

Evaluation of the Gasoline Engines Behavior by the Air Flow Simulation Through the Throttle body

Evaluación del Comportamiento de Motores a Gasolina Mediante Simulación del Flujo de Aire a Través del Cuerpo de Aceleración

 A. Argüello¹

 W. Quitiaquez¹

 I. Simbaña²

 P. Quitiaquez¹

¹Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador

E-mail: aarguello@est.ups.edu.ec; wquitiaquez@ups.edu.ec; rquitiaquez@ups.edu.ec

²Instituto Superior Universitario Sucre, Quito, Ecuador

E-mail: isimbana@tecnologicosucre.edu.ec

Abstract

This investigation analyzed the throttle body of a 1.1 L small gasoline engine. The electronic control module receives the information from sensors, pressure, temperature, and throttle valve position, to do calculations, determining the amount of necessary fuel injection to produce combustion. The objective of this work was to increase the airflow that enters to the intake manifold, by using computational fluid dynamics (CFD). Two butterfly valve models were analyzed, the original one, where the internal behavior of the throttle body was studied, in pressures and flows. While the second one was a modified model, with a cut in the axis of rotation, to propose an increase in the air flow to the intake manifold. Four simulations were carried out, with a relative opening of 0, 20, 40 and 78 %, obtaining average pressure values between 31.35 to 70.05 kPa, besides average flows at the outlet of the intake body of 6.72 to 58.71 g·m⁻¹ as the throttle valve opens. For data validation, the obtained outlet pressures with the absolute pressure sensor of the intake manifold were compared to the simulation values. Without having experimental data for the mass flow rate, the analysis was developed between the two simulated models, with an average flow rate of 28.22 g·m⁻¹ and an increase of 9% in mass flow rate in the modified body. As the throttle opening increases, the pressure values become similar.

Index terms— Gasoline engine, simulation, air flow, throttle body.

Resumen

En esta investigación, se analizó el cuerpo de aceleración de un motor pequeño a gasolina, de 1.1 L. El módulo de control electrónico recibe la información de los sensores de presión, temperatura y posición de la válvula de mariposa de aceleración, para efectuar los cálculos que determinan la cantidad de inyección de combustible necesario para producir la combustión. El objetivo de este trabajo fue aumentar el flujo de aire que ingresa al colector de admisión, utilizando dinámica de fluidos computacionales (CFD). Se analizó dos modelos de válvula de mariposa, el original, en donde se estudió el comportamiento interno del cuerpo de aceleración, tanto en presiones como flujos. Mientras que, el segundo modelo modificado, con un corte en el eje de rotación, en donde se propone un aumento en el flujo de aire hacia el colector de admisión. Se realizaron cuatro simulaciones, con apertura relativa de 0, 20, 40 y 78 %, obteniendo valores de presiones promedio entre 31.35 a 70.05 kPa, además de flujos promedios a la salida del cuerpo de admisión de 6.72 a 58.71 g·m⁻¹ a medida que se abre la válvula de mariposa de aceleración. Para la validación de datos, se comparó las presiones de salida obtenida con el sensor de presión absoluta del colector de admisión respecto a los valores de las simulaciones. Sin disponer de un dato experimental para el flujo másico, se realizó el análisis entre los dos modelos simulados, con una media de flujo de 28.22 g·m⁻¹ y un aumento de flujo másico del 9 % en el cuerpo modificado. A medida que aumenta la apertura de la mariposa, los valores de presión se asemejan.

Palabras clave— Motor a gasolina, simulación, flujo de aire, cuerpo de aceleración.

Recibido: 28-04-2023, Aprobado tras revisión: 14-06-2023

Forma sugerida de citación: Argüello, A.; Quitiaquez, W.; Simbaña, I.; Quitiaquez, P. (2023). "Evaluación del Comportamiento de Motores a Gasolina Mediante Simulación del Flujo de Aire a Través del Cuerpo de Aceleración". Revista Técnica "energía". No. 20, Issue I, Pp. 100-108

ISSN On-line: 2602-8492 - ISSN Impreso: 1390-5074

Doi: <https://doi.org/10.37116/revistaenergia.v20.n1.2023.583>

© 2023 Operador Nacional de Electricidad, CENACE



1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de admisión de aire automotrices de hoy en día son diseñados para cumplir los requisitos de empaque del aire, tasas de flujo más altas, menor caída de presión, menor ruido, mejor economía de combustible, mayor velocidad y aceleración del vehículo, compatibilidad con altas temperaturas, resistencia a la corrosión, facilidad de servicio y rentabilidad [1]. Los combustibles fósiles son la principal forma de generación de energía actualmente en el campo automotriz. Sinigaglia et al. [2] indican que, los motores de combustión interna (MCI) impulsan el 99 % de todos los vehículos de carretera. Además, se ha establecido que tienen una madurez tecnológica del 81.77 % y se estima que tengan aproximadamente 27 años de tiempo restante. Los estudios y análisis de sistemas buscan mejorar la eficiencia en la combustión interna, antes que la mayoría de los vehículos pasen a la electrificación total. Por lo que el consumo de combustibles fósiles disminuiría su uso en gran cantidad o llegue a ser obsoleto, porque el avance tecnológico tiende a buscar el uso de energías limpias.

