



Método Multicriterio Neutrosófico para la evaluación de la volatilidad del aceite SAE 10w30 semisintético y sintético mediante la prueba de noack.

Neutrosophic multi-criteria method for the evaluation of the volatility of SAE 10w30 semi-synthetic and synthetic oil using the noack test.

Giovanny Vinicio Pineda Silva¹, Antonio Gabriel Castillo Medina², Juan Diego Zurita Vargas³, and Jorge Andrés Rodas Buenaño⁴

¹ Universidad Regional Autónoma de Los Andes, Ambato, Ecuador. ua.giovannypineda@uniandes.edu.ec

² Universidad Regional Autónoma de Los Andes, Ambato, Ecuador. ua.antonio83@uniandes.edu.ec

³ Universidad Regional Autónoma de Los Andes, Ambato, Ecuador. ua.juanzv40@uniandes.edu.ec

⁴ Universidad Regional Autónoma de Los Andes, Ambato, Ecuador. ua.jorgerb85@uniandes.edu.ec

Resumen. Los usuarios de vehículos tienen inquietudes sobre el uso y las ventajas de cada tipo de aceite, razón por la cual se llevó a cabo un estudio comparativo de la volatilidad entre los aceites lubricantes Kendall GT-1 Max Motor Oil SAE 10W30 (sintético) y Kendall GT-1 High Performance Motor Oil SAE 10W30 (semisintético). La volatilidad, una de las características más cruciales para el buen funcionamiento de un lubricante, se midió utilizando la prueba de Noack según la norma ASTM D5800. La presente investigación propone el desarrollo de un método multicriterio neutrosófico para la evaluación de la volatilidad del aceite SAE 10w30 semisintético y sintético mediante la prueba de noack. El método propuesto basa su funcionamiento mediante un enfoque multicriterio para la evaluación.

Palabras Claves: método multicriterio neutrosófico, lubricante; volatilidad, Noack, aceite sintético, aceite semisintético.

Abstract. Vehicle users have concerns about the use and advantages of each type of oil, which is why a comparative study of the volatility between Kendall GT-1 Max Motor Oil SAE 10W30 (synthetic) and Kendall GT-1 High Performance Motor Oil SAE 10W30 (semi-synthetic) was carried out. Volatility, one of the most crucial characteristics for the proper functioning of a lubricant, was measured using the Noack test according to ASTM D5800. The present research proposes the development of a neutrosophic multicriteria method for the evaluation of the volatility of semi-synthetic and synthetic SAE 10w30 oil using the Noack test. The proposed method bases its operation on a multicriteria approach for the evaluation.

Keywords: neutrosophic multicriteria method, lubricant; volatility, Noack, synthetic oil, semi-synthetic oil.

1 Introducción

La volatilidad, una de las propiedades físicas de los lubricantes es un aspecto fundamental para considerar, en vista de que implica variaciones de volumen y por ende consumo de aceite que no necesariamente es producto de la combustión, lo cual sumada a otras condiciones podría afectar la correcta operatividad del motor. Las propiedades del fluido lubricante son de suma importancia y deben considerarse para el desarrollo de la industria automotriz nacional como parte del mantenimiento preventivo y predictivo. Si bien es cierto los aceites sintéticos poseen menor volatilidad que los semisintéticos y minerales, existe la duda si la diferencia es o no significativa [1].

En la investigación desarrollada por [2] donde investigaron biolubricantes derivados de aceites vegetales como alternativas prometedoras para aplicaciones automotrices, evaluando sus características de volatilidad y estabilidad a la oxidación. Mediante procesos de modificación química, se creó una variedad de biolubricantes a partir de

Giovanny V. Pineda S, Antonio G. Castillo M, Juan D. Zurita V, Jorge A. Rodas B. Método Multicriterio Neutrosófico para la evaluación de la volatilidad del aceite SAE 10w30 semisintético y sintético mediante la prueba de noack

diferentes tipos de aceites vegetales, cuyo comportamiento de volatilidad se caracterizó utilizando técnicas como la termogravimetría y las pruebas Noack. En comparación con los aceites lubricantes minerales tradicionales, estos biolubricantes exhibieron una menor volatilidad y pérdidas por evaporación. Además, su estabilidad a la oxidación se evaluó a través de pruebas de oxidación acelerada, donde algunos biolubricantes demostraron una estabilidad superior a la de ciertos aceites sintéticos comerciales, beneficiándose de la composición química rica en antioxidantes naturales presente en los aceites vegetales. En conjunto, este estudio resalta que los biolubricantes derivados de aceites vegetales poseen características prometedoras, como baja volatilidad y alta estabilidad a la oxidación, convirtiéndolos en alternativas atractivas a los aceites lubricantes convencionales para aplicaciones automotrices.

2 Materiales y métodos

La presente sección describe el funcionamiento del método multicriterio neutrosófico para la evaluación de efectos de diferentes niveles de pH en el esmalte dental. Se presentan las características generales de la solución propuesta. Se describen las principales etapas y actividades que conforman el método.

