



Lógica difusa neutrosófica para medir los parámetros geométricos de motores de combustión interna en función requerimientos de potencia

Neutrosophic fuzzy logic for measuring the geometrical parameters of internal combustion engines as a function of power requirements

Giovanny Vinicio Pineda Silva¹, José Pablo Proaño Remache², Esteban Fernando López Espinel³, 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; josepr93@uniandes.edu.ec

³ Universidad Regional Autónoma de Los Andes, Ambato. Ecuador; ua.estebanle84@uniandes.edu.ec

⁴ Universidad Regional Autónoma de Los Andes, Ambato. Ecuador; ua.jorgeb85@uniandes.edu.ec

Resumen. En el Ecuador existe un nulo proceso de manufactura de motores de combustión interna con fines de movilidad desencadenando en que los vehículos pesados ingresen al mercado con precios más elevados. Otra preocupación es el poco interés de los ingenieros automotrices hacia el diseño de máquinas térmicas en parte debido al laborioso trabajo de cálculo y recálculo que es requerido. Una forma de solucionar ambos problemas es la incorporación a nivel local de una herramienta computacional que sea de fácil acceso tanto para estudiantes como profesionales en la que el dimensionamiento inicial de un motor MAE se realice de forma automática y rápida. En este trabajo se consiguió desarrollar e implementar de forma correcta dicha herramienta de cálculo mediante la aplicación de fórmulas de los diferentes ciclos del motor diésel en base a las características de un autobús de la marca Mercedes Benz y el uso de un lenguaje de programación para que de esta forma pueda ayudar a muchas otras personas en sus estudios y campos laborales. Esta investigación se centra en el empleo de la Lógica Difusa neutrosófica para medir los parámetros geométricos de motores de combustión interna en función requerimientos de potencia.

Palabras Claves: números neutrosófico, motor, cálculo, dimensionamiento.

Abstract. In Ecuador there is no manufacturing process for internal combustion engines for mobility purposes, which leads to heavy vehicles entering the market at higher prices. Another concern is the low interest of automotive engineers in the design of thermal engines, partly due to the laborious calculation and recalculation work required. One way to solve both problems is the local incorporation of a computational tool that is easily accessible to both students and professionals, in which the initial sizing of an MAE engine is carried out automatically and quickly. In this work, it was possible to develop and implement this calculation tool correctly by applying formulas for the different diesel engine cycles based on the characteristics of a Mercedes Benz bus and the use of a programming language so that it can help many other people in their studies and work fields. This research focuses on the use of Neutrosophic Fuzzy Logic to measure the geometric parameters of internal combustion engines based on power requirements.

Keywords: neutrosophic numbers, motor, calculation, dimensioning.

1 Introducción

En el Ecuador existen varias empresas dedican al diseño de autopartes; sin embargo, no se dedican al desarrollo de motores de combustión interna debido a la falta de curiosidad y de interés que existe en el sector automotriz. Afortunadamente con el pasar del tiempo surgen cada vez más ingenieros que se atreven a incursionar en este campo y desarrollan distintos métodos de diseño de motores de vehículos, así como sus sistemas auxiliares. El proceso de diseño de un motor de combustión interna para vehículos es un proceso largo y abarca varios campos de estudio, pero el primer paso consiste en un prediseño, donde se evalúa una serie de características químicas y

físicas de todo el proceso de combustión. Es muy importante conocer los parámetros de un motor ya que son ellos los que guían todo el proceso de diseño y manufactura de este.

La mayoría de los estudios se han enfocado en el desarrollo de aplicaciones y herramientas computacionales de motores de ciclo Otto, no existen muchos cuyo fin de estudio sean los motores Diésel. Según [1] en el año 2023, se realizó la adquisición de 879 unidades de autobuses en todo el país, representando un incremento del 51,3% con respecto al 2022, y la mayor parte de esos vehículos poseen un motor fabricado en otro país y su diseño está adaptado a esas condiciones. El presente documento plantea una propuesta donde se evidencia una metodología inicial para el proceso de diseño de motores MAE de acceso libre para que todas las empresas interesadas tomen el riesgo y la iniciativa de manufacturar motores en base a las condiciones ambientales del país local.

De acuerdo con [2] un motor de combustión interna es una máquina capaz de transformar la energía química de la gasolina en energía térmica mediante la combustión y transformarla finalmente en energía mecánica. Es ésta última la que se aprovecha para realizar un trabajo, en el caso de un vehículo, se la aprovecha para mover ruedas y generación eléctrica para recargar las baterías que alimentan el sistema de encendido. En el sector automotriz se distinguen dos clases diferentes de motores, los de ciclo OTTO y Diésel el cual es tratado en el presente documento.

Actualmente existen varios documentos e investigaciones donde se aborda el tema de los distintos parámetros efectivos del motor y su consecuente dimensionamiento. En [3] realizaron un proyecto en el que sintetizan todo el proceso y metodología del dimensionamiento inicial de un motor genérico de combustión interna. Se obtuvo los valores de los distintos parámetros de la combustión como temperatura, presión en cada ciclo del motor. Así mismo se empleó una herramienta computacional que facilite la realización de cálculos. Es un trabajo realizado en el país de Colombia.

Los estudiantes de ingeniería de Ecuador también han demostrado creatividad e innovación al momento de automatizar el proceso de dimensionamiento de motores mediante el desarrollo de aplicaciones móviles para celulares inteligentes, facilitando el trabajo de futuros ingenieros automotrices. En [4] consiguieron desarrollar de forma exitosa una aplicación móvil con fines educativos pues está llena de información sobre los distintos parámetros geométricos de los motores de combustión interna. También permite realizar cálculos de acuerdo a una serie de datos de entrada. Los parámetros que permite calcular el programa son la cilindrada, carrera, diámetro, entre otros. En el documento analizado se enfatiza la importancia y grandes ventajas que las nuevas tecnologías aportan al estudio de motores de combustión interna.