La dinámica de fluidos computacional (CFD, por sus siglas en inglés) permite realizar simulaciones sobre el comportamiento del aire a través del cuerpo de aceleración [3]. Ashraf et al. [4] realizaron un análisis de los efectos del cuerpo de aceleración de mariposa para su reemplazo por un cuerpo de aceleración de barril. La placa del acelerador de mariposa más utilizada en vehículos comerciales llega a afectar el rendimiento del motor, al incurrir en algunas pérdidas. Los resultados obtenidos en la simulación CFD de la válvula de mariposa en apertura hasta 30 ° mostraron una pérdida de bombeo entre las aperturas del acelerador de 30 y 70 °. Los dos diseños han mostrado un rendimiento similar, pero cuando la apertura fue mayor a 70 °, se observó una mejora significativa del 34 % en la tasa de flujo másico, con el aumento del rendimiento del motor.

Aproximadamente, en los últimos 50 años, desde la aparición del primer sistema de inyección electrónica creado por Bosh, el D-Jetronic, la forma en la que se alimenta un MCI ha evolucionado con la ayuda de la electrónica y los sistemas de control. En el pasado, los estudios estaban guiados al carburador, que se encargaba de realizar la mezcla. Vinoth et al. [5] presentaron un modelo de carburador utilizando CFD. Demostraron que, para ángulos de válvula de aceleración de 0, 30, 60, 90 °, la presión de aire al comienzo del Venturi disminuye con el aumento del ángulo de la mariposa de aceleración. Esto se debe a que, al aumentar el ángulo del acelerador, la velocidad del aire es mayor con la caída de la presión en la columna de la garganta. Cuando el ángulo estuvo en 30 °, se obtuvo valores de presión de 524 kPa y velocidades de 3.45 m·s⁻¹. Mientras que, con el ángulo de 90 °, se llegó a presiones de 0.49 kPa y velocidad de 3.48 m·s⁻¹. Esto se produce con la mezcla de aire y combustible dentro del carburador y no directamente en el motor.

El componente que permite la entrada del aire preciso para que se produzca una adecuada mezcla estequiométrica necesaria para la combustión del motor es el cuerpo de aceleración. Hassantabar et al. [6] realizaron una investigación sobre el efecto de la velocidad del motor y la altitud de vuelo en aviones no tripulados (UAV, por sus siglas en inglés). Se analizó un sistema de inyección del cuerpo de aceleración (TBI, por sus siglas en inglés) de un motor neumático de dos tiempos. Estos motores trabajan en condiciones extremas de presión y temperaturas muy bajas. Dos tipos de análisis fueron desarrollados, el primero fue el análisis del rendimiento del motor, utilizando las ecuaciones que gobiernan la simulación de aire y del combustible para simularse mediante CFD. Con el TBI, la intensidad de la turbulencia de la corriente de aire mostró un aumento en la velocidad del motor de 1 000, 3 000, 6 000 y 9 000 rpm y un ángulo de apertura de mariposa de 30 °. Se obtuvo velocidades axiales en el acelerador de 2.40 a 72.27 m·s⁻¹ e intensidades de turbulencia entre los 14.44 a 1 408.04 %.

Esta investigación se planteó como objetivo estudiar el comportamiento interno del cuerpo de aceleración mediante CFD, para proponer un modelo modificado, con un corte en el eje de rotación y aumentar el flujo de aire hacia el colector de admisión, lo que permite al motor mejorar la eficiencia ya que existe alta producción de la mezcla necesaria para la combustión. Este documento está distribuido de la siguiente manera, Materiales y Métodos describe la metodología utilizada, con los procedimientos, las ecuaciones y los parámetros requeridos para la simulación. En Resultados se presenta el comportamiento de los cuerpos de aceleración y los valores obtenidos para cada caso. Finalmente, se expone Conclusiones con los argumentos necesarios para la validación del trabajo con el análisis de los resultados obtenidos.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se ha planteado el desarrollo de un análisis comparativo sobre la variación de presión y flujo de aire que circula a través del cuerpo de aceleración de un automóvil. Las variaciones de presión y flujo de aire se determinan mediante un proceso de análisis CFD. Se inició creando los modelos dentro de un software de diseño para la posterior generación del mallado, que involucra a su vez, un análisis de independencia de malla y la verificación de la calidad. Se ingresan los parámetros de simulación, luego se seleccionan los modelos matemáticos de cálculo, se obtienen los resultados y se comparan entre los dos diseños presentados. La Fig. 1 presenta el diagrama de flujo con el procedimiento realizado en esta investigación. Dos casos fueron considerados, el caso base, donde se simula el cuerpo de aceleración con datos reales. Mientras que el otro caso es una variación en el cuerpo de la mariposa, realizando cambios en el eje de rotación. La Fig. 2 presenta el modelado del cuerpo de aceleración para los dos casos de estudio.

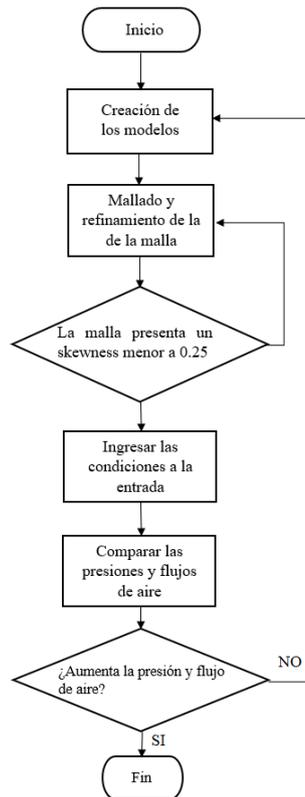


Figura 1: Diagrama de Flujo del Proceso de Simulación

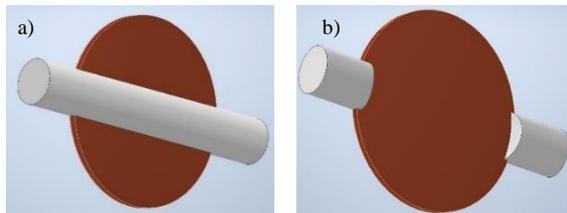


Figura 2: Mariposa de Aceleración a) Original, b) Modificado

2.1. Parámetros de Estudio

El análisis del flujo de aire que circula desde la entrada del cuerpo de aceleración se planteó para el estudio. Se encuentra después del filtro de aire y en la entrada al colector de admisión [7]. El llenado de los cilindros de un motor de combustión interna se produce por aspiración, durante la carrera descendente del pistón y la válvula de admisión abierta. La regulación del aire es realizada mediante una válvula de mariposa, colocada en el cuerpo de aceleración [8]. La Fig. 3 esquematiza este proceso y los componentes principales.