El método multicriterio neutrosófico para la valuación de la volatilidad del aceite SAE 10w30 semisintético y sintético está diseñado bajo las siguientes cualidades:

Las cualidades que distinguen al modelo son:

- Integración: el método garantiza la interconexión de los diferentes componentes en combinación para la evaluación de efectos de la volatilidad del aceite SAE 10w30 semisintético y sintético.
- Flexibilidad: utiliza 2-tuplas para representar la incertidumbre de modo que aumente la interoperabilidad de las personas que interactúan con el método.
- Interdependencia: el método utiliza como punto de partida los datos de entrada proporcionados por los expertos del proceso. Los resultados analizados contribuyen a una base de experiencia que conforma el núcleo del procesamiento para la inferencia.

El método se sustenta en los siguientes principios:

- Identificación mediante el equipo de expertos de los indicadores para la evaluación de la volatilidad del aceite SAE 10w30 semisintético y sintético.
- El empleo de métodos multicriterios en la evaluación.

El método para la evaluación de la volatilidad del aceite SAE 10w30 semisintético y sintético, está estructurado para gestionar el flujo de trabajo del proceso de evaluación a partir de un método de inferencia multicriterio, posee tres etapas fundamentales: entrada, procesamiento y salida de información. La Figura 1 muestra un esquema que ilustra el funcionamiento general del método.



Figura 1. Esquema general del funcionamiento del método para la valuación de la volatilidad del aceite SAE 10w30 semisintético y sintético.

2.1 Descripción de las etapas del método

El método propuesto está diseñado para garantizar la gestión del flujo de trabajo para la valuación de la volatilidad del aceite SAE 10w30 semisintético y sintético. Utiliza un enfoque multicriterio multiexperto donde se identifican indicadores evaluativos para determinar el funcionamiento del procesamiento del método.

La etapa de procesamiento está estructurada por cuatro actividades que rigen el proceso de inferencia del procesamiento. A continuación se detalla su funcionamiento:

Actividad 1: Selección de los expertos.

El proceso consiste en determinar el grupo de expertos que intervienen en el proceso. Para su selección se emplea la metodología propuesta por Fernández [3]. Para comenzar el proceso se envía un modelo a los posibles expertos con una explicación breve sobre los objetivos del trabajo y el área del conocimiento en el que se enmarca la investigación. Se realizan las siguientes actividades:

1. Se establece contacto con los expertos conocedores y se les pide que participen en el panel. La actividad obtiene como resultado la captación del grupo de expertos que participará en la aplicación del método.

El proceso debe filtrar los expertos con bajo nivel de experticia participando en el proceso los de mayor conocimiento y prestigio en el área del conocimiento que se enmarca el objeto de estudio de la investigación. Para realizar el proceso de filtraje se realiza un cuestionario de autoevaluación para expertos. El objetivo es determinar el coeficiente de conocimiento o información (K_c), la ecuación 1 expresa el método para determinar el nivel de experticia.

$$K_c = n(0,1) \quad (1)$$

Donde:

K_c : coeficiente de conocimiento o información

n : rango seleccionado por el experto

Actividad 2 Identificación de los criterios de evaluación

Una vez identificados los expertos que participan en el proceso, se procede a determinar los criterios evaluativos. Estos criterios alimentan el método, funcionando como parámetros de entrada para la etapa de procesamiento. Las actividades desarrolladas en colaboración con los expertos incluyen lo siguiente:

1. **Selección inicial de criterios:**
 - Se envía un cuestionario a los integrantes del panel para recopilar sus opiniones sobre los criterios evaluativos que sustentan la investigación. El cuestionario, previamente diseñado, permite identificar un conjunto inicial de criterios aportados por los expertos.
2. **Análisis de las respuestas:**
 - Se examinan las respuestas del panel, identificando áreas de consenso y discrepancia. Este análisis facilita una comprensión del comportamiento de las respuestas y permite reconocer los elementos comunes entre los criterios propuestos.
3. **Revisión y retroalimentación:**
 - Se envía un resumen del análisis a los miembros del panel junto con un nuevo cuestionario. Se solicita a los expertos que revisen sus respuestas y expliquen las razones de sus discrepancias con respecto a los criterios identificados. Este paso busca refinar y consolidar el conocimiento aportado por el grupo.
4. **Iteración del proceso:**
 - El proceso se repite de manera iterativa hasta que las respuestas se estabilicen. Esta estabilización indica la convergencia del panel hacia un consenso, lo que constituye el punto de parada del método y el resultado general del análisis.

La actividad obtienen como resultado el conjunto de criterios evaluativos del método. Emplea un enfoque multicriterio expresado como muestra la ecuación 1.

$$C = \{c_1, c_2, \dots, c_m\} \quad (2)$$

Donde:

$$m > 1, \quad (3)$$

Actividad 3 Determinación de los pesos de los criterios.

Para determinar los pesos atribuidos a los criterios evaluativos se utiliza el grupo de expertos que intervienen en el proceso. Se les pide que determinen el nivel de importancia atribuido a los criterios evaluativos identificados

en la actividad previa.