En [5] desarrollaron una herramienta computacional que es capaz de analizar la termodinámica de un motor de ciclo Otto. El programa permite conocer aspectos importantes como la presión efectiva, indicada, eficiencia volumétrica, consumo de combustible, eficiencia térmica, entre otros. Esta herramienta es de mucha utilidad para estudiantes de motores de combustión interna ya que permite saber de forma automática y rápida todos los valores necesarios para el diseño termodinámico del motor.

También se ha desarrollado programas de estudio de motores de combustión interna de encendido provocado. Tal es el caso de [6] que desarrollaron una herramienta computacional de análisis del comportamiento de un motor. Esta interfaz permite que el usuario ingrese los datos del motor como diámetro, carrera, potencia, torque, entre otros para poder obtener la cilindrada del motor, las temperaturas y presiones máximas de cada ciclo, calor, masa de aire, rendimiento y consumo de combustible. El programa permite realizar la comparación entre un ciclo Otto, CIMA y Atkinson.

Un motor diésel conocido como motor MAE (motor de autoencendido) es definido según [7] como un motor que produce la combustión mediante compresión de aire, el cual alcanza la temperatura de autoencendido del combustible que en este caso es el Diésel. Un motor MAE se diferencia de un Otto debido a que carece de un sistema de encendido externo, durante la admisión solo ingresa aire, y la gasolina ingresa mediante inyección directa [8, 54].

La dimensión de un motor de combustión interna está relacionada con una serie de parámetros como: diámetro del cilindro, carrera del pistón, cilindrada, cilindrada unitaria, número de cilindros, volumen de la cámara de combustión, longitud del cigüeñal. Dependiendo de las dimensiones que adopte cada parámetro la potencia del motor aumentará o disminuirá [9, 55].

La eficiencia de la combustión depende del combustible utilizado y los motores MAE necesitan uno cuya resistencia a la auto detonación sea muy baja y ese es el Diésel o Gasoil (C12H26). Posee una densidad de 850 kg/m³ y un poder calorífico de 42600 kJ/kg [10].

Otro elemento clave a tener en cuenta al momento de diseñar un motor es conocer el proceso de combustión que se realiza y cuáles son los productos a obtener. Un motor diésel presenta los siguientes gases de escape: monóxido de carbono, dióxido de carbono, agua, nitrógeno y oxígeno cada uno en distinta proporción [11, 56].

2 Preliminares

La lógica difusa es un modo de razonamiento que aplica valores múltiples de verdad o confianza a las categorías restrictivas durante la resolución de problemas. El conjunto es una colección de objetos que pueden clasificarse

gracias a las características que tienen común. Se define de dos formas: por extensión ($\{a, e, i, o, u\}$) o por comprensión.

Un conjunto booleano A es una aplicación de un conjunto referencial S en el conjunto $\{0, 1\}$, $A : S \rightarrow \{0,1\}$, y se define con una función característica:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1 & \text{si } x \in A \\ 0 & \text{si } x \notin A \end{cases} \quad (1)$$

Los conjuntos difusos dan un valor cuantitativo a cada elemento, el cual representa el grado de pertenencia al conjunto [12], [13].

Un conjunto difuso A es una aplicación de un conjunto referencial S en el intervalo $[0, 1]$

$A: S \rightarrow [0,1]$, y se define por medio de una función de pertenencia: $0 \leq \mu_A(x) \leq 1$.

Mientras más cercano esté el valor a 0 menos podemos asegurar la pertenencia de un elemento a un conjunto [12], [14], [15, 53]. Por el contrario cuanto más cercano esté el valor a 1 más podemos asegurar la pertenencia del elemento al conjunto [16-18].

Puede representarse como un conjunto de pares ordenados de un elemento genérico x , $x \in A$ y su grado de pertenencia $\mu_A(x)$:

$$A = \{(x, \mu_A(x)), \mu_A(x) \in [0,1]\} \quad (2)$$

El trabajo con lógica difusa puede ser representado con el empleo de variables lingüísticas para mejorar la interpretabilidad de los datos. Las variables lingüísticas son aquellas del lenguaje natural caracterizadas por los conjuntos difusos definidos en el universo de discurso en la cual se encuentran definidas [19], [20], [21].

Para definir un conjunto de términos lingüísticos se debe establecer previamente la granularidad de la incertidumbre del conjunto de etiquetas lingüísticas con el que se va a trabajar [22], [22], [23]. La granularidad de la incertidumbre es la representación cardinal del conjunto de etiquetas lingüísticas usadas para representar la información.

El grado de pertenencia de un elemento $M(x)$ a un conjunto difuso será determinado por funciones de pertenencia [24, 25, 54]. Las funciones típicas de pertenencia más abordadas en la literatura científica son [26], [27], [28]:

Función Triangular, Función Trapezoidal, Función Gaussiana.

Función Triangular: Definido por sus límites inferior a y superior b , y el valor modal m , tal que $a < m < b$ [29], [30], [31], [32].

$$A(x) = \begin{cases} 0 & \text{si } x \leq a \\ \frac{(x-a)}{(m-a)} & \text{si } a < x \leq m \\ \frac{(b-x)}{(b-m)} & \text{si } m < x < b \\ 0 & \text{si } x \geq b \end{cases} \quad (3)$$

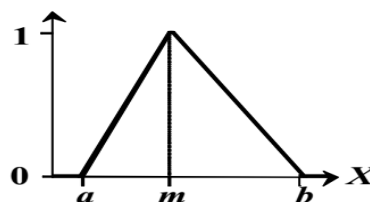


Figura. 1. Función triangular.

