_A}{n2^{k-1}}$$

$$SC_{EFECTO} = \frac{(CONTRASTE_{EFECTO})^2}{n2^k}$$

$$SC_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^n Y_{ijkl}^2 - \frac{Y_{...}^2}{n2^k}$$

$$SC_E = SC_T - SC_A - SC_B - SC_C - SC_{AB} - SC_{AC} - SC_{BC} - SC_{ABC}$$

Los resultados obtenidos por medio del Método de Mínimos Cuadrados se calculan de las formulas y se representan en la Tabla 1 ANOVA siguiente. Fijado un nivel de significancia α se rechaza H_0 correspondiente mediante la condición de que, si $F_0 > F_\alpha$.

Tabla 1. ANOVA de un DOE Factorial 2^3 .

<i>F.V.</i>	<i>SC</i>	<i>GL</i>	<i>CM</i>	<i>F₀</i>
<i>Aceite A</i>	SC_A	a-1	$CM_A = SC_A/(a-1)$	CM_A / CM_E
<i>Diametro B</i>	SC_B	b-1	$CM_B = SC_B/(b-1)$	CM_B / CM_E
<i>Temperatura C</i>	SC_C	c-1	$CM_C = SC_C/(c-1)$	CM_C / CM_E
<i>Interacción AB</i>	SC_{AB}	(a-1)(b-1)	$CM_{AB} = SC_{AB}/(a-1)(b-1)$	CM_{AB} / CM_E
<i>Interacción AC</i>	SC_{AC}	(a-1)(c-1)	$CM_{AC} = SC_{AC}/(a-1)(c-1)$	CM_{AC} / CM_E
<i>Interacción BC</i>	SC_{BC}	(b-1)(c-1)	$CM_{BC} = SC_{BC}/(b-1)(c-1)$	CM_{BC} / CM_E
<i>Interacción ABC</i>	SC_{ABC}	(a-1)(b-1)(c-1)	$CM_{ABC} = SC_{ABC}/(a-1)(b-1)(c-1)$	$CM_{ABC} = CM_E$
<i>Error</i>	SC_E	$2^3 * (n-1)$	$CM_E = SCE / 2^3 * (n-1)$	
<i>Total</i>	SC_T	$n2^3 - 1$		

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 2 se muestran los resultados obtenidos del DOE Factorial 2^3 aplicado mediante la Notación Yates.



Tabla 2. Obtención de datos de la Variable de respuesta en laboratorio

<i>ACEITE (A)</i>	<i>DIA M (B)</i>	<i>TEMP P (C)</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>A B</i>	<i>A C</i>	<i>B C</i>	<i>AB C</i>	<i>VISCOSIDAD</i>		<i>TOTAL</i>	<i>NOTACIÓN YATES</i>
A1	B1	C1	-	-	-	+	+	+	-	218.3	223.8	442.1	(1)
A1	B2	C1	+	-	-	-	-	+	+	226.8	232.4	459.2	a
A1	B1	C2	-	+	-	-	+	-	+	219.7	223.1	442.8	b
A1	B2	C2	+	+	-	+	-	-	-	217.1	214.0	431.1	c
A2	B1	C1	-	-	+	+	-	-	+	209.9	216.8	426.7	ab
A2	B2	C1	+	-	+	-	+	-	-	228.2	231.7	459.9	ac
A2	B1	C2	-	+	+	-	-	+	-	209.2	206.2	415.4	bc
A2	B2	C2	+	+	+	+	+	+	+	217.7	228.9	446.6	abc

Al multiplicar la columna de los signos de la Notación Yates por la columna de los totales obtenemos los contrastes de los 7 Efectos:

$$\text{Contraste}_A = [a + ab + ac + abc - (1) - b - c - bc] =$$

$$459.2 + 426.7 + 459.9 + 446.6 - 442.1 - 442.8 - 431.1 - 415.4 = \mathbf{61}$$

$$\text{Contraste}_B = [b + ab + bc + abc - (1) - a - c - ac] =$$

$$442.8 + 426.7 + 415.4 + 446.6 - 442.1 - 459.2 - 431.1 - 459.9 = \mathbf{-60.8}$$