Los pesos de los criterios evaluativos son expresados mediante un dominio de valores difusos. Los conjuntos difusos dan un valor cuantitativo a cada elemento, el cual representa el grado de pertenencia al conjunto. Un conjunto difuso A es una aplicación de un conjunto referencial S en el intervalo $[0, 1]$, Tal que:

$$A: S \rightarrow [0,1],$$

y se define por medio de una función de pertenencia:

$$0 \leq \mu_A(x) \leq 1. \quad (4)$$

Para aumentar la interpretatividad en la determinación de los vectores de pesos asociados a los criterios se utilizan términos lingüísticos basados en 2-tuplas Neutrosófica [4], [5], [6], [7]. El uso de etiquetas lingüísticas en modelos de decisión supone, en la mayoría de los casos, la realización de operaciones con etiquetas lingüísticas. La tabla 1 muestra el conjunto de términos lingüísticos con sus respectivos valores.

Tabla 1: Dominio de valores para expresar causalidad.

Término lingüístico	Números SVN
Extremadamente buena(EB)	[1,0,0]
Muy muy buena (MMB)	[0.9, 0.1, 0.1]
Muy buena (MB)	[0.8,0,15,0.20]
Buena (B)	[0.70,0.25,0.30]
Medianamente buena (MDB)	[0.60,0.35,0.40]
Media (M)	[0.50,0.50,0.50]
Medianamente mala (MDM)	[0.40,0.65,0.60]
Mala (MA)	[0.30,0.75,0.70]
Muy mala (MM)	[0.20,0.85,0.80]
Muy muy mala (MMM)	[0.10,0.90,0.90]
Extremadamente mala (EM)	[0,1,1]

Una vez obtenidos los vectores de pesos de los diferentes expertos que intervienen en el proceso se realiza un proceso de agregación de información a partir de una función promedio tal como muestra la ecuación 5.

$$VA = \frac{\sum_{i=1}^n C_{ij}}{E} \quad (5)$$

Donde:

VA : valor agregado,

E : cantidad de expertos que participan en el proceso,

C_{ij} : vector de pesos expresado por los expertos para los criterios C .

Actividad 4 determinación de las preferencias de las alternativas.

La actividad para la determinación de las preferencias consiste en identificar el impacto que poseen los criterios evaluativos del efectos de diferentes volatilidades del aceite SAE 10w30 semisintético y sintético[8-10]. El proceso de evaluación es realizado mediante una escala numérica de modo que se exprese el nivel de pertenencia de los indicadores [11-13]. La figura 2 muestra una gráfica con los conjuntos de etiquetas lingüísticas utilizados.

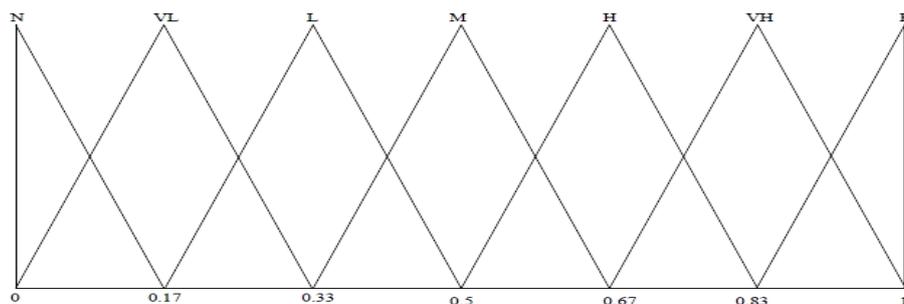


Figura 2. Conjunto de etiquetas lingüísticas.

Donde: N: Nulo; VL: Muy Bajo; L: Bajo; M: Medio; H: Alto; VH: Muy Alto; P: Preferido

Para la evaluación del efectos de diferentes volatilidad del aceite SAE 10w30 semisintético y sintético, se describe el problema y la evaluación de cada alternativa a partir del cual se forma la matriz de evaluación [14], [15], [16]. La matriz está compuesta por las alternativas, los criterios y la valoración de cada criterio para cada alternativa.

A partir de obtener las preferencias de cada criterio evaluativo sobre el objeto de estudio, se realiza el proceso de inferencia de información. La inferencia es guiada mediante el uso de operadores de agregación de información.

Se parte del conjunto de alternativas A:

$$A = \{A_1, A_2, \dots, A_m\} \quad (6)$$

A las cuales se les obtienen las preferencias P:

$$P = C_1, C_n \quad (7)$$

A los criterios evaluativos se les aplica un método multicriterio para procesar las alternativas a partir de los vectores de pesos W definidos por los expertos sobre los criterios evaluativos [17-19].

$$W = \{w_1, w_2, \dots, w_n\} \quad (8)$$

El proceso de agregación se realiza con la utilización de operadores de agregación de información [20], [21], [22]. El objetivo fundamental consiste en obtener valoraciones colectivas a partir de valoraciones individuales mediante el uso de operadores de agregación. Para el procesamiento del método propuesto se utiliza el operador de agregación OWA (*Ordered Weighted Averaging*) [23],[24].

