

Research Article

Energy-efficient Vehicle Body Design for the Shell-Eco Marathon Competition

Diseño de una Carrocería de un Vehículo Eficiente Energéticamente para la Competencia Shell-Eco marathon

Francisco Torres¹, Robert Rockwood¹, and Cecilia Maldonado²

¹Centro de investigaciones ERGON, Universidad del Azuay, Cuenca, Ecuador

²Coordinación académica, Instituto Superior Tecnológico Alquimia, Cuenca, Ecuador

ORCID

Francisco Torres: <https://orcid.org/0000-0001-6517-4413>

IV INTERNATIONAL
CONGRESS OF
ENGINEERING FACULTY OF
MECHANICS (IV COINTI
2021)

Corresponding Author:
Francisco Torres; email:
ftorres@uazuay.edu.ec
ftorres@uazuay.edu.ec

Published: 31 August 2022

Production and Hosting by
Knowledge E

© Francisco Torres et al. This article is distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution License](#), which permits unrestricted use and redistribution provided that the original author and source are credited.

Abstract

This article presents relevant information regarding the design process of the body of an energy-efficient vehicle used by the students of Automotive Engineering Department, Universidad del Azuay for participation in the Shell-Eco Marathon of the Americas competition. The objective was to design a single-seater vehicle that is capable of travelling several kilometers with the least possible energy consumption; thus, a computational study CFD of the aerodynamic performance of the vehicle was conducted. This study showed the need to adjust the initial design proposal, decreasing its drag coefficient from 0.43 to 0.32. The body will be built using fiberglass and acrylic for the windows as they are light materials that are easy to mold, reducing the mass of the vehicle and its manufacturing cost. The single-seater car body not only presents the necessary safety to protect the driver from external agents but also provides the visibility needed to drive on the track. In this way, a single-seater vehicle that can participate in the competition, complying with its regulations and requirements, is presented.

Keywords: aerodynamics, drag, coefficient, energy, one-seater vehicle.

Resumen

En el presente documento se muestra información relevante respecto al proceso de diseño de la carrocería para un vehículo eficiente energéticamente, con motivo de la participación de los estudiantes de la carrera de ingeniería automotriz de la Universidad del Azuay en la competencia Shell – Eco marathon de las Américas. El objetivo es diseñar un vehículo monoplaza que recorra la mayor cantidad de kilómetros con el menor consumo de energía posible, para ello se realizó el estudio computacional CFD del desempeño aerodinámico del vehículo; a través del cual se evidenció la necesidad de ajustar la propuesta de diseño inicial, disminuyendo su coeficiente de arrastre de 0.43 a 0.32. La carrocería se construirá utilizando fibra de vidrio y acrílico para las ventanas, debido a que son materiales ligeros y presentan facilidad de moldeo, disminuyendo la masa del vehículo y también su costo de manufactura. La forma de la carrocería es monoplaza y presenta la seguridad necesaria para proteger al piloto de agentes externos, así como también brinda la visibilidad necesaria para poder conducirlo por la pista. De esta manera se presenta un vehículo monoplaza que puede participar en la competencia cumpliendo con la reglamentación y exigencias de la misma.

Palabras Clave: aerodinámica, arrastre, coeficiente, energía, monoplaza.

 OPEN ACCESS



1. Introducción

Una de las competencias más importantes de ingeniería a nivel internacional es la competencia Shell-Eco marathon de las Américas que se realiza anualmente en los Estados Unidos, convoca a universidades y colegios de América a formar equipos de estudiantes con profesores para que diseñen y construyan un vehículo que demande la menor cantidad de energía en su movimiento recorriendo la mayor cantidad de kilómetros; es por esto que se desarrolla un diseño de carrocería de un vehículo monoplace para que pueda participar en la competencia, considerando los factores aerodinámicos, de masa y dimensiones que permitan crear un vehículo prototipo eficiente energéticamente.