Función Trapezoidal: Definida por sus límites inferior a y superior d , y los límites b y c , correspondientes al inferior y superior respectivamente de la meseta [33], [30],[34] .

$$A(x) = \begin{cases} 0 & \text{si } x \leq a \text{ o } x \geq d \\ \frac{(x-a)}{(b-a)} & \text{si } a < x < b \\ 1 & \text{si } b \leq x \leq c \\ \frac{(d-x)}{(d-c)} & \text{si } c < x < d \end{cases} \quad (4)$$

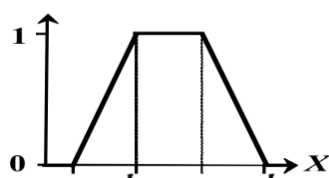


Figura. 2. Función trapezoidal.

Función Gaussiana. Definida por su valor medio m y el valor $k > 0$. Es la típica campana de Gauss (mayor k , más estrecha es la campana) [35], [36], [37, 53].

$$A(x) = e^{-k(x-m)^2} \quad (5)$$

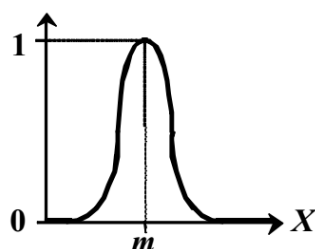


Figura. 3. Función gaussiana.

Sobre los conjuntos difusos se pueden realizar operaciones lógicas de intersección (conjunción), la unión (disyunción) y el complemento (negación). Para hacer dichas operaciones se pueden utilizar las T-Normas y las S-Normas. Las T-Normas especifican las condiciones que deben reunir las operaciones para interceptar conjuntos y las S-Normas lo hacen para las uniones [38, 39, 53].

Las intersecciones ocurren en las conjunciones y las contribuciones, de forma parecida las uniones ocurren en las disyunciones y el global [40, 41, 57]. Estas operaciones son realizadas en los sistemas expertos para calcular los factores de certeza de las reglas de producción. Según las T-Normas y las S-Normas estas operaciones cumplen con las siguientes condiciones:

Es una operación T-norma si cumple las siguientes propiedades:

- 1 Conmutativa $T(x, y) = T(y, x)$ (6)

- 2 Asociativa $T(x, T(y, z)) = T(T(x, y), Z)$. (7)

- 3 Monótono creciente $T(x, y) > T(x, y)$ si $x \geq x' \cap y \geq y'$ (8)

- 4 Elemento neutro $T(x, 1) = x$ (9)

Es una operación T-conorma si cumple las siguientes propiedades:

- 1 Conmutativa $S(x, y) = T(y, x)$ (10)

- 2 Asociativa $S(x, S(y, z)) = S(S(x, y), Z)$ (11)

- 3 Monótono creciente $S(x, y) > T(x, y)$ si $x \geq x' \cap y \geq y'$ (12)

- 4 Elemento neutro $S(x, 1) = x$ (13)

En un sistema expresado mediante lógica difusa se tienen variables lingüísticas, sus etiquetas, las funciones de pertenencia de las etiquetas, las reglas de producción y los factores de certeza asociados a estas reglas. Como datos de entrada al sistema se tienen valores numéricos que toman las variables lingüísticas.

Los valores de entradas se convierten en valores de pertenencia a etiquetas difusas que son equivalentes a los factores de certeza [42]. Este proceso se llama Fuzzyficación, dado que convierte valores numéricos a difusos.

A partir de estos valores obtenidos en el proceso de Fuzzyficación ocurre el proceso de propagación de certeza

usando las reglas de producción definidas. Este es el proceso de Inferencia Fuzzy, en el cual se utilizan las funciones de las T-Normas y las S-Normas [43], [44, 58].

Obteniéndose como resultados valores de certeza que se refieren a las pertenencias a los conjuntos de salida. A partir de los valores de pertenencia a las variables lingüísticas de salida hay que obtener los valores numéricos de estas y a este proceso se le denomina Desfuzzyficación. La Desfuzzyficación de las variables puede realizarse por el Método del Centroide que constituye el más utilizado para este proceso [45], [46], [47]. La figura 4 muestra un esquema de un sistema expresado mediante lógica difusa.

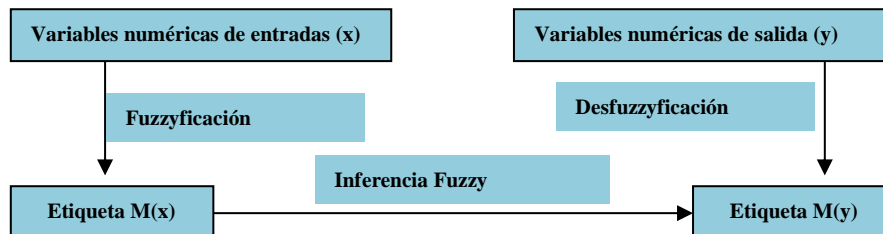


Figura. 4. Esquema de un sistema expresado mediante lógica difusa.

Los números neutrosóficos se definen como: un $N = \{(T, I, F) : T, I, F \subseteq [0, 1] \}$, una valoración neutrosófica es un mapeo de un grupo de fórmulas proporcional a N , esto es que por cada oración p tiene:

$$v(p) = (T, I, F) \tag{14}$$

Con el propósito de facilitar la aplicación práctica a la toma de decisiones y problemas de ingeniería, se realizó la propuesta de las Unidades Neutrosóficas de Valor Único. (SVN) [48],[49], [50, 53], que permiten el uso de variables lingüísticas [51], [52], [54], lo que aumenta la forma de interpretar los modelos de recomendación y el uso de la indeterminación.