Los operadores OWA funcionan similar a los operadores media ponderada, aunque los valores que toman las variables se ordenan previamente de forma decreciente y, contrariamente a lo que ocurre en las medias ponderadas, los pesos no están asociados a ninguna variable en concreto [25], [26], [27].

Definición 1: Dado un vector de pesos $W = w_1, w_n \in [0,1]^n$ tal que: $\sum_{i=1}^n w_i$, el operador (OWA) asociado a w es el operador de agregación $f_n^w: \rightarrow R$ definido por:

$$f_n^w(u) = \sum_{i=1}^n w_i v_i \quad (9)$$

donde v_i es el i -ésimo mayor elemento de $\{u_1, u_n\}$

Para la presente investigación se define el proceso de agregación de la información empleado, tal como expresa la ecuación 10.

$$F(p_1, p_2, \dots, p_n) = \sum_{j=1}^n w_j b_j \quad (10)$$

Donde:

P : conjunto de preferencias obtenidas de la evaluación de los criterios para la evaluación del impacto de la Neuralgia del Trigémino

w_j : son los vectores de pesos atribuidos a los criterios evaluativos.

b_j : es el j -ésimo más grande de las preferencias p_n ordenados.

3 Resultados y discusión

Para la implementación del método propuesto se ha realizado un estudio de caso donde se representa un instrumento enfocado hacia el caso específico que se modela. El objeto de análisis es la evaluación del efecto de diferentes volatilidad del aceite SAE 10w30 semisintético y sintético. A continuación se presentan las valoraciones alcanzadas por cada actividad:

Actividad 1: Selección de los expertos.

Para la aplicación del método, se aplicó un cuestionario con el objetivo de seleccionar el grupo de expertos a intervenir en el proceso. Se logró el compromiso desinteresado de 7 expertos. Se les aplicó el cuestionario de autoevaluación a los 7 expertos donde se obtuvieron los siguientes resultados:

- 5 expertos se autoevalúan con un nivel de competencia sobre el tema objeto de estudio de 10 puntos.
- 2 expertos se autoevalúan con un nivel de competencia de 9 puntos.
- 1 expertos se autoevalúa con un nivel de competencia de 5 puntos.

- 1 expertos se autoevalúan con un nivel de competencia de 6 puntos.

El coeficiente de conocimiento K_c representa un parámetro importante en la aplicación del método propuesto. Para la investigación se obtienen los K_c por experto tal como refiere la tabla 2

Tabla:

Tabla 2. Coeficiente de conocimiento por expertos.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0.6	1	0,90	0,90	1	1	1	0.5

Se aplicaron 4 preguntas a los expertos donde se obtuvieron los siguientes resultados para identificar los niveles de conocimientos sobre el tema:

- Sobre la pregunta 1. Análisis teóricos realizados por usted sobre volatilidad del aceite SAE 10w30 semi-sintético y sintético: se obtuvo una autoevaluación de *Alta* para 7 expertos y *Media* para 2 expertos.
- Sobre la pregunta 2. Estudio de trabajos publicados por autores ecuatorianos sobre volatilidad del aceite SAE 10w30 semisintético y sintético: se obtuvo una autoevaluación de *Alta* para 6 expertos, *Media* para 1 expertos y *Baja* para 2 expertos.
- Sobre la pregunta 3. Contacto directo con investigaciones sobre volatilidad del aceite SAE 10w30 semi-sintético y sintético: se obtuvo una autoevaluación de *Alta* para 7 expertos, *Media* para 1 expertos y *Baja* para 1 experto.
- Sobre la pregunta 4. Conocimiento del estado de la volatilidad del aceite SAE 10w30 semisintético y sintético: se obtuvo una autoevaluación de *Alta* para 6 expertos, *Media* para 1 expertos y *Baja* para 2 expertos.

La figura 3 muestra una gráfica con el comportamiento de los coeficientes de conocimiento de los expertos. A partir del análisis de los resultados se determina utilizar 7 de los 9 expertos previstos inicialmente.

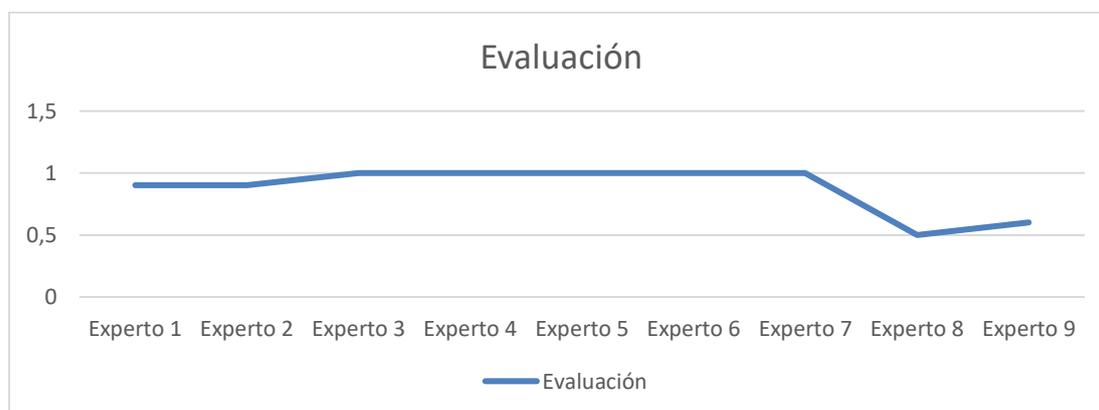


Figura 3. Representación del coeficiente de conocimiento de los expertos.