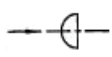
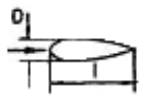

Para el diseño de una carrocería que permita disminuir el consumo de energía de un vehículo prototipo se consideran varios parámetros importantes como son: La masa, ya que a menor masa es posible obtener un mayor desplazamiento y menor consumo al reducir las cargas inerciales, la forma de la carrocería es determinante; considerando que la velocidad máxima que alcanza el vehículo es de 30km/h y para ello se debe diseñar un modelo que disminuya tanto la sección frontal (A), como el coeficiente de arrastre aerodinámico (C_d) y con ello disminuir la fuerza de arrastre, y por ende el consumo energético. Es importante la utilización de programas computacionales; como el de dinámica de fluidos computacional (CFD), con el cual se realiza la simulación de desempeño aerodinámico del prototipo, comparando diferentes formas, y predecir el comportamiento en pista del vehículo; así como su consumo energético.

La dinámica de fluidos computacional se utiliza actualmente en la industria automotriz, ofrece una visualización gráfica útil de problemas como la presión y la velocidad, distribución, racionalización, ayuda a comparar diferentes conceptos de diseño [1].

El coeficiente de arrastre aerodinámico (C_d) evalúa la calidad aerodinámica de la carrocería, depende de la forma, del número de Reynolds y la rugosidad de la superficie y puede considerarse como una constante que depende solamente de la forma del cuerpo y de la dirección de su movimiento en un fluido en reposo [2].

Para determinar la mejor forma aerodinámica de la carrocería se analizan la forma de la parte frontal y el valor de los coeficientes de resistencia aerodinámica de los cuerpos, donde la mejor forma es el medio cuerpo currentilíneo o semi aerodinámico sobre el suelo que tiene un valor C_d igual a 0.09, la Tabla 1 indica las formas de los cuerpos y el valor C_d . [3].

Los valores de C_d obtenidos mediante la simulación en software de un vehículo prototipo para la competencia Shell Eco-marathon se encuentran dentro de 0.1965 a 0.4087. [4].

Cuerpo	Orientación de flujo	Cd
Cubo		1.05
Semiesfera		0.42
Cuerpo currentilíneo		0.04
Medio cuerpo currentilíneo sobre el suelo		0.09

Fuente: Aparicio (2001).

Figure 1

Coefficientes de resistencia aerodinámica (Cd).

Gracias al uso de la simulación mediante el análisis de elementos finitos, la tecnología CAD/CAM, los materiales ligeros, los procesos de fabricación avanzados y el diseño especial, se pueden optimizar muchos de los parámetros del prototipo, como es reducción del peso en un 40% [5].

En otro diseño de carrocería mediante la aplicación de software se obtuvo valores de Cd de 0.0697 a 0.155 con una reducción del 55%, y la fuerza de arrastre 1.633 N a 50 km/h, en consecuencia, se obtiene un vehículo de bajo consumo de energía para la competencia Shell Eco-marathon [6].

El reglamento de la competencia Shell – Eco marathon, para la carrocería contempla factores de seguridad y técnicos, como son: Está prohibido la utilización de partes o piezas que apoyen aerodinámicamente al vehículo (apéndices aerodinámicos). La carrocería no debe poseer salientes o partes externas que puedan lastimar o herir a personas que se encuentren alrededor, en caso de tener puntas afiladas las mismas deben tener un radio mayor a 50 mm, pueden estar hechos de material deformable. Los paneles deben ser rígidos y no cambiar de forma por el viento. Las ventanas de policarbonato, si se rompen no deben dejar filos cortantes. La tapa de ingreso a la cabina y la tapa del motor debe ser de fácil maniobrabilidad, para poder realizar inspecciones rápidas y que el piloto pueda evacuar en menos de 10 s en caso de emergencia. El vehículo debe ser totalmente cubierto [7].



Un factor importante en el diseño de estos vehículos es reducir el peso total y aumentar la potencia del motor, la resistencia a la carretera depende, linealmente, de la masa total del vehículo y del conductor y del cuadrado de la velocidad en el término de resistencia [8].

La Figura 1, muestra el modelo de un vehículo prototipo para la competencia, corresponde al diseño de Northern Illinois University, que tiene un rendimiento de 1524.9 mpg, y fue el ganador en el año 2019 en la categoría de prototipos con motores de combustión interna, en la categoría de prototipos eléctricos con batería el ganador fue: Eco Illini Supermileage, University of Illinois at Urbana-Champaign, con un rendimiento de 152.0 m/kWh [9].



Figure 2

Vehículo prototipo shell – Eco-marathon 2019. (Fuente: Energy-efficient cars to the test at shell Eco-marathon Americas (2019).)