$$\text{Contraste}_C = [c + ac + bc + abc - (1) - a - b - ab] =$$

$$431.1 + 459.9 + 415.4 + 446.6 - 442.1 - 459.2 - 442.8 - 426.7 = -17.8$$

$$\text{Contraste}_{AB} = [ab - b - a + abc + (1) - bc - ac + c] =$$

$$426.7 - 442.8 - 459.2 + 446.6 + 442.1 - 415.4 - 459.9 + 431.1 = -30.8$$

$$\text{Contraste}_{AC} = [(1) - a + b - ab - c + ac - bc + abc] =$$

$$442.1 - 459.2 + 442.8 - 426.7 - 431.1 + 459.9 - 415.4 + 446.6 = 59$$

$$\text{Contraste}_{BC} = [(1) + a - b - ab - c - ac + bc + abc] =$$

$$442.1 + 459.2 - 442.8 - 426.7 - 431.1 - 459.9 + 415.4 + 446.6 = 2.8$$

$$\text{Contraste}_{ABC} = [abc - bc - ac + c - ab + b + a - (1)] =$$

$$446.6 - 415.4 - 459.9 + 431.1 - 426.7 + 442.8 + 459.2 - 442.1 = 35.6$$

Si se hacen $n=2$ réplicas de cada tratamiento los efectos del DOE Factorial 2^3 los estimamos dividiendo cada contraste entre $4n$, es decir $n2^k$ siendo $k=3$.

$$Efecto_A = \frac{CONTRASTE_A}{(2)(2^{3-1})} = \frac{61}{(4)(2)} = 7.62$$

$$Efecto_B = \frac{CONTRASTE_B}{(2)(2^{3-1})} = \frac{-60.8}{(4)(2)} = -7.6$$

$$Efecto_C = \frac{CONTRASTE_C}{(2)(2^{3-1})} = \frac{-17.8}{(4)(2)} = -2.225$$

$$Efecto_{AB} = \frac{CONTRASTE_{AB}}{(2)(2^{3-1})} = \frac{-30.8}{(4)(2)} = -3.85$$

$$Efecto_{AC} = \frac{CONTRASTE_{AC}}{(2)(2^{3-1})} = \frac{59}{(4)(2)} = 7.4$$

$$Efecto_{BC} = \frac{CONTRASTE_{BC}}{(2)(2^{3-1})} = \frac{2.8}{(4)(2)} = 0.35$$

$$Efecto_{ABC} = \frac{CONTRASTE_{ABC}}{(2)(2^{3-1})} = \frac{35.6}{(4)(2)} = 4.45$$

Las Sumas de Cuadrados se calcularon mediante la siguiente formula para cada Efecto:

$$SC_A = \frac{(CONTRASTE_A)^2}{(2)(2^3)} = \frac{61^2}{16} = 232.5625$$



$$SC_B = \frac{(CONTRASTE_B)^2}{(2)(2^3)} = \frac{(-60.8)^2}{16} = 231.04$$

$$SC_C = \frac{(CONTRASTE_C)^2}{(2)(2^3)} = \frac{(-17.8)^2}{16} = 19.8025$$

$$SC_{AB} = \frac{(CONTRASTE_{AB})^2}{(2)(2^3)} = \frac{(-30.8)^2}{16} = 59.29$$

$$SC_{AC} = \frac{(CONTRASTE_{AC})^2}{(2)(2^3)} = \frac{59^2}{16} = 217.5625$$

$$SC_{BC} = \frac{(CONTRASTE_{BC})^2}{(2)(2^3)} = \frac{2.8^2}{16} = 0.49$$

$$SC_{ABC} = \frac{(CONTRASTE_{ABC})^2}{(2)(2^3)} = \frac{35.6^2}{16} = 79.21$$

Por lo tanto, la Suma Total de los Cuadrados se obtuvo con la siguiente formula:

$$SC_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^n Y_{ijkl}^2 - \frac{Y_{...}^2}{n2^k} = 777051.4 - \frac{3523.8^2}{16} = 978.4975$$

Mientras que la suma de Cuadrados del Error se calcula mediante la diferencia de SC_T menos todos los demás Sumas de Cuadrados:

$$SC_E = SC_T - SC_A - SC_B - SC_C - SC_{AB} - SC_{AC} - SC_{BC} - SC_{ABC}$$

$$SC_E = 978.4975 - 232.5625 - 231.04 - 19.8025 - 59.29 - 217.5625 - 0.49 - 79.21 = 138.54$$

En una tabla ANOVA, la Suma de Cuadrados (SC) cuantifica la variabilidad total de los datos y se descompone en la Suma de Cuadrados de los Totales (SCT) y la Suma de Cuadrados del Error (SCE). Estas sumas se usan para calcular los Cuadrados Medios (CM) y el Estadístico de Prueba F_0 , que determinan la significancia de las diferencias entre grupos.