Actividad 2 Identificación de los criterios de evaluación

Para la actividad se realizó una encuesta a los expertos que intervienen en el proceso. El objetivo consistió en identificar los criterios evaluativos para la evaluación sobre la volatilidad del aceite SAE 10w30 semisintético y sintético. Los indicadores constituyen el elemento fundamental sobre el cual se realiza el procesamiento en etapas siguientes. La tabla 3 visualiza los criterios evaluativos obtenidos de la actividad.

Tabla 3: Criterios evaluativos obtenidos.

Número	Criterios evaluativos
C_1	Pérdida por Evaporación (Noack Volatility Test)
C_2	Índice de Viscosidad (Viscosity Index, VI)
C_3	Punto de Fluidez (Pour Point)
C_4	Composición de Hidrocarburos Livianos
C_5	Resistencia a la Oxidación

Actividad 3 Determinación de los pesos de los criterios

Para determinar los pesos sobre los criterios se utilizó un enfoque multiexperto, en el que participaron los 7 seleccionados en la actividad 1. Con el empleo de 2-tuplas tal como propone la tabla 1 se realizó el trabajo por el grupo de expertos.

A partir de la agregación realizada mediante la ecuación 9 se unifica los pesos de los 7 expertos en un valor agregado. La tabla 4 muestra el resultado de los vectores de pesos resultantes de la actividad.

Tabla 4: Pesos de los criterios a partir del criterio de experto.

Número	Vectores de pesos W para los criterios C
C_1	[1,0,0]
C_2	[0.85,0,15,0.20]
C_3	[0.9, 0.1, 0.1]
C_4	[0.85,0,15,0.20]
C_5	[1,0,0]

Se llegó al consenso en la segunda iteración del proceso. A partir de lo cual se tomó como valor de parada.

Actividad 4 determinación de las preferencias de las alternativas.

Para el estudio de caso propuesto con el objetivo de evaluar la volatilidad del aceite SAE 10w30 semisintético, se realizó una evaluación del cumplimiento de los criterios. Se tomó como información de partida los vectores de pesos atribuidos a cada criterio evaluativo. Se evaluó el cumplimiento de los indicadores con el empleo del conjunto de etiquetas lingüísticas. Se obtuvo como resultado un sistema con valores difusos que se agregan como valores de salidas. La tabla 5 muestra el resultado del procesamiento realizado.

Tabla 5: Resultado de las evaluaciones obtenidas por cada caso de análisis

Número	W	Preferencia	$\sum_{i=1} w_j b_j$
C_1	[1,0,0]	[1,0,0]	[1,0,0]
C_2	[0.85,0,15,0.20]	[0.8,0,15,0.20]	[0.82, 0.1, 0.1]
C_3	[0.9, 0.1, 0.1]	[0.8,0,15,0.20]	[0.85, 0.1, 0.1]
C_4	[0.85,0,15,0.20]	[1,0,0]	[0.92, 0.1, 0.1]
C_5	[1,0,0]	[0.9, 0.1, 0.1]	[0.95, 0.1, 0.1]

La figura 4 muestra el comportamiento de las inferencias sobre los criterios evaluativos para el caso de estudio propuesto.

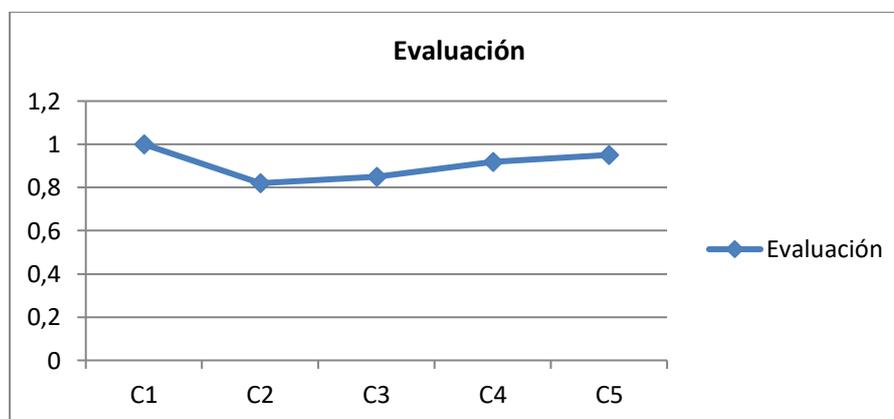


Figura 4. Comportamiento de las inferencias.