2. Materiales y Métodos

2.1. Diseño de la carrocería y medidas

Para diseñar la carrocería es importante considerar donde tiene que apoyarse en el chasis y cuál es la posición del piloto, también se analiza el funcionamiento del sistema de dirección, con motivos de incluir la movilidad del piloto en el interior y la visibilidad que dispone, en la Figura 2, se muestra el modelo de chasis y la simulación del piloto, en donde se aprecia que la posición del piloto es prácticamente acostado y su rango de visión con el giro de la cabeza es de 180°, para ello se consideran retrovisores integrados al interior de la carrocería para obtener visibilidad de la parte posterior.

La altura máxima del vehículo debe ser de 1000 mm, el ancho de vía debe ser de al menos 500 mm, la relación del alto dividido para el ancho de vía debe ser menos

de 1.25, la distancia entre ejes debe ser al menos de 1000 mm, el ancho total no debe exceder los 1300 mm, la longitud no debe ser mayor que 3500 mm, la masa sin considerar al piloto puede ser máximo de 140 kg [7].

Una vez recopiladas todas las restricciones conocidas para el diseño de la estructura se procede a determinar la postura más idónea para el piloto. Para ello se han analizado las posturas de los pilotos de los vehículos ganadores de anteriores ediciones, llegándose a la conclusión de que la posición del piloto es tal que permita obtener una menor área frontal [10].

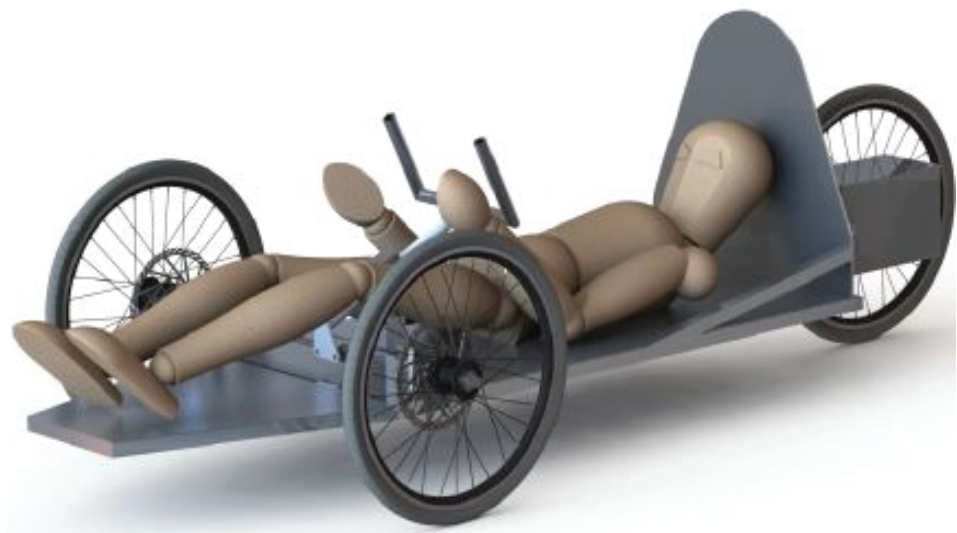


Figure 3

Posición del piloto y chasis. (Fuente: Cajamarca (2016).)

Si se considera solamente la eficiencia aerodinámica y no la ergonomía incluyendo la visibilidad del piloto se puede diseñar un vehículo altamente eficiente pero no podrá ser pilotado por una persona, es por esto que las consideraciones de diseño incluyen los dos aspectos para obtener un vehículo eficiente y maniobrable [11].

Para el diseño de la carrocería se parte de medidas base, tomando como referencia la forma de una gota, la Figura 3, muestra el boceto inicial de la carrocería.

A partir del boceto inicial, y considerando la posición del piloto, su visibilidad, y las restricciones de la competencia se proyecta un modelo en tres dimensiones, la verificación de requerimientos de visibilidad, determinados en el reglamento de la competencia se realizó a partir del uso de herramientas CAD, Figura 4.