Sea X un universo de habla. Un SVN sobre X es un objeto de la forma.

$$A = \{ \langle x, u_A(x), r_A(x), v_A(x) \rangle : x \in X \} \tag{15}$$

3 Método difuso neutrosófico para calcular los parámetros del motor de combustión

Según [5] se debe calcular varios parámetros efectivos y específicos del motor de combustión como aire, presión y temperatura de todos los ciclos: admisión, compresión, ignición, expansión y escape. Los parámetros más importantes en la metodología del diseño de motores son los valores de la temperatura y presión al final de cada proceso termodinámico del motor, medidos en Kelvin (K) y Kilopascales (kPa) respectivamente. Sin embargo, existen varios valores que se asumieron dependiendo de las respectivas necesidades del motor [9, 53].

Una vez identificados los parámetros del motor y la forma de calcularlos se debe considerar las propiedades iniciales, como la potencia y caracterización general del motor. En este estudio se procedió a dimensionar un motor que sea capaz de impulsar un autobús. Se utilizó como referencia los parámetros de un autobús de la marca Mercedes Benz de carrocería con modelo OF 1721, el cual presenta las siguientes características:

Tabla 1. Características del motor MAE

Variable	Símbolo	Magnitud	Unidad
Velocidad angular	n	2200	RPM
Potencia nominal	Ne	153	KW

En [2] se define a los ciclos termodinámicos de un motor Diesel de la siguiente forma: el ciclo de compresión y expansión es isentrópico; el suministro de calor es isobárico y el escape isobárico. Esto significa que para iniciar los cálculos empleando las ecuaciones y metodología empleada por [3], se debe conocer el valor de la presión y temperatura ambiental. Asumiendo de acuerdo a la zona geográfica donde se realizó el documento siendo los siguientes valores:

Tabla 2. Condiciones ambientales promedio

Variable	Símbolo	Magnitud	Unidad
Temperatura ambiente	To	293	K
Presión ambiente	Po	100	KPa

Temperatura al final de la admisión

$$T_a = \frac{T_k + \Delta T + \gamma_r \cdot T_r}{1 + \gamma_r}$$

Donde

- T_a = Temperatura al final del proceso de admisión (K).
- T_k =Temperatura ambiental (K).
- ΔT =Variación de temperatura (asumido entre 20-40K).
- γ_r =Coeficiente de gases residuales (asumido entre 0,03-0.06).
- T_r =Temperatura de gases residuales (asumido entre 700-900K).

Presión al final de la admisión

$$P_a = P_k - (\beta^2 + E_{ad}) \cdot \frac{wad^2}{2} \cdot \rho_k$$

Donde

- P_a = Presión al final del proceso de admisión (kPa).
- P_k =Temperatura ambiental (kPa).
- β =Coeficiente de amortiguamiento.
- E =Coeficiente global de resistencia del sistema de admisión.
- $\beta^2 + E_{ad}$ = Asumido entre 2,5-4.
- wad =Velocidad promedio de la mezcla (asumido entre 50-130m/s).
- ρ_k = Densidad del aire

Temperatura al final de la compresión

$$T_c = T_a \cdot \varepsilon^{n_1 - 1}$$

Donde

- T_c =Temperatura al final de la compresión (K)
- ε =Relación de compresión.
- n_1 =Coeficiente politrópico de compresión (asumido entre 1,32-1,4)

Presión al final de la compresión

$$P_c = P_a \cdot \varepsilon^{n_1}$$

Donde:

- P_c =Presión al final de la compresión (kPa).

Temperatura al final de la combustión

$$T_z = \frac{\frac{1}{\beta} \left[\frac{E \cdot H_u}{M_1(1 + \gamma)} + u_{cm} + \lambda \cdot 8,314 \cdot T_c \right]}{\left(44,903 \cdot \frac{M_{CO_2}}{M_2} + 34,261 \cdot \frac{M_{H_2O}}{M_2} + 24,434 \cdot \frac{M_{N_2}}{M_2} + 26,343 \cdot \frac{M_{O_2}}{M_2} \right) + 8,314}$$

Donde

- T_z =Temperatura al final de la combustión (K).
- β =Coeficiente real de variación molecular.
- E =Grado de aprovechamiento de calor (asumido entre 0,7-0,85).
- H_u =Poder calorífico del combustible (42600kJ/kg).
- M_1 =Cantidad de mezcla fresca (kmol).
- u_{cm} =Calor moral (kJ/kmol).
- λ =Grado de elevación de la presión (asumido entre 1,4-2,2).
- M_2 =Cantidad de productos de combustión (kmol).
- M_x =Cantidad de cada producto de combustión (kmol).

Presión al final de la combustión

$$P_z = \lambda \cdot P_c$$

Donde:

- P_z =Presión al final de la combustión (kPa).

Temperatura al final de la expansión

$$T_b = \frac{T_z}{\delta^{n_2-1}}$$

Donde

- T_b =Temperatura al final de la expansión (K).
- δ =Grado de expansión ulterior.
- n_2 =Coeficiente politrópico de expansión (asumido entre 1,18-1,28)

Presión al final de la expansión

$$P_b = \frac{P_z}{\delta^{n_2}}$$

Donde:

P_b =Presión al final de la expansión (kPa).