La mariposa crea una pérdida de carga, de modo que antes del cuerpo de aceleración, en la salida del filtro de aire, la presión tiende a ser atmosférica, aproximadamente. Mientras que, luego del colector de admisión, esta presión siempre menor, afirmando que la pérdida de carga siempre es variable y controlada por el conductor, al momento de presionar el pedal de aceleración [9].

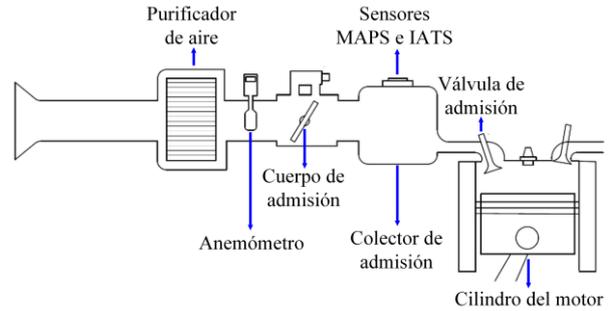


Figura 3: Sistema de Admisión de Aire

Los datos para el estudio se obtienen de un lector de sistema a bordo (OBD, por sus siglas en inglés) para obtener la información del sensor de presión del múltiple de admisión (MAPS, por sus siglas en inglés), sensor de temperatura (IATS, por sus siglas en inglés), además del ángulo de apertura de la mariposa (TPS, por sus siglas en inglés). Estos sensores están ubicados en el colector de admisión y también mediante un anemómetro colocado en la entrada del cuerpo de aceleración, se conoce la velocidad y temperatura de entrada del aire [10].

Los datos de apertura de mariposa se presentan desde la menor apertura relativa, del 0 %, a la mayor apertura, del 78 %. En esta investigación se planteó separar cuatro comportamientos, en donde el cuerpo de aceleración contenga la información necesaria para realizar la simulación. Para ello, se ha tomado la información de la apertura del 0 %, es decir, con la válvula de mariposa completamente cerrada, hasta el 78 %, con la válvula completamente abierta. A partir de estos parámetros, se realizó el promedio de 646 datos tomados con el scanner OBD II y la aplicación MotorData OBD. Entonces, se obtuvo un promedio de 20.12 %, es decir, 20 %, aproximadamente. Finalmente, se incluyó un cuarto valor para realizar el estudio, tomando el 40 % de apertura. De esta manera, la información es distribuida de manera equitativa para las diferentes aperturas de la mariposa. La Tabla 1 presenta los valores promedio de los parámetros considerados con estas aperturas.

Tabla 1: Parámetros de Funcionamiento

Apertura relativa de la mariposa [%]	Posición absoluta de la mariposa [%]	Presión de entrada [kPa]	Presión en la salida [kPa]	Velocidad del aire en la entrada [m.s ⁻¹]	Temperatura de entrada de aire [°C]	Temperatura de Salida de colector de admisión [°C]
0	5.49	70.7	24.95	7.32	32.65	45
20	26.33	70.7	61.37	12.55	30.22	43
40	46.32	70.7	69.00	25.59	26.67	41
78	83.13	70.7	70.00	40.71	25.3	40

La información fue obtenida con los sensores a bordo en ruta, en la ciudad de Cayambe ubicada a 2 830 m sobre el nivel del mar. Para la ubicación, se registra una presión atmosférica de 70.70 kPa, en promedio, para horas de la tarde y una temperatura ambiente de 17 °C. Estos valores

son requeridos como condiciones iniciales para iniciar la simulación en el software ANSYS de los modelos planteados según las aperturas de la mariposa de aceleración. Martínez et al. [11] realizaron un estudio sobre la importancia que tiene la altitud variable de las diferentes regiones del Ecuador sobre los motores de combustión interna. El estudio se efectuó a través de las señales generadas por los sensores MAPS y de la posición del TPS. Las observaciones de estas señales indican que las variaciones de voltaje del sensor MAPS son de 0.38 V por cada 1 000 m y que el vacío del motor disminuye aproximadamente 7.70 kPa por cada 1 000 m.

2.2. Diseño del Cuerpo de Aceleración

El cuerpo de aceleración en estudio es tomado con las especificaciones reales del elemento de un vehículo Hyundai i10 de 1.1 L, alimentado a gasolina. La Fig. 4 presenta el esquema, en corte, usando el software Inventor para graficar en 3D de este elemento señalando las partes importantes, como la mariposa de aceleración, el actuador de ralentí (ISCA, por sus siglas en inglés) y el eje de rotación. Este último componente va a diseñarse y estudiarse como cambio en la mejora del sistema. Los diseños por evaluarse son dos, el original y otro modificado, con cambios en la mariposa de aceleración. En el modelo modificado, se varía el eje de rotación con un corte en el lado de la entrada. Mediante simulación CFD, se va a observar la mejora que exista en el flujo de aire y presión.