Las Figuras 5 y 6 muestran las dimensiones generales, y de detalle de la posición de las ventanas de la carrocería propuesta; la misma que contempla la incorporación

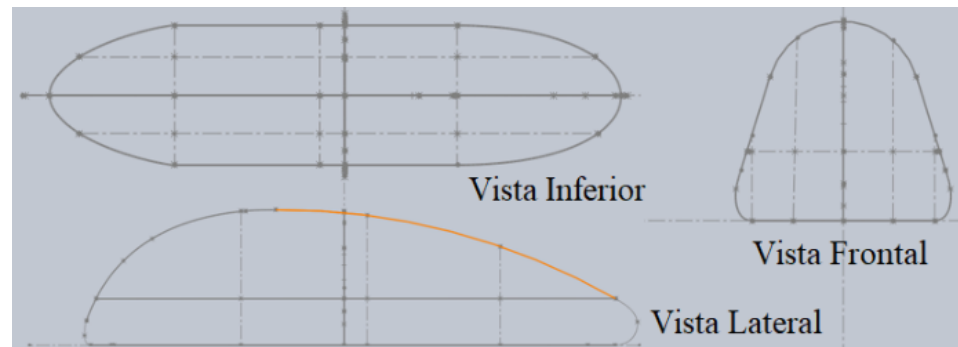


Figure 4

Vista inferior, frontal y lateral. (Elaborado por: Autor.)



Figure 5

Verificación de requisitos de visibilidad. (Elaborado por: Cajamarca (2016).)

de una ventana en la parte superior, esta permite el paso de la luz hacia el interior del habitáculo, y forma parte de la escotilla de entrada y salida del piloto.

Finalmente, se procede a ensamblar la carrocería con todos los componentes del vehículo, en esta etapa es necesario verificar que no exista interferencia mecánica entre los neumáticos y la carrocería, así como con los componentes del sistema de dirección; además se debe analizar la posición y la funcionalidad de los diferentes mandos del vehículo, y garantizar que estos se encuentren accesibles para el conductor. El ensamble de los elementos más importantes del vehículo se muestra en la Figura 7.

2.2. Cálculo de la masa

El material a utilizar en la carrocería es fibra de vidrio de un espesor de 2 mm, que tiene una densidad de 1.581 g/cm^3 , el material de las ventanas es acrílico con una densidad de 1.18 g/cm^3 [2]. el mismo que es transparente y liviano, la masa total de la carrocería más las ventanas es de 18.31 kg. la Tabla 2 indica la masa, área y densidad de los materiales aplicados.

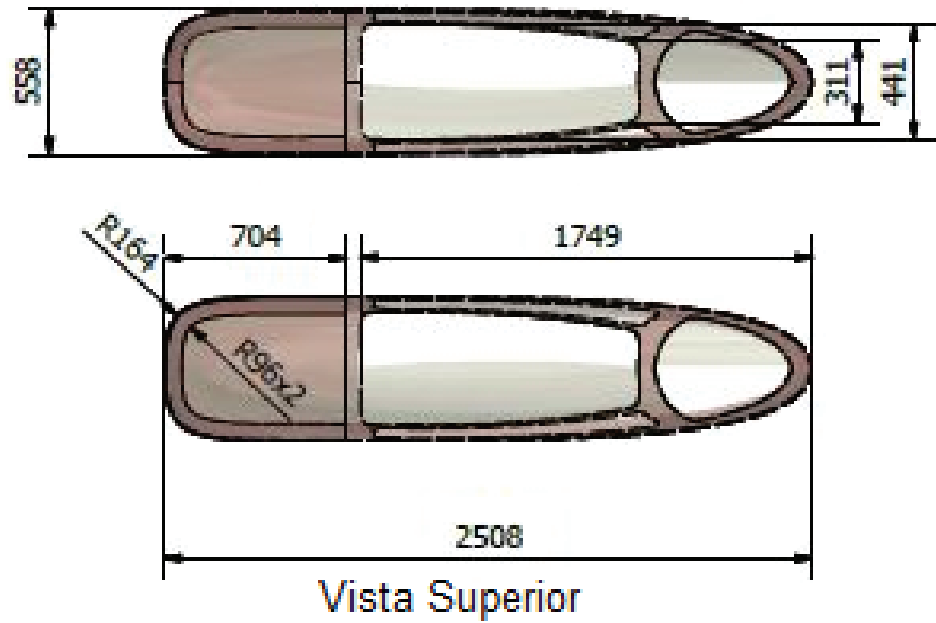


Figure 6

Vista superior y medidas. (Elaborado por: Autor.)