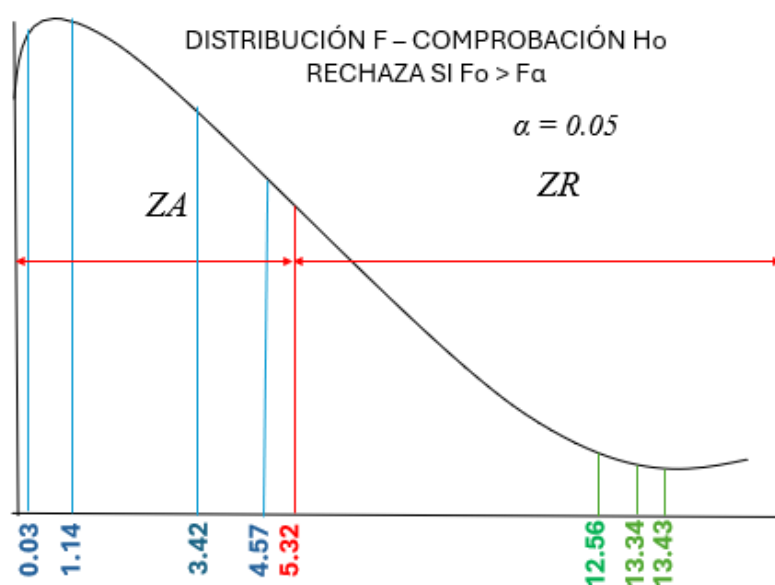
Para determinar si las diferencias entre las medias de los grupos son estadísticamente significativas utilizamos la Tabla 3 ANOVA. Además, de que nos ayuda a decidir si se rechaza la hipótesis nula (que todas las medias son iguales) mediante la comparación del Estadístico de Prueba y el Valor Crítico. Así como también, identifica las fuentes de variación, es decir, muestra cómo se distribuye la variabilidad total entre los factores estudiados y el error aleatorio.



Tabla 3. Resultados de la Tabla ANOVA

<i>Fuente de Variación</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Grados de Libertad</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Estadístico de Prueba (Fo)</i>	<i>Valor Crítico $\alpha = 0.05$</i>
<i>Temperatura A</i>	232.5625	1	232.5625	13.43	5.32
<i>Concentración B</i>	231.04	1	231.04	13.34	5.32
<i>Tiempo C</i>	19.8025	1	19.8025	1.14	5.32
<i>Interacción AB</i>	59.29	1	59.29	3.42	5.32
<i>Interacción AC</i>	217.5625	1	217.5625	12.56	5.32
<i>Interacción BC</i>	0.49	1	0.49	0.03	5.32
<i>Interacción ABC</i>	79.21	1	79.21	4.57	5.32
<i>Error</i>	138.54	8	17.3175		
<i>Total</i>	978.4975	15			

Figura 3. Gráfica que muestra las zonas de aceptación y rechazo de la Hipótesis H_0 .



CONCLUSIONES

Con el Diseño de Experimentos Factorial 2^3 con 3 factores y 2 niveles cada uno, se determinó cuáles eran los factores que de manera significativa afectaban la viscosidad del aceite de motor con dos tipos de aceite, a dos distintas temperaturas y dos diámetros del balín.

Por lo tanto, con un $\alpha=0.05$ se concluye que el factor Concentración, las interacciones A, B y AC tienen un efecto significativo en la viscosidad del aceite del motor. Por lo que, todos los demás factores no afectan de manera significativa o considerable la variabilidad de la viscosidad de la variable de respuesta. No se omite mencionar que la interacción triple ABC está muy cerca del Valor Crítico por lo que la decisión de si este efecto es significativo o no representa un riesgo de error.