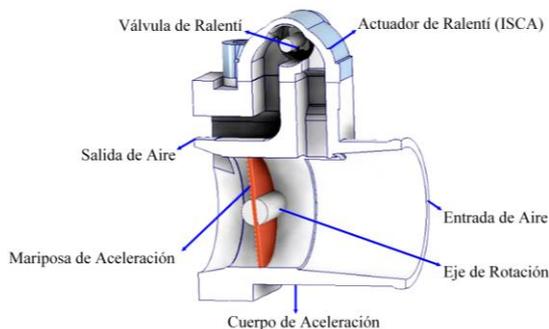


Figura 4: Cuerpo de Aceleración en 3D

2.3. Modelos Matemáticos del Sistema de Admisión

Se requiere determinar la presión y el flujo de aire que ingresa al cuerpo de aceleración y posteriormente al colector de admisión. Por lo que se requiere calcular el coeficiente de flujo, utilizado para definir la eficiencia dinámica de los fluidos globales del sistema de admisión [12]. El flujo a través de la válvula de mariposa se modela como un flujo compresible isoentrópico constante. El modelo más utilizado es el modelo de Barré de Saint-Venant, que entrega el caudal másico para flujo bloqueado y no bloqueado [13]. El coeficiente de flujo se define como una relación entre la tasa de flujo real (\dot{m}_{real}), determinado por los sensores, y la tasa de flujo ideal de la masa de aire (\dot{m}_{ideal}), dada por la ecuación (1) de flujo modelada y se representa como:

$$C_m = \frac{\dot{m}_{real}}{\dot{m}_{ideal}} \quad (1)$$

Butt et al. [14] han establecido los siguientes supuestos para el análisis de una válvula de mariposa. El flujo de aire consta de varias etapas, no hay reflujo ni efecto turbulento, el flujo de aire no es laminar, la geometría interna y las superficies del paso de aire son suaves y sin fricción. Además, no hay curvas lo suficientemente cortas que afecten la laminaridad del flujo. Y, por último, los componentes y partes de un colector de admisión siempre tienen tolerancias de fabricación, así como el montaje y cubierta debe realizarse en un espacio muy reducido

Para un flujo de fluido compresible, las tasas de flujo másico a través de la válvula de mariposa son calculadas a partir de las ecuaciones estándar del orificio [15]. Se considera el caso de las relaciones de presión a través de la válvula del acelerador. Este parámetro varía entre la presión ambiental (P_0) y la presión del colector de admisión (P_m). La relación crítica para estas presiones considera un calor específico (γ) de 1.4 y la relación entre presiones se obtiene con la ecuación 2:

$$\frac{P_m}{P_0} = 0.528 \quad (2)$$

Para relaciones de presión, mayores que la crítica, se utiliza la ecuación 3:

$$P_m \geq \left(\frac{2}{\gamma + 1} \right)^{\gamma/(\gamma-1)} \quad (3)$$

El caudal másico es subsónico y viene dado por la ecuación 4:

$$\dot{m} = C_m \cdot A(\theta) \cdot \frac{P_0}{\sqrt{RT_0}} \cdot \left(\frac{P_m}{P_0} \right)^{1/\gamma} \cdot \sqrt{\left\{ \frac{2\gamma}{\gamma-1} \left[1 - \left(\frac{P_m}{P_0} \right)^{(\gamma-1)/\gamma} \right] \right\}} \quad (4)$$

donde C_m es el coeficiente de flujo, $A(\theta)$ es el área de flujo de paso, R es la constante de gas del aire y T_0 es la temperatura ambiente. Por otra parte, para relaciones de presión menores que la crítica, se establece la relación de la ecuación 5:

$$\dot{m} = C_m \cdot A(\theta) \cdot \frac{P_0}{\sqrt{RT_0}} \cdot \sqrt{\gamma} \cdot \left(\frac{2}{\gamma + 1} \right)^{(\gamma+1)/(2(\gamma-1))} \quad (5)$$

2.4. Ecuaciones Gobernantes del Modelo Simulado

Para obtener los resultados de simulación, se utilizan las ecuaciones de la continuidad y momento, requeridas para un análisis CFD. La ecuación de continuidad sigue la ley de conservación de la masa, afirmando que la energía no se crea ni se destruye [16]. Es decir, la tasa de aumento de la masa de un fluido debe ser igual a la tasa neta del flujo de masa hacia el elemento fluido, como se representa en la ecuación 6:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho u) = 0 \quad (6)$$

donde $\partial \rho / \partial t$ es la tasa de cambio con respecto al tiempo y $\text{div}(\rho u)$ es el flujo másico neto que sale del elemento a través de sus límites. La ecuación de cantidad de movimiento satisface la segunda ley de movimiento de Newton. Ésta establece que, la suma de las fuerzas que actúan sobre el elemento fluido debe ser igual al producto entre su masa y la aceleración del elemento fluido. Se representa mediante las ecuaciones 7, 8 y 9, para la dirección x , y y z , respectivamente.