3.1 Discusión

Una vez desarrolladas las mediciones, se muestra en la siguiente figura las curvas de los valores medidos de porcentaje de volatilidad para los aceites sintético y semisintético.

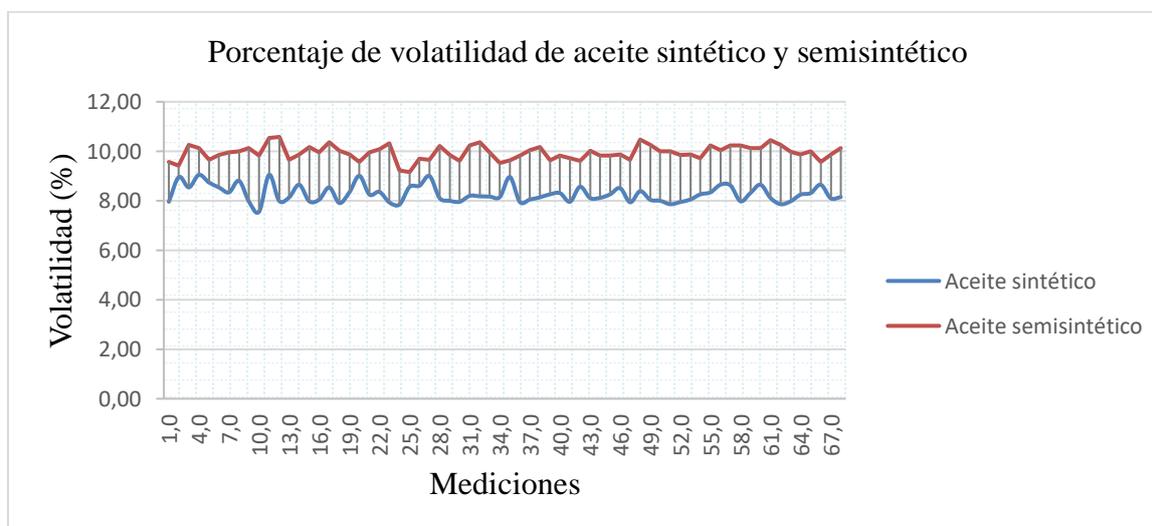


Figura 5. Valores medidos de porcentaje de volatilidad.

Se presenta a continuación los resultados de la media aritmética y desviación estándar correspondientes al porcentaje de volatilidad de los aceites objeto de estudio, estadígrafos necesarios para su posterior procesamiento e interpretación.

Tabla 6. Media aritmética y desviación estándar del porcentaje de volatilidad.

Porcentaje de evaporación	Símbolo	Aceite sintético	Símbolo	Aceite semisintético
Media aritmética	\bar{X}_S	8,28	\bar{X}_{SS}	9,94
Desviación estándar	S_S	0,34	S_{SS}	0,30

Posterior a efectuar el análisis estadístico de los datos recopilados referentes al porcentaje de fracción volátil, con el propósito de determinar la existencia o no de divergencias estadísticamente significativas entre la variación porcentual de dicho parámetro en un lubricante sintético y uno semisintético, se procede a formular las siguientes hipótesis estadísticas:

Hipótesis nula (H_o): No existe una diferencia significativa entre los porcentajes de volatilidad entre el aceite lubricante semisintético y sintético.

Hipótesis alternativa (H_a): Existe una diferencia significativa entre los porcentajes de volatilidad entre el aceite lubricante semisintético y sintético.

Dado que los datos muestran un ajuste a una distribución normal para cada uno de los lubricantes, según los resultados del test de Shapiro-Wilk, la prueba t de Student fue el estimador estadístico elegido para su aplicación. La siguiente tabla muestra los parámetros correspondientes a los valores calculados y tabulados:

Tabla 7. Parámetros prueba t Student.

Parámetro	Símbolo	Magnitud
Diferencia entre medias	$\bar{X}_{SS} - \bar{X}_S$	1.66
Error estándar de las diferencias	$SE = \sqrt{\frac{S_{SS}^2}{n} + \frac{S_S^2}{n}}$	0.054
Valor t calculado	$t_c = \frac{\bar{X}_{SS} - \bar{X}_S}{SE}$	30.19

Parámetro	Símbolo	Magnitud
Nivel de significancia	α	0.05
Grados de libertad	$gdl = n - 1$	67
Valor t tabulado	t_t	1.997

El valor de $t_c > t_t$; por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa que estipula que existe una diferencia significativa entre el porcentaje de volatilidad del aceite lubricante semisintético y sintético.

El valor del estadístico de prueba t_c (t calculado) es superior al valor crítico de la distribución t de Student a un nivel de significancia establecido t_t (t tabulado); por consiguiente, se procede a rechazar la hipótesis nula (H_0) y aceptar la hipótesis alternativa (H_a), la cual postula la existencia de una diferencia estadísticamente significativa entre el porcentaje de volatilidad del lubricante semisintético y el lubricante sintético.