Así mismo, podemos mencionar el que consumo de aceite aumenta a medida que el motor envejece, dado que las piezas del motor van haciendo mayores las holguras entre sí y el aceite puede pasar en una mayor cantidad, sin embargo la calidad del producto influye de manera considerable al momento de cambiar el aceite del auto ya que dependiendo de las características de viscosidad del aceite el cambio se puede prolongar o acortar, a medida que esto produce un consumo mayor y por ende una desventaja en el ámbito socioeconómico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arboleda Serrano, J. I., & Hidalgo Meneses, A. J. (2024). *Análisis de la degradación y vida útil del lubricante motor, en un vehículo pesado, marca Hino modelo AK mediante ensayos de viscosidad y conteo de partículas.*
- CARRERA DE INGENIERÍA EN PETRÓLEOS TEMA : TRABAJO DE INTEGRACIÓN
CURRICULAR VERONICA JOMAIRA SOLEDISPA SALTOS TUTOR : (2023).
Centro Universitario Querétaro, Qro. Noviembre, 2018. (2018).
- DIAGNÓSTICO DE MOTORES DIESEL MEDIANTE EL ANÁLISIS DEL ACEITE USADO Bernardo
Tormos Dr. Ingeniero Industrial. (n.d.).
- Espinoza Segarra, V. M. (2012). *Estudio de la degradación de los lubricantes utilizados en motor y transmisión de los vehículos recolectores a diesel de la EMAC EP.* Universidad del Azuay.
- García-Díaz, M., Gandón-Hernández, J., & Maqueira-Tamayo, Y. (2013). Estudio de la obtención de



- biodiesel a partir de aceite comestible usado. *Tecnología Química*, 33(2), 162–169.
- Guamán Albarracín, H. R., & Ávila Pesántez, O. M. (2020). *Análisis de la degradación y vida útil del lubricante motor, en un vehículo modelo Actros 3353S mediante ensayos de viscosidad y TBN*.
- Gutiérrez Pulido, H. (2012). *Análisis y diseño de experimentos*.
- Ingeniería, C. D. E., & Automotriz, M. (2021). *Análisis de la influencia de los aceites de baja viscosidad en la potencia y emisión de gases contaminantes de un vehículo Chevrolet Grand Vitara año 2008*.
- Ingeniería, C. D. E., Automotriz, M., Del, A., Experimental, D., El, P., Andrés, C., & Sigua, V. (2016). *Aplicación del diseño experimental para el análisis de la estanqueidad del conjunto cilindro-pistón de un motor Hyundai Accent 1.5L mediante el análisis de la señal del sensor MAP*.
- Inyección de Emulsión Agua / Aceite , como Método de Recuperación Mejorada en un Yacimiento de Aceite Pesado en el Sureste de México*. (2023).
- Issn, P. (2004). *ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LAS VARIABLES QUE AFECTAN LA REACCIÓN DE*. 24, 169–174.
- Méndez, X. P. (2012). *Comportamiento viscoso de lubricantes a altas presiones*.
- Montgomery, D. C. (2017). *Design and analysis of experiments*. John Wiley & sons.
- Moran Velásquez, M. (2022). *Influencia del índice de viscosidad del lubricante en el nivel de desgaste de las piezas del motor de combustión interna y en la contaminación atmosférica*.
- No Title*. (2008).
- Pablo, W., Herrera, C., Gabriel, O., & Cunalata, T. (n.d.). *Principios de tribología aplicados en la ingeniería mecánica*.
- Silva, T. P. (2017). *DETERMINAÇÃO EXPERIMENTAL DA VISCOSIDADE ATRAVÉS DO*.
- Tang, Q., & Zhang, C. (2013). Data Processing System (DPS) software with experimental design, statistical analysis and data mining developed for use in entomological research. *Insect Science*, 20(2), 254–260.
- Universidad del Azuay Facultad de Ciencia y Tecnología*. (2012).
- Vinicio, G., Silva, P., Luis, J., Miranda, C., Gabriel, A., Medina, C., Diego, J., & Vargas, Z. (2023). *Análisis estadístico neutrosófico sobre la variación de viscosidad del aceite sae 10w30*



semisintético y sintético en función del kilometraje recorrido . Neutrosophic statistical analysis of the viscosity variation of semi-synthetic and synthetic sae 10w30 oil as a function of mileage travelled . 29.