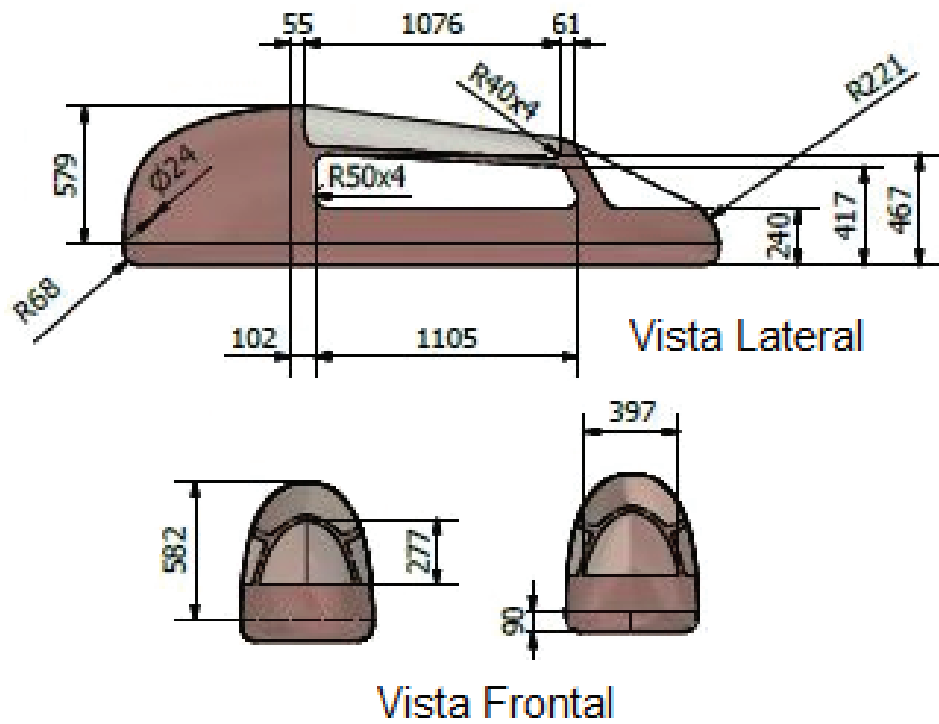
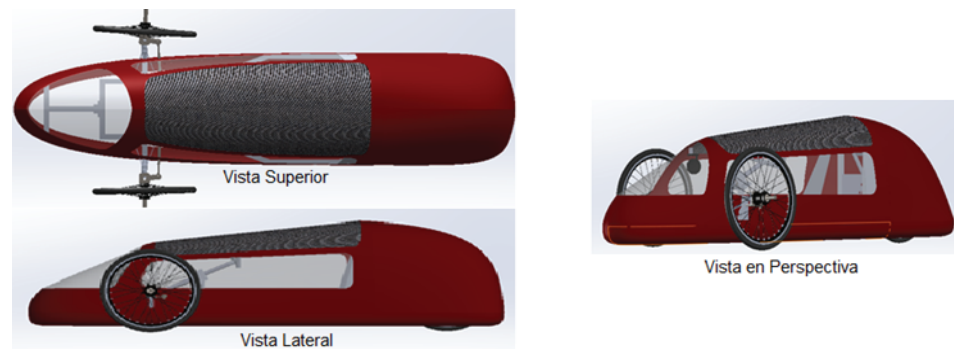


Figure 7

Vista lateral y frontal con medidas. (Elaborado por: Autor.)

**Figure 8**

Ensamblaje de la carrocería. (Elaborado por: Autor.)

Table 1

Cálculo de la masa total.

Material	Uso	Densidad [kg/m ³]	Área [m ²]	Masa [kg]
Fibra de vidrio	Carrocería	1581	8.39	26.53
Acrílico	Ventanas	1180	1.41	3.33
			Total	29.86

Elaborado por: Autor.