4 Conclusión

A partir de la implementación del método propuesto, se obtienen vectores de pesos de agregación para la evaluación de los criterios evaluativos que representó la base del proceso de la evaluación de la volatilidad del aceite SAE 10w30 semisintético. Para llevar a cabo las mediciones necesarias para el desarrollo de la investigación, se hizo uso de un equipo especializado de ensayo de volatilidad NCK2 5G. Previo a su utilización, se verificó minuciosamente que el equipo se encontrara debidamente calibrado y en óptimas condiciones operativas, con el fin de garantizar la precisión y confiabilidad de los datos obtenidos, siguiendo rigurosamente los protocolos y procedimientos establecidos por la prueba Noack.

La norma ASTM D5800 establece el método estándar para determinar las pérdidas por evaporación de los aceites lubricantes mediante la prueba de Noack. Se requiere una cantidad de 60 gramos de aceite para someterla a una temperatura de 250°C durante un periodo de 60 minutos, posteriormente se cuantifica la pérdida de masa del aceite debido a la evaporación; el seguir estos lineamientos aseguran resultados reproducibles y comparables entre diferentes aceites lubricantes.

Para llevar a cabo las mediciones de manera rigurosa y obtener resultados estadísticamente representativos, se calculó un tamaño de muestra de 68 unidades tanto para el aceite semisintético como para el sintético. Es importante destacar que estas muestras no provinieron de un único lote de producción, lo cual permitió considerar posibles fluctuaciones o variaciones inherentes al proceso productivo, aportando una mayor confiabilidad a los datos recopilados.

En función de las pruebas realizadas, para el aceite de grado sintético, el porcentaje de volatilidad determinado fue de 8.28%; por otro lado, el aceite semisintético registró un porcentaje de volatilidad más elevado, alcanzando el 9.94%. Esta diferencia numérica, obtenida mediante un meticuloso procedimiento de medición y análisis de datos, pone en evidencia el comportamiento distinto de ambos productos ante la prueba de volatilidad realizada bajo condiciones estandarizadas.

Tras comprobar que los valores de volatilidad registrados se ajustaban a una distribución normal, se procedió a aplicar la prueba t de Student para la comparación de medias entre ambos grupos. Esta técnica estadística paramétrica, permitió determinar que la diferencia entre los porcentajes de volatilidad del aceite lubricante semisintético y el sintético es estadísticamente significativa que no puede atribuirse al azar, sino que constituye una diferencia real y consistente entre las propiedades de estos dos tipos de aceites en cuanto a su comportamiento frente a la evaporación bajo condiciones controladas.

El aceite sintético demuestra un comportamiento más favorable en cuanto a la mitigación de pérdidas por evaporación. Esta propiedad incide en el desempeño y durabilidad de los componentes móviles que requieren lubricación, ya que una menor volatilidad contribuye a mantener un volumen más estable del fluido lubricante, optimizando así su función y extendiendo la vida útil de los elementos lubricados.

Referencias

- [1] W. P. C. Herrera, and O. T. Cunalata, "Principios de tribología aplicados en la ingeniería mecánica," *Editorial Área de Innovación y Desarrollo, SL*, 2019.
- [2] D. Li, C. Zhu, A. Wang, and T. He, "Modelling visco-elastohydrodynamic lubrication of polymer-based composites," *Tribology International*, vol. 174, pp. 107716, 2022.
- [3] S. H. d. M. Fernández. "Criterio de expertos. Su procesamiento a través del método Delphy," http://www.ub.edu/histodidactica/index.php?option=com_content&view=article&id=21:criterio-de-expertos-su-procesamiento-a-traves-del-metodo-delphy&catid=11.