Cilindrada

$$V_h = \left(\frac{120 \cdot N_e}{\frac{P_e}{1000} \cdot n \cdot i} \right) \div 1000$$

Donde:

- V_h =Cilindrada unitaria (m³).
- N_e =Potencia nominal (kW).
- n =Velocidad angular (RPM).
- i =número de cilindros

Diámetro del cilindro

$$D = \left(\sqrt[3]{\frac{4 \cdot V_h}{\pi}} \right) \cdot 1000$$

Donde:

- D =Diámetro del cilindro redondeado a entero (mm).

Carrera

$$S = \left(\frac{S}{D} \right) \cdot D$$

Donde

- S =Carrera redondeado a entero (mm).
- S/D =Relación Carrera/Diámetro (asumido)

Longitud del codo

$$R = \frac{S}{2}$$

Donde:

- R =Longitud del codo redondeado a entero (mm).

Longitud del cigüeñal

$$L = \frac{R}{\left(\frac{R}{L} \right)}$$

Donde

- L =Longitud del cigüeñal redondeado a entero (mm).
- R/L =Relación Codo/Cigüeñal (asumido entre 0,25-0,3).

4 Resultados y discusión

Una vez diseñado el método neutrosófico, se procedió a elaborar el código de programación, para el cual se utilizó una interfaz gráfica facilitando su comprensión y utilización:

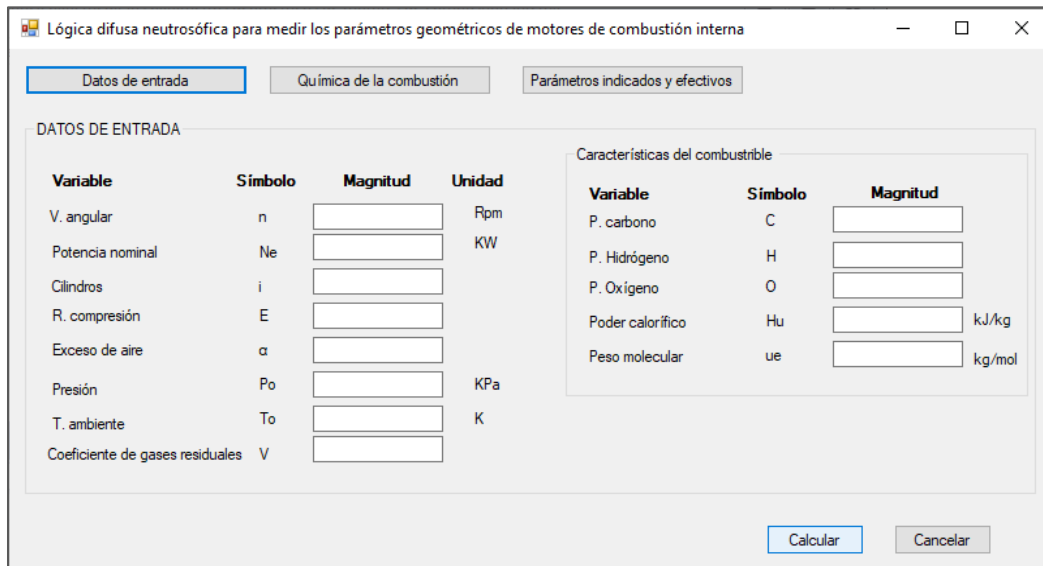


Figura 5. Interfaz gráfica del sistema computacional: Datos de entrada.

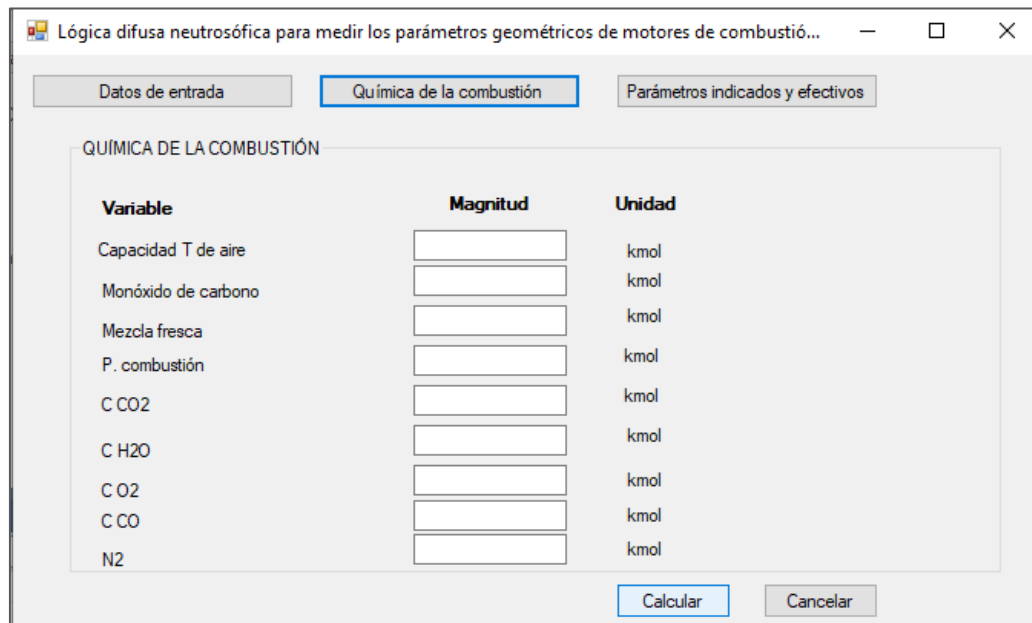


Figura 6. Interfaz gráfica del sistema computacional: Química de la combustión.

A continuación, se presentan todos los valores calculados por el programa de autoría propia. Los valores fueron asumidos de acuerdo a las condiciones del país y de acuerdo a los criterios establecidos. Finalmente, se procedió a dimensionar la cámara de combustión separada y no separada. Los resultados expresados en la Tabla 3, fueron calculados asumiendo que la cámara de combustión se encontraba separada dado que la mayoría de los motores MAE, optan por esto dado que reduce el tamaño general del motor.