2.3. Simulación mediante dinámica de fluidos computacional

Normalmente el estudio de la aerodinámica de los vehículos se realiza considerando velocidades de desplazamiento mayores a 60km/h, a partir de la cual la carga aerodinámica empieza a tener importancia en su desempeño energético; no obstante, el vehículo diseñado en este estudio participa en una competencia de eficiencia energética, en la que el éxito se consigue prestando mucha atención a todos los parámetros de desempeño, y reduciendo al máximo las cargas que se oponen al desplazamiento del vehículo. La carga aerodinámica juega un papel fundamental en esta competencia, al punto que se debe prestar atención inclusive al acabado de la pintura para reducir al máximo porosidades que interfieran en su desempeño aerodinámico. Actualmente el estudio de la aerodinámica de vehículos, se lo puede realizar a través de programas de ingeniería asistida, como lo son los programas CFD, los cuales han alcanzado un alto nivel de precisión para determinar el perfil de velocidad y presión del aire alrededor del vehículo, y las líneas de trayectoria; así también para la predicción de los coeficientes aerodinámicos [12]. La veracidad de los resultados depende de la calidad del dominio computacional elaborado (mallado), modelos numéricos considerados, y nivel de convergencia de la solución. [13].

Respecto al mallado, es importante que este facilite la convergencia de la solución en la interface entre el vehículo y el aire (capa límite), por ello se debe generar un dominio estructurado en esta zona con elementos regulares, la misma que se conoce como capa de contorno, cuyo espesor, tamaño de elementos, y tasa de crecimiento, deben ser cuidadosamente calculados. Las limitaciones computacionales impiden analizar todos los elementos del vehículo en una simulación en tres dimensiones, por ello el objeto de estudio ha sido simplificado, tal como se muestra en la Figura 8.

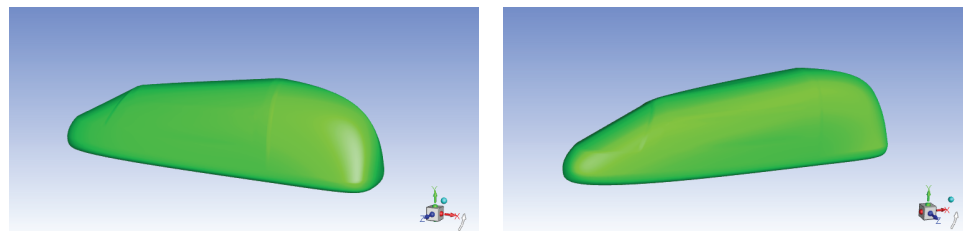


Figure 9

Simplificaciones consideradas en la carrocería para el estudio aerodinámico CFD. (Elaborado por: Autor.)

Otro factor importante, es el dimensionamiento del túnel de viento, las dimensiones se caracterizan a partir de la relación de bloque (ϕ) siendo esta el cociente entre el área frontal del vehículo y el área de la sección transversal del túnel, valores típicos se encuentran entre 0.10 y 0.20. Con un área frontal de la carrocería (A) de 0.338 m^2 y $\phi = 0.10$ la superficie de la sección transversal del túnel de viento (A_n) es:

$$A_n = \frac{A}{\phi} = \frac{0.338}{0.10} = 3.38 \text{ m}^2$$

Ecuación 1

Las dimensiones del túnel de viento o dominio computacional son: ancho de 2 m, altura de 1.7 m, para obtener un área de 3.38 m^2 y la profundidad de 7 m, debido a que debe ser la suficiente para captar los fenómenos en la estela de aire aguas debajo de la carrocería. La Figura 9, muestra las superficies del túnel de viento elaborado para el presente estudio, y la posición del vehículo dentro de él, las superficies se muestran malladas con elementos triangulares de 150mm para el túnel y de 15mm para el vehículo.

2.4. Mallado

Consiste en designar los elementos en los que serán resueltas las ecuaciones que rigen el movimiento del fluido, convirtiéndose en un entramado semejante a una rejilla, para el caso se aplica el elemento de una malla para un volumen tridimensional (3D),

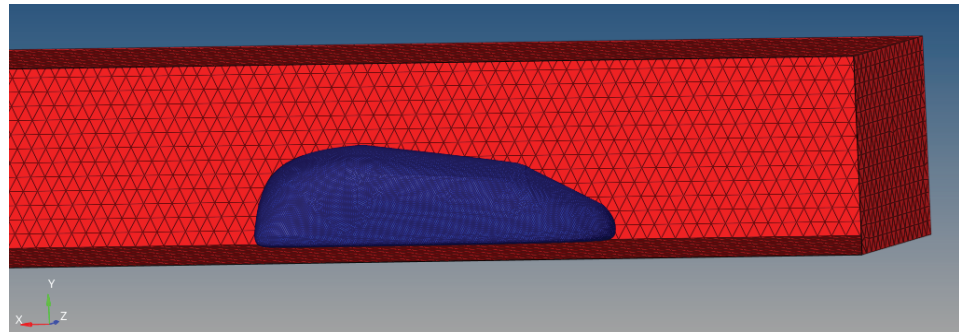


Figure 10

Modelo del túnel de viento y la carrocería. (Elaborado por: Autor.)