- [4] Z.-S. Chen, K.-S. Chin, and K.-L. Tsui, "Constructing the geometric Bonferroni mean from the generalized Bonferroni mean with several extensions to linguistic 2-tuples for decision-making," *Applied Soft Computing*, vol. 78, pp. 595-613, 2019.
- [5] D. F. Coka Flores, I. F. Barcos Arias, M. E. Infante Miranda, and O. Mar Cornelio, "Applying Neutrosophic Natural Language Processing to Analyze Complex Phenomena in Interdisciplinary Contexts," *Neutrosophic Sets and Systems*, vol. 74, no. 1, pp. 26, 2024.
- [6] J. Giráldez - Cru, M. Chica, O. Cordón, and F. Herrera, "Modeling agent - based consumers decision - making with 2 - tuple fuzzy linguistic perceptions," *International Journal of Intelligent Systems*, vol. 35, no. 2, pp. 283-299, 2020.
- [7] F. Smarandache, "Significado Neutrosófico: Partes comunes de cosas poco comunes y partes poco comunes de cosas comunes," *Serie Científica de la Universidad de las Ciencias Informáticas*, vol. 18, no. 1, pp. 1-14, 2025.
- [8] V. V. Falcón, B. S. Martínez, J. E. Ricardo, and M. Y. L. Vázquez, "Análisis del Ranking 2021 de universidades ecuatorianas del Times Higher Education con el Método Topsis," *Revista Conrado*, vol. 17, no. S3, pp. 70-78, 2021.
- [9] J. E. Ricardo, M. Y. L. Vázquez, and N. B. Hernández, "Impacto de la investigación jurídica a los problemas sociales postpandemia en Ecuador," *Universidad y Sociedad*, vol. 14, no. S5, pp. 542-551., 2022.
- [10] M. Y. L. Vázquez, J. E. Ricardo, and N. B. Hernández, "Investigación científica: perspectiva desde la neutrosfia y productividad," *Universidad y Sociedad*, vol. 14, no. S5, pp. 640-649., 2022.
- [11] E. G. Caballero, M. Leyva, J. E. Ricardo, and N. B. Hernández, "NeuroGroups Generated by Uninorms: A Theoretical Approach," *Theory and Applications of NeutroAlgebras as Generalizations of Classical Algebras*, pp. 155-179: IGI Global, 2022.
- [12] J. Ricardo, A. Fernández, and M. Vázquez, "Compensatory Fuzzy Logic with Single Valued Neutrosophic Numbers in the Analysis of University Strategic Management," *International Journal of Neutrosophic Science*, pp. 151-159, 2022.
- [13] M. L. Vázquez, J. Estupiñan, and F. Smarandache, "Neutrosfia en Latinoamérica, avances y perspectivas," *Revista Asociación Latinoamericana de Ciencias Neutrosóficas. ISSN 2574-1101*, vol. 14, pp. 01-08, 2020.
- [14] S. Schmied, D. Großmann, S. G. Mathias, and S. Banerjee, "Vertical Integration via Dynamic Aggregation of Information in OPC UA." pp. 204-215.
- [15] P. T. Schultz, R. A. Sartini, and M. W. Mckee, "Aggregation and use of information relating to a users context for personalized advertisements," Google Patents, 2019.
- [16] N. Gospodinov, and E. Maasoumi, "Generalized Aggregation of Misspecified Models: With An Application to Asset Pricing," 2019.
- [17] A. Rodríguez, A. D. C. R. Gonzalez, J. C. P. Tarragó, and D. L. D. Gálvez, "Implementación de algoritmos de Inteligencia Artificial en la predicción de nuevos conocimientos mediante enseñanza constructivista," *Serie Científica de La Universidad de Las Ciencias Informáticas*, vol. 14, no. 3, pp. 131-141, 2021.
- [18] A. Rodríguez, H. B. D. Lucas, C. J. Á. Mero, R. J. L. Pisco, and F. I. G. Castro, "Método computacional de recomendación sobre la evaluación del aprendizaje bajo el paradigma constructivista," *Serie Científica de la Universidad de las Ciencias Informáticas*, vol. 15, no. 1, pp. 178-187, 2022.
- [19] A. Rodríguez, J. C. P. Tarragó, D. L. D. Gálvez, and R. L. Pisco, "Modelo de formación constructivista en el proceso Enseñanza-Aprendizaje virtual," *Serie Científica de la Universidad de las Ciencias Informáticas*, vol. 13, no. 11, pp. 175-184, 2020.
- [20] X. He, "Typhoon disaster assessment based on Dombi hesitant fuzzy information aggregation operators," *Natural Hazards*, vol. 90, no. 3, pp. 1153-1175, 2018.
- [21] B. B. Fonseca, and O. M. Cornelio, "Método para el análisis lingüístico de estadísticas médica," *Serie Científica de la Universidad de las Ciencias Informáticas*, vol. 18, no. 1, pp. 110-127, 2025.
- [22] P. Liu, H. Xu, and Y. Geng, "Normal wiggly hesitant fuzzy linguistic power Hamy mean aggregation operators and their application to multi-attribute decision-making," *Computers & Industrial Engineering*, vol. 140, pp. 106224, 2020.
- [23] R. R. Yager, and D. P. Filev, "Induced ordered weighted averaging operators," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics)*, vol. 29, no. 2, pp. 141-150, 1999.
- [24] T. R. Sampson, C. Challis, N. Jain, A. Moiseyenko, M. S. Ladinsky, G. G. Shastri, T. Thron, B. D. Needham, I. Horvath, and J. W. Debelius, "A gut bacterial amyloid promotes α -synuclein aggregation and motor impairment in mice," *Elife*, vol. 9, pp. e53111, 2020.
- [25] L. Jin, R. Mesiar, and R. Yager, "Ordered weighted averaging aggregation on convex poset," *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, vol. 27, no. 3, pp. 612-617, 2019.
- [26] X. Sha, Z. Xu, and C. Yin, "Elliptical distribution - based weight - determining method for ordered weighted averaging operators," *International Journal of Intelligent Systems*, vol. 34, no. 5, pp. 858-877, 2019.

- [27] H. Garg, N. Agarwal, and A. Tripathi, "Choquet integral-based information aggregation operators under the interval-valued intuitionistic fuzzy set and its applications to decision-making process," *International Journal for Uncertainty Quantification*, vol. 7, no. 3, 2017.

Recibido: noviembre 25, 2024. Aceptado: diciembre 22, 2024