Tabla 3. Dimensiones del motor.

Variable	Símbolo	Magnitud	Unidad
Cilindrada	Vh	0,0047	mm ³
Díámetro	D	182	mm
Carrera	S	182	mm
Veloc. Media	Vm	13,35	m/s
Codo	R	91	mm
Cigüeñal	L	337	mm

Se puede evidenciar que las dimensiones del motor están dentro del rango de valores normales y adecuados para un autobús, por lo tanto, para que el autobús tenga una potencia de 153kW a 2200PRM hay que tener presentes dichos valores al momento de fabricar el motor. Cabe recalcar que dichos valores se encuentran dentro de los valores más comunes para un motor de combustión interna diésel, los cuales tienden a ser grandes y robustos.

Así mismo la herramienta computacional desarrollada permite visualizar varios parámetros del motor al igual que otros trabajos los cuales mediante distintos métodos y herramientas consiguen calcular el tamaño del motor y la temperatura y presión al final de cada ciclo. [59, 60]

5 Conclusión

Un motor de combustión interna del ciclo diésel se encuentra presente en todos los vehículos pesados y poseen los siguientes ciclos termodinámicos: admisión, compresión, expansión y escape. El encendido del combustible se realiza mediante la compresión del aire hasta que alcance la temperatura de autoignición del diésel. El combustible es inyectado directamente en la cámara de combustión.

En base al análisis realizado se concluye que las herramientas computacionales son de mucha importancia para el diseño de motores de combustión interna pues agilizan todo el proceso. Así mismo permite visualizar todos los parámetros al mismo tiempo y analizar su comportamiento en distintas condiciones. Su impacto ha llegado a todos los rincones del mundo hasta el punto de que existen muchos software especializados en el desarrollo de estas herramientas.

Se consiguió diseñar un programa con la capacidad de calcular automáticamente las dimensiones de los principales componentes del motor MAE capaz de impulsar un autobús de la marca Mercedes Benz con modelo de chasis OF 1721 resultando en los siguientes valores. Se recomienda a todas las empresas automotrices que se inspiren en el presente documento para desarrollar sus propias herramientas o aplicaciones para diseñar de forma automática y rápida varios componentes automotrices, pero en especial motores de combustión interna, pues ese es el elemento más importante de un vehículo y es lo único que no tienen un desarrollo a gran escala. Si se consigue establecer la industria de desarrollo de motores térmicos se podrá desarrollar una industria automotriz cien por ciento ecuatoriano.

Referencias

- [1] AEADE, "Anuario 2023. Quito: Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador,," 2023.
- [2] J. J. P. Arregle, J. Galindo Lucas, J. V. Pastor Soriano, J. R. Serrano Cruz, J. A. Broatch Jacobi, J. M. Lujan Martinez, R. Payri Marín, and A. J. Torregrosa Huguet, *Procesos y tecnología de máquinas y motores térmicos*: Editorial Universitat Politècnica de València, 2020.
- [3] E. Heano, C. A. Romero-Piedrahita, and H. Quintero, "Sistematización de los cálculos de prediseño de los motores de combustión interna," *Revista UIS Ingenierías*, vol. 18, no. 3, pp. 47-58, 2019.
- [4] J. J. Maza Manzanillas, and L. H. Zhañay Guapisaca, "Desarrollo de una aplicación móvil Android como herramienta de estudio de los parámetros geométricos de un motor de combustión interna alternativo," 2022.
- [5] S. Valencia-Cañola, K. Téllez-Soleimán, T. Kadowaki-Jiménez, and C. Bustamante-Chaverra, "Diseño de una herramienta computacional para el análisis termodinámico de motores de combustión interna tipo Otto," *Revista UIS ingenierías*, vol. 21, no. 1, pp. 43-55, 2022.
- [6] G. A. Espinosa Chamba, and W. J. Aguirre Franco, "Desarrollo de un software para calcular los parámetros de torque y potencia en motores de encendido provocado utilizando una plataforma de programación y cálculo numérico," 2023.
- [7] J. L. Morocho Medina, and J. F. Nagua Uyaguari, "Análisis del comportamiento de motores de combustión interna ciclo Otto y Diésel durante el efecto producido por averías en el sistema electrónico," 2019.
- [8] E. J. Kates, and W. E. Luck, *Motores diesel y de gas de alta compresión*: Reverté, 2021.
- [9] F. Payri González, and J. M. Desantes Fernández, *Motores de combustión interna alternativos*: Editorial Universitat politècnica de valencia, 2011.
- [10] C. E. Erazo Mora, "Diagnóstico de Motores Diesel Mediante Análisis de Emisiones de Gases," 2022.
- [11] C. M. Y. Campus, S. L. P. Ayala, and L. C. Quishpe, "Características y factibilidad del sistema de inyección a Diesel: Una revisión bibliográfica," *Polo del Conocimiento: Revista científico-profesional*, vol. 7, no. 9, pp. 1626-1641, 2022.
- [12] L. A. Lumba, U. Khayam, and L. S. Lumba, "Application of Fuzzy Logic for Partial Discharge Pattern Recognition." pp. 210-215.
- [13] M. Chang, K. Kim, and D. Jeon, "Research on Terrain Identification of the Smart Prosthetic Ankle by Fuzzy Logic," *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, vol. 27, no. 9, pp. 1801-1809, 2019.
- [14] I. Soesanti, and R. Syahputra, "A Fuzzy Logic Controller Approach for Controlling Heat Exchanger Temperature," *Journal of Electrical Technology UMY*, vol. 3, no. 4, pp. 206-213, 2020.
- [15] S. Zhang, X. Huang, J. Min, Z. Chu, X. Zhuang, and H. Zhang, "Improved fuzzy logic method to distinguish between meteorological and non-meteorological echoes using C-band polarimetric radar data," *Atmospheric Measurement Techniques*, vol. 13, no. 2, pp. 537-537, 2020.