$$\rho \frac{Du}{Dt} = \frac{\partial(-p + \tau_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} + S_{Mx} \quad (7)$$

$$\rho \frac{Dv}{Dt} = \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial(-p + \tau_{yy})}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} + S_{My} \quad (8)$$

$$\rho \frac{Dw}{Dt} = \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial(-p + \tau_{zz})}{\partial z} + S_{Mz} \quad (9)$$

donde ρ es la densidad, p es la presión, Du/Dt , Dv/Dt y Dw/Dt son las velocidades en la dirección x , y y z , τ es el esfuerzo cortante, S es el término fuente que actúa en la dirección negativa. De esta manera, se llega a obtener la ecuación 10:

$$S_{Mx} = 0, S_{My} = -\rho g, S_{Mz} = 0 \quad (10)$$

2.5. Análisis del Mallado

Para determinar el comportamiento del aire a través del cuerpo de aceleración, en los dos modelos de válvula de mariposa propuestos, se utilizó el análisis CFD. Mediante simulación, se obtienen resultados como la presión y flujo de aire, en las salidas del componente y en el interior del cuerpo de aceleración [17]. El mallado que se compara es el volumen del fluido que circula dentro del cuerpo de aceleración, para disminuir la cantidad de elementos y nodos a estudiar [18]. La calidad de la malla que presenta cada diseño se mide con la oblicuidad promedio, definida como skewness. La Tabla 2 detalla estos valores, considerando que, una malla presenta una calidad muy buena cuando skewness es inferior a 0.25 [19].

Tabla 2: Mallado de los Diferentes Modelos de Mariposa y Aperturas Relativas

Modelo	Diseño	Número de elementos	Skewness
Cuerpo de aceleración original	Apertura 0 %	485780	0.23613
	Apertura 20 %	478471	0.23651
	Apertura 40 %	478731	0.2356
	Apertura 78 %	477624	0.23676
Cuerpo de aceleración modificado	Apertura 0 %	478735	0.23615
	Apertura 20 %	470330	0.23679
	Apertura 40 %	469688	0.2368
	Apertura 78 %	470421	0.23686

Para determinar la convergencia del mallado, se realizó el análisis del modelo original con la mariposa de aceleración cerrada completamente y con la válvula

ISCA abierta. La Fig. 5 presenta este análisis, donde se consideró diferentes tamaños de elementos. A partir de los 197 779 elementos, la presión de salida de los mallados tiende a 24.95 kPa. Este es el valor en la salida del cuerpo de aceleración, que se aproxima a la presión dada por el sensor MAPS, ubicado en el colector de admisión. De esta manera, se valida la malla generada para el estudio.

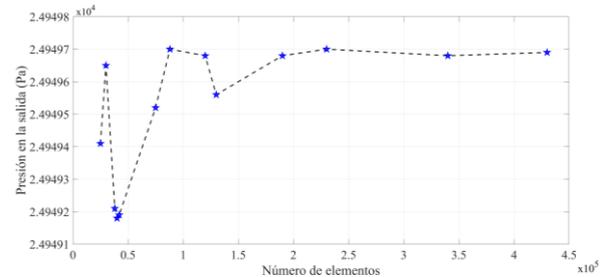


Figura 5: Convergencia de Malla

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

A continuación, se describen los resultados obtenidos luego de la simulación CFD, realizados a partir del cuerpo de aceleración original y modificado. El estudio se planteó cuando funciona el motor en ralentí, con el cuerpo de mariposa cerrado, apertura de 0 %, y con el actuador ISCA abierto completamente [20]. Para los demás comportamientos del cuerpo de aceleración, al 20, 40 y 78 % de apertura relativa de la mariposa de aceleración, el actuador ISCA se mantendrá cerrado. De esta manera, se permite el paso directamente al cuerpo de mariposa [21].

3.1. Validación de resultados

Para la validación, los valores obtenidos de las simulaciones de los dos modelos presentados son comparados con los datos que se tomó del sensor MAPS. Luego se calcula el error relativo de cada uno de los modelos, utilizando la ecuación 11:

$$\% \text{Error} = \frac{|x_{\text{simulación}} - x_{\text{experimental}}|}{x_{\text{experimental}}} \times 100 \quad (11)$$

La Tabla 3 contiene los valores de error relativo obtenido para cada modelo, respecto al porcentaje de apertura de la mariposa.

Tabla 3: Valores de Presión con Respecto a Valores del Sensor MAPS

Apertura relativa de la mariposa [%]	Presión en la salida MAPS [kPa]	Presión en la salida modelo original [kPa]	Presión en la salida modelo modificado [kPa]	Error modelo original [%]	Error modelo modificado [%]
0	24.95	37.69	37.75	51.07	51.30
20	61.37	56.53	56.63	7.88	7.72
40	69.00	68.74	68.74	0.37	0.37
78	70.00	70.07	70.11	0.10	0.16



La Fig. 6 permite visualizar la comparativa entre los modelos simulados y los datos tomados con el sensor. Se evidencia que, cuando se aumenta el ángulo de apertura de la mariposa, los datos de simulación se aproximan a los reales, generados por el sensor MAPS. Es importante mencionar que, los valores al inicio del funcionamiento, cuando el motor está en ralentí, varían de 4.64 a 10 m·s⁻¹, con un promedio de velocidad de 7.32 m·s⁻¹. Este valor es configurado para la entrada en las simulaciones, cuando la mariposa de aceleración está completamente cerrada.

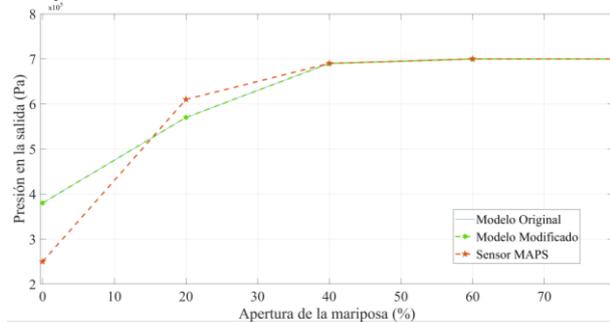


Figura 6: Presiones en la Salida con Diferentes Ángulos de Apertura de Mariposa

3.2. Simulaciones

Para el estudio del cuerpo de aceleración, se usa el software ANSYS Fluent en donde se realiza la simulación de la válvula de mariposa la cual se coloca con un ángulo de apertura de 0 %. El actuador ISCA permite conocer la entrada de aire con la que funciona el vehículo cuando está en ralentí. También para compensar el flujo de aire que el motor necesita al presionar el acelerador. La Fig. 7 presenta la comparativa de velocidad con apertura del 0 % para los dos modelos en estudio.