- [16] J. E. Ricardo, M. Y. L. Vázquez, A. J. P. Palacios, and Y. E. A. Ojeda, "Inteligencia artificial y propiedad intelectual," *Universidad y Sociedad*, vol. 13, no. S3, pp. 362-368, 2021.
- [17] I. A. González, A. J. R. Fernández, and J. E. Ricardo, "Violación del derecho a la salud: caso Albán Cornejo Vs Ecuador," *Universidad Y Sociedad*, vol. 13, no. S2, pp. 60-65, 2021.
- [18] G. Á. Gómez, J. V. Moya, J. E. Ricardo, and C. V. Sánchez, "La formación continua de los docentes de la educación superior como sustento del modelo pedagógico," *Revista Conrado*, vol. 17, no. S1, pp. 431-439, 2021.
- [19] J. Ye, "Multiple attribute group decision making based on interval neutrosophic uncertain linguistic variables," *International Journal of Machine Learning and Cybernetics*, vol. 8, no. 3, pp. 837-848, 2017.
- [20] P. Liu, and F. Teng, "An extended TODIM method for multiple attribute group decision-making based on 2-dimension uncertain linguistic Variable," *Complexity*, vol. 21, no. 5, pp. 20-30, 2016.
- [21] J. Fan, S. Yu, J. Chu, D. Chen, M. Yu, T. Wu, J. Chen, F. Cheng, and C. Zhao, "Research on multi-objective decision-making under cloud platform based on quality function deployment and uncertain linguistic variables," *Advanced Engineering Informatics*, vol. 42, pp. 100932, 2019.
- [22] C. Li, and J. Yuan, "A new multi-attribute decision-making method with three-parameter interval grey linguistic variable," *International Journal of Fuzzy Systems*, vol. 19, no. 2, pp. 292-300, 2017.
- [23] S. Xian, Z. Yang, and H. Guo, "Double parameters TOPSIS for multi-attribute linguistic group decision making based on the intuitionistic Z-linguistic variables," *Applied Soft Computing*, vol. 85, pp. 105835, 2019.
- [24] S. D. Álvarez Gómez, A. J. Romero Fernández, J. Estupiñán Ricardo, and D. V. Ponce Ruiz, "Selección del docente tutor basado en la calidad de la docencia en metodología de la investigación," *Conrado*, vol. 17, no. 80, pp. 88-94, 2021.
- [25] J. E. Ricardo, V. M. V. Rosado, J. P. Fernández, and S. M. Martínez, "Importancia de la investigación jurídica para la formación de los profesionales del Derecho en Ecuador," *Dilemas Contemporáneos: Educación, Política y Valores*, 2020.
- [26] R. Ahsan, T. T. Chowdhury, W. Ahmed, M. A. Mahia, T. Mishma, M. R. Mishal, and R. M. Rahman, "Prediction of Autism Severity Level in Bangladesh Using Fuzzy Logic: FIS and ANFIS." pp. 201-210.
- [27] E. Kayacan, S. Coupland, R. John, and M. A. Khanesar, "Elliptic membership functions and the modeling uncertainty in type-2 fuzzy logic systems as applied to time series prediction." pp. 1-7.
- [28] M. M. G. Lorenzo, and R. E. B. Pérez, "A model and its different applications to case-based reasoning," *Knowledge-based systems*, vol. 9, no. 7, pp. 465-473, 1996.
- [29] Y. Li, and S. Tong, "Adaptive fuzzy control with prescribed performance for block-triangular-structured nonlinear systems," *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, vol. 26, no. 3, pp. 1153-1163, 2017.
- [30] V. Kreinovich, O. Kosheleva, and S. N. Shahbazova, "Why triangular and trapezoid membership functions: A simple explanation," *Recent Developments in Fuzzy Logic and Fuzzy Sets*, pp. 25-31: Springer, 2020.
- [31] G. Nápoles, I. Grau, and R. Bello, "Constricted Particle Swarm Optimization based algorithm for global optimization," *Polibits*, no. 46, pp. 05-11, 2012.
- [32] O. Mar, I. Santana, YunweiChen, and G. Jorge, "Model for decision-making on access control to remote laboratory practices based on fuzzy cognitive maps," *Revista Investigación Operacional*, vol. 45, no. 3, pp. 369-380, 2024.
- [33] S. Mustafa, S. Asghar, and M. Hanif, "Fuzzy logistic regression based on least square approach and trapezoidal membership function," *Iranian Journal of Fuzzy Systems*, vol. 15, no. 6, pp. 97-106, 2018.
- [34] R. Bello, A. Puris, A. Nowe, Y. Martínez, and M. M. García, "Two step ant colony system to solve the feature selection problem." pp. 588-596.
- [35] S. Azimi, and H. Miar-Naimi, "Designing programmable current-mode Gaussian and bell-shaped membership function," *Analog Integrated Circuits and Signal Processing*, vol. 102, no. 2, pp. 323-330, 2020.
- [36] A. C. Tolga, I. B. Parlak, and O. Castillo, "Finite-interval-valued Type-2 Gaussian fuzzy numbers applied to fuzzy TODIM in a healthcare problem," *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 87, pp. 103352, 2020.
- [37] A. Dorzhigulov, and A. P. James, "Deep Neuro-Fuzzy Architectures," *Deep Learning Classifiers with Memristive Networks*, pp. 195-213: Springer, 2020.
- [38] M. Bello, G. Nápoles, K. Vanhoof, and R. Bello, "Data quality measures based on granular computing for multi-label classification," *Information Sciences*, vol. 560, pp. 51-67, 2021.
- [39] R. Bello, A. Nowe, Y. Caballero, Y. Gómez, and P. Vrancx, "A model based on ant colony system and rough set theory to feature selection." pp. 275-276.
- [40] J. E. Ricardo, J. J. D. Menéndez, and R. L. M. Manzano, "Integración universitaria, reto actual en el siglo XXI," *Revista Conrado*, vol. 16, no. S 1, pp. 51-58, 2020.
- [41] J. E. Ricardo, N. B. Hernández, R. J. T. Vargas, A. V. T. Suntuaxi, and F. N. O. Castro, "La perspectiva ambiental en el desarrollo local," *Dilemas contemporáneos: Educación, Política y Valores*, 2017.
- [42] O. Mar Cornelio, Y. Zulueta Véliz, and M. Leyva Vázquez, "Sistema de apoyo a la toma de decisiones para la evaluación del desempeño en la Universidad de las Ciencias Informáticas," 2014.
- [43] A. Motylska-Kuźma, and J. Mercik, "Fuzzyfication of Repeatable Trust Game." pp. 135-144.
- [44] M. Kankaras, and I. Cristea, "Fuzzy Reduced Hypergroups," *Mathematics*, vol. 8, no. 2, pp. 263, 2020.
- [45] K. Kolekar, B. Bardhan, T. Hazra, and S. Chakrabarty, "Fuzzy Logic Modelling to Predict Residential Solid Waste Generation: A Case Study of Baranagar," *Waste Management and Resource Efficiency*, pp. 1155-1166: Springer, 2019.
- [46] U. Shrivastav, S. K. Singh, and A. Khamparia, "A Nobel Approach to Detect Edge in Digital Image Using Fuzzy Logic." pp. 63-74.