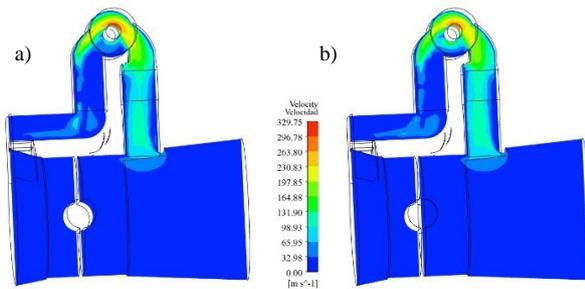


Figura 7: Cuerpo de Aceleración Apertura 0 % a) Original, b) Modificado

Para las simulaciones en donde la válvula de mariposa se encuentra con un ángulo de 20 %, el actuador ISCA se cierra completamente, para que el flujo de aire siga la dirección de la válvula de mariposa. La Fig. 8 muestra los resultados de velocidad obtenida para esta apertura, con una velocidad de ingreso de 12.55 m·s⁻¹.

En las Fig. 9 y 10, se sigue manteniendo que, el actuador ISCA se cierra completamente. Se trabaja en las simulaciones con velocidades de entrada de 25.59 y 40.71 m·s⁻¹ para las aperturas de 40 y 78 %,

respectivamente. Esta información se obtiene con el anemómetro instalado en la entrada al cuerpo de aceleración. Mediante simulación, se obtuvieron valores máximos de velocidad a la salida de 79.93 y 63.36 m·s⁻¹, respectivamente. Es evidente que existe un aumento en la velocidad, a menor apertura de la válvula de mariposa, hay mayor velocidad en la entrada al colector de admisión, permitiendo mayor flujo de aire.

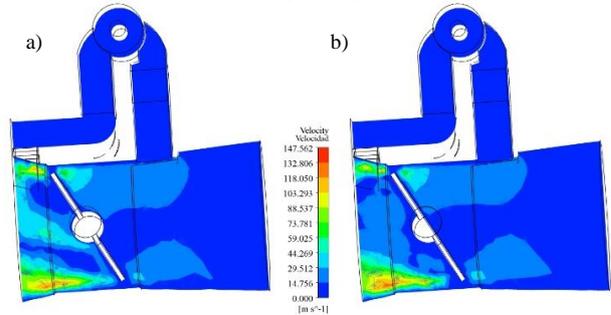


Figura 8: Cuerpo de Aceleración Apertura 20 % a) Original, b) Modificado

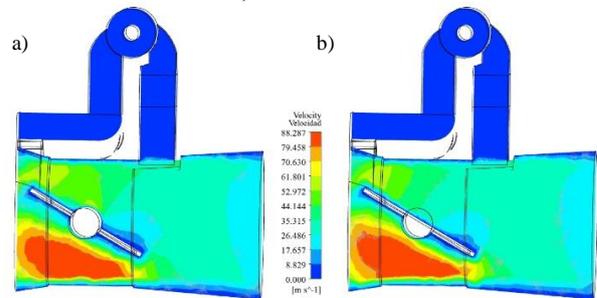


Figura 9: Cuerpo de Aceleración Apertura 40 % a) Original, b) Modificado

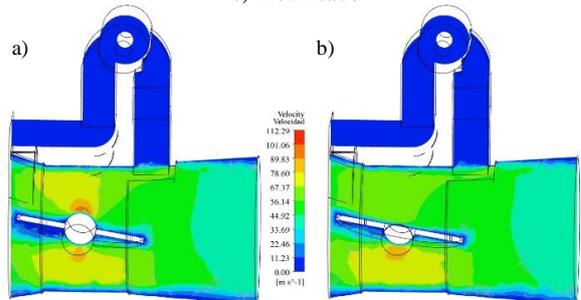


Figura 10: Cuerpo de Aceleración Apertura 78 % a) Original, b) Modificado

La Tabla 4 presenta los valores del flujo másico a la salida del cuerpo de aceleración, a medida que se ha modificado la apertura.

Tabla 4: Flujos másicos de los dos modelos simulados

Apertura relativa de la mariposa [%]	Flujo másico modelo original [g·s ⁻¹]	Flujo másico modelo modificado [g·s ⁻¹]	Error de flujo másico [%]
0	6.71	5.67	18.34
20	4.66	6.65	29.92
40	32.69	33.23	1.62
78	58.27	58.03	0.41

La Fig. 11 permite observar los flujos másicos, tanto del modelo original, como del modelo modificado. Se valida el proceso de simulación CFD al presentar valores

de flujo másico que se asemejan. Además, se planteó un aumento en el flujo de entrada al colector de admisión, con lo que se obtuvo un error relativo de 29.92 y 1.62 % de aumento de flujo másico en las aperturas relativas de mariposa de 20 y 40 %, respectivamente. Este incremento es positivo para el funcionamiento del motor, ya que ingresa mayor cantidad de aire.