- [47] J. Silva, D. Marques, R. Aquino, and O. Nobrega, "A PLC-based Fuzzy Logic Control with Metaheuristic Tuning," *Studies in Informatics and Control*, vol. 28, no. 3, pp. 265-278, 2019.
- [48] H. Wang, F. Smarandache, Y. Zhang, and R. Sunderraman, "Single valued neutrosophic sets," *Review of the Air Force Academy*, no. 1, pp. 10, 2010.
- [49] S. Pramanik, R. Roy, T. K. Roy, and F. Smarandache, "Multi attribute decision making strategy on projection and bidirectional projection measures of interval rough neutrosophic sets," *Neutrosophic Sets and Systems*, vol. 19, pp. 101-109, 2018.
- [50] F. Ahmad, A. Y. Adhami, and F. Smarandache, "Single valued neutrosophic hesitant fuzzy computational algorithm for multiobjective nonlinear optimization problem," *Neutrosophic sets and systems*, vol. 22, pp. 76-86, 2018.
- [51] M. Y. L. Vázquez, K. Y. P. Teurel, A. F. Estrada, and J. G. González, "Modelo para el análisis de escenarios basados en mapas cognitivos difusos: estudio de caso en software biomédico," *Ingeniería y Universidad: Engineering for Development*, vol. 17, no. 2, pp. 375-390, 2013.
- [52] J. L. G. González, and O. Mar, "Algoritmo de clasificación genética para la generación de reglas de clasificación," *Serie Científica*, vol. 8, no. 1, 2015.
- [53] Estupiñán Ricardo, J., Leyva Vázquez, M., & Romero Fernández, A. "Evaluación del aprendizaje basado en proyectos". *Investigación Operacional*, vol. 43 núm. 3, pp 409-419, 2022.
- [54] Velázquez-Soto, O. E., Muñoz, E. E. C., Vázquez, M. Y. L., Chieng, L. Y. D., & Ricardo, J. E. "Analysis of Scientific Production on Neutrosophy: A Latin American Perspective". *Neutrosophic Sets and Systems*, vol. 67, pp 285-306, 2024.
- [55] Vallejo Lalangui, R. E. "Inaplicación de los principios que rigen el derecho a la Seguridad Social y su incidencia en la vulneración de derechos constitucionales de los afiliados, en el cantón Guayaquil, año 2020" (Master's thesis), 2022.
- [56] Díaz Coba, M. P. "El procedimiento abreviado vulnera el Derecho Constitucional a la no autoincriminación en el cantón Otavalo, año 2020". (Master's thesis), 2022.
- [57] Ayon Tovar, A. B. "La supresión de puestos de trabajo en el sector público, y su afectación en los derechos constitucionales, en los ríos, en el año 2020." (Master's thesis), 2022.
- [58] Huera Ayala, M. A. "El bloqueo de la cédula de ciudadanía por supuesta doble inscripción vulnera el derecho a la identidad en los habitantes de la ciudad de Tulcán en el año 2020". (Master's thesis), 2022.
- [59] Pérez Ortiz, B. M. "La eutanasia, en enfermedades terminales un derecho a tomar decisiones libres, informadas y voluntarias sobre la vida en el Ecuador, año 2020. "(Master's thesis), 2022.
- [60] Vásquez, Á. B. M., Carpio, D. M. R., Faytong, F. A. B., & Lara, A. R. "Evaluación de la satisfacción de los estudiantes en los entornos virtuales de la Universidad Regional Autónoma de Los Andes". *Dilemas contemporáneos: Educación, Política y Valores*, 2024.

Recibido: Septiembre 25, 2023. Aceptado: Octubre 18, 2023