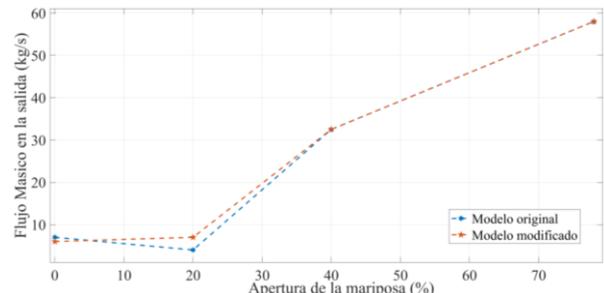


Figura 11: Relación de los Flujos Másico con Respecto al Apertura de Mariposa

4. CONCLUSIONES

Con el análisis CFD realizado en ANSYS para el cuerpo de aceleración de un motor a gasolina, se obtuvieron valores de presiones y flujos de aire. Se presentó modelos con diferentes aperturas relativas de la mariposa de aceleración. Los datos reales fueron tomados utilizando un scanner OBD II y se dividió en cuatro aperturas de la válvula, 0, 20, 40 y 78 %. Fue necesario medir la velocidad de entrada del aire de admisión con un anemómetro. Se obtuvieron valores entre 4.68 y $40.71 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, datos requeridos para definir las condiciones iniciales y de contorno para la simulación, debido a que el vehículo no cuenta con sensor de flujo de aire. Mediante el proceso de simulación, se obtuvieron valores de flujo másico de aire de 6.31 a $59.39 \text{ g}\cdot\text{s}^{-1}$, dependiendo de la apertura de mariposa, a mayor apertura, mayor flujo másico.

Mediante el análisis presentado, se determinó un incremento de la cantidad de flujo másico en las aperturas relativas de mariposa del 20 %. Se obtuvo valores de $1.99 \text{ g}\cdot\text{s}^{-1}$ en el aumento de flujo de aire del cuerpo modificado, respecto al cuerpo original. En la apertura del 40 %, el aumento fue de $0.54 \text{ g}\cdot\text{s}^{-1}$ en la misma relación entre el cuerpo modificado y el original. Además, se observó un aumento de la velocidad del aire del cuerpo modificado de $1.99 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, en relación con el cuerpo original en la apertura de mariposa del 20 %.

Mientras que, en la apertura del 40 %, no existe un aumento significativo entre las velocidades de la salida del cuerpo modificado y el cuerpo original, con valores entre los 79.93 y $79.91 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, respectivamente. Con esta información se concluye que, si se aumenta la velocidad en una baja apertura de mariposa, como al 20 %, aumenta el flujo másico del cuerpo modificado. Por otra parte, a medida que se incrementa la apertura del ángulo de mariposa, los valores se igualan y no hay variaciones significativas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Carrera de Ingeniería Mecánica y al Grupo de Investigación en Ingeniería, Productividad y Simulación Industrial (GIIPSI) de la Universidad Politécnica Salesiana.

REFERENCIAS

- [1] A. S. Patil, V. G. Halbe, and K. C. Vora, "A System Approach to Automotive Air Intake System Development," SAE Tech. Pap., vol. 2005-Janua, no. January, 2005, doi: 10.4271/2005-26-011.
- [2] T. Sinigaglia, M. Eduardo Santos Martins, and J. Cezar Mairesse Siluk, "Technological evolution of internal combustion engine vehicle: A patent data analysis," Appl. Energy, vol. 306, p. 118003, Jan. 2022, doi: 10.1016/J.APENERGY.2021.118003.
- [3] I. Simbaña, W. Quitiaquez, J. Estupiñán, F. Toapanta-Ramos y L. Ramírez, "Evaluación del rendimiento de una bomba de calor de expansión directa asistida por energía solar mediante simulación numérica del proceso de estrangulamiento en el dispositivo de expansión," Revista Técnica Energía, vol. 19, n° 1, pp. 110-119, 2022, doi: 10.37116/revistaenergia.v19.n1.2022.524.
- [4] W. Ashraf, S. Khedr, A. Diab, and H. Elzaabalawy, "Effect of Replacement of Butterfly Throttle Body by Barrel Throttle Body on Mass Flow Rate using CFD," SAE Tech. Pap., vol. 2017-March, no. March, 2017, doi: 10.4271/2017-01-1078.
- [5] N. Vinoth, V. Mohanavel, A. Kannappan, and K. Mohith, "CFD modelling of carburetor with several valve positions," Mater. Today Proc., vol. 37, no. Part 2, pp. 1535-1549, 2020, doi: 10.1016/j.matpr.2020.07.149.
- [6] A. Hassantabar, A. Najjaran, and M. Farzaneh-Gord, "Investigating the effect of engine speed and flight altitude on the performance of throttle body injection (TBI) system of a two-stroke air-powered choengine," Aerosp. Sci. Technol., vol. 86, pp. 375-386, 2019, doi: 10.1016/j.ast.2019.01.006.
- [7] J. Suresh Kumar, V. Ganesan, J. M. Mallikarjuna, and S. Govindarajan, "Design and optimization of a throttle body assembly by CFD analysis," Indian J. Eng. Mater. Sci., vol. 20, no. 5, pp. 350-360, 2013.
- [8] C. Xu and H. Cho, "The Analysis of Influence of Throttle Body on Engine Intake System," Int. J. Eng. Technol., vol. 9, no. 5, pp. 3481-3486, 2017, doi: 10.21817/ijet/2017/v9i5/170905048.
- [9] C. D. E. Catalu, J. N. Cerc, and S. Industriales, "Gestión de la mezcla aire-gasolina," 1999.
- [10] G. Ahmadi-Assalemi et al., "Optimising driver profiling through behaviour modelling of

- in-car sensor and global positioning system data,” *Comput. Electr. Eng.*, vol. 91, February, p. 107047, 2021, doi: 10.1016/j.compeleceng.2021.107047.
- [11] J. Martínez, L. Robles, F. Montalvo, D. Baño Morales, and I. Zambrano, “Effects of altitude in the performance of a spark ignition internal combustion engine,” *Mater. Today Proc.*, vol. 49, pp. 72–78, 2022, doi: 10.1016/j.matpr.2021.07.475.
- [12] A. Nigro, A. Algieri, C. De Bartolo, and S. Bova, “Fluid dynamic investigation of innovative intake strategies for multivalve internal combustion engines,” *Int. J. Mech. Sci.*, vol. 123, no. January, pp. 297–310, 2017, doi: 10.1016/j.ijmecsci.2017.02.018.
- [13] M. McHarek, T. Azib, M. Hammadi, C. Larouci, and J. Y. Choley, “Multiphysical design approach for automotive electronic throttle body,” *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 67, no. 8, pp. 6752–6761, 2020, doi: 10.1109/TIE.2019.2939999.
- [14] Q. R. Butt, A. I. Bhatti, M. R. Mufti, M. A. Rizvi, and I. Awan, “Modeling and online parameter estimation of intake manifold in gasoline engines using sliding mode observer,” *Simul. Model. Pract. Theory*, vol. 32, pp. 138–154, 2013, doi: 10.1016/j.simpat.2012.12.001.
- [15] M. Bordjane, “Numerical Investigation Of Throttle Valve Flow Characteristics For Internal Combustion Engines,” *J. Multidiscip. Eng. Sci. Technol.*, vol. 2, no. 12, pp. 3159–3199, 2015, [Online]. Available: www.jmest.org.
- [16] J. Katz, “Introduction to Computational Fluid Dynamics,” *Introd. Fluid Mech.*, January, pp. 324–342, 2012, doi: 10.1017/cbo9780511761348.011.
- [17] W. Quitiaquez, J. Estupinan-Campos, C. A. Isaza-Roldan, C. Nieto-Londono, P. Quitiaquez, and F. Toapanta-Ramos, “Numerical simulation of a collector/evaporator for direct-expansion solar-assisted heat pump,” *2020 Ieee Andescon, Andescon 2020*, pp. 1–6, 2020, doi: 10.1109/ANDESCON50619.2020.9272139.
- [18] W. Quitiaquez, J. Estupiñan-Campos, C. A. Isaza Roldán, F. Toapanta-Ramos, and A. Lobato-Campoverde, “Análisis numérico de un sistema de calentamiento de agua utilizando un colector solar de placa plana,” *Ingenius*, no. 24, pp. 97–106, 2020, doi: 10.17163/ingenius.n24.2020.10.
- [19] W. Quitiaquez, I. Simbaña, R. Caizatoa, C. Isaza, C. Nieto, P. Quitiaquez y F. Toapanta, “Análisis del rendimiento termodinámico de una bomba de calor asistida por energía solar utilizando un condensador con recirculación,” *Revista Técnica Energía*, vol. 16, n° 2, pp. 111-125, 2020, doi: 10.37116/revistaenergia.v16.n2.2020.358
- [20] M. Balaji, K. Amal Satheesh, G. Sanjay, and H. K. Job, “Design of throttle body: A comparative study of different shaft profiles using CFD analysis,” *Int. J. Chem. Sci.*, vol. 14, pp. 681–686, 2016.
- [21] M. I. Rounaque and S. Rajesh, “CFD Analysis of Flow through a Throttle Body of Spark Ignition Engine for Different Throttle Valve Configuration,” *Int. J. Res.*, vol. 06, no. 13, pp. 1046–1052, 2019.



Andrés Argüello. - Nació en Cuenca, Ecuador, en 1985. Recibió su título de Ingeniero Mecánico Automotriz en la Universidad Politécnica Salesiana, en el 2012. Actualmente tiene título de Magister en Métodos Matemáticos y Simulación Numérica en Ingeniería, de la Universidad Politécnica Salesiana. Sus campos de Investigación están relación con análisis Numérico y estadístico, además de análisis matemático en el campo Automotriz.



William Quitiaquez. - Nació en Quito, Ecuador, en 1988. Recibió su título de Ingeniero Mecánico de la Universidad Politécnica Salesiana en 2011; de Magíster en Gestión de Energías de la Universidad Técnica de Cotopaxi, en 2015; de Magíster en Ingeniería de la Universidad Pontificia Bolivariana de Medellín, en 2019; de Ph.D. en Ingeniería de la Universidad Pontificia Bolivariana de Medellín, en 2022. Su campo de investigación se encuentra relacionado a Fuentes Renovables de Energía, Termodinámica, Transferencia de Calor y Simulación.



Isaac Simbaña. - Nació en Quito, Ecuador, en 1990. Recibió su título de Ingeniero Mecánico de la Universidad Politécnica Salesiana, Mención Diseño de Máquinas, en 2018; de Magíster en Métodos Matemáticos y Simulación Numérica en Ingeniería de la Universidad Politécnica Salesiana, en 2022. Trabaja en el Instituto Superior Universitario SUCRE, en la Carrera de Tecnología Superior en Electromecánica como Docente. Sus campos de investigación están relacionados al Análisis Numérico y Estadístico, además del estudio de Termodinámica y Procesos de Manufactura.



Patricio Quitiaquez. - Nació en Quito en 1969. Recibió su título de Ingeniero Mecánico de la Universidad Politécnica Nacional de Ecuador en 2002; de Magíster en Gestión de la Producción de la Universidad Técnica de Cotopaxi, en 2007. Su campo de investigación se encuentra relacionado con Gestión de Operaciones, Diseño Estructural, Procesos de Manufactura y Simulación.