debido a que posee profundidad se aplica el método de volúmenes finitos, de la calidad de la malla depende la exactitud de los resultados, es por ello que el mallado debe ser lo suficientemente denso para capturar las características relevantes de la circulación del fluido [14].

La malla elaborada en el programa Altair® hypermesh®, consta de 929128 elementos, de los cuales 223 256 forman la capa límite, constituida por elementos prismáticos cuadrangulares, y los demás prismáticos triangulares. La calidad muestra que apenas 367 elementos tienen un factor de distorsión (skew) mayor a 0.7.

2.5. Generación de la malla

Para determinar el espesor de la malla estructurada alrededor del vehículo, es necesario en primero lugar determinar el espesor de la capa límite, siendo la zona donde se genera mayor resistencia al avance del vehículo, las ecuaciones para determinar el espesor de la capa límite son [2].

$$\delta = x \frac{5}{Re_x^{\frac{1}{2}}} \text{ para régimen laminar}$$

$$10^3 < Re_x < 10^6$$

Ecuación 2

$$\delta = x \frac{0,16}{Re_x^{\frac{1}{7}}} \text{ para régimen turbulento}$$

$$10^3 < Re_x < 10^6$$

Ecuación 3

$$Re_x = \frac{U_x}{\nu}$$

Ecuación 4

Dónde:

δ = *Espesor de la capa límite*

x = *longitud de la superficie en análisis*

Re_x = *número de Reynolds localizado*

U = *Velocidad del flujo*

ν = *Viscosidad cinemática*

El valor del número de Reynolds es de $1,42 \times 10^6$, considerando una velocidad de 8.33 m/s, longitud del vehículo de 2508 m y la viscosidad cinemática de 1.470×10^{-6} m²/s. El flujo es turbulento por lo tanto con la Ecuación 3, se determina el espesor de la capa límite (δ) igual a 0.053 m.

Con los datos obtenidos, y en base al dominio delimitado, se realizó el mallado del volumen total, en aplicaciones CFD esta malla se construye sobre el espacio que ocupa el fluido de trabajo, en este caso el aire alrededor del vehículo. La Figura 10 muestra en un corte longitudinal los elementos internos de la malla elaborada, se aprecia el contorno uniforme alrededor del vehículo (zona de elementos estructurados).

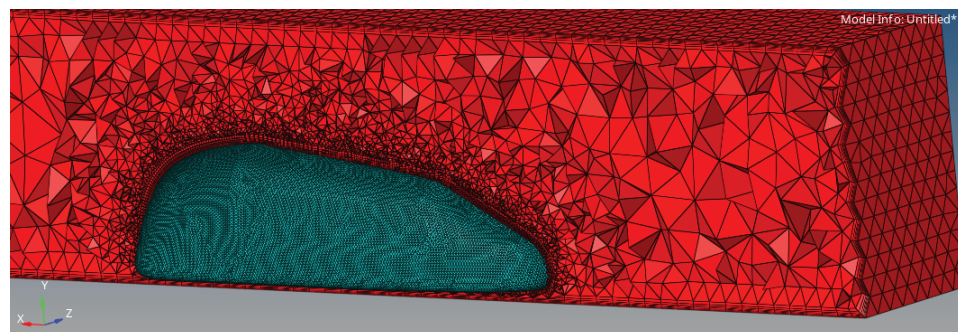


Figure 11

Mallado y contorno de la carrocería. (Elaborado por: Autor)

2.6. Cálculo CFD

Se definen las condiciones de frontera con los elementos 2D extraídos de la malla 3D, es importante mencionar que, para mejorar la aproximación de resultados, se consideró que el piso se mueve a la misma velocidad, y con la misma dirección que el fluido a la entrada del túnel de viento, por ello este se encuentra en un colector diferente, como se indica en la Figura 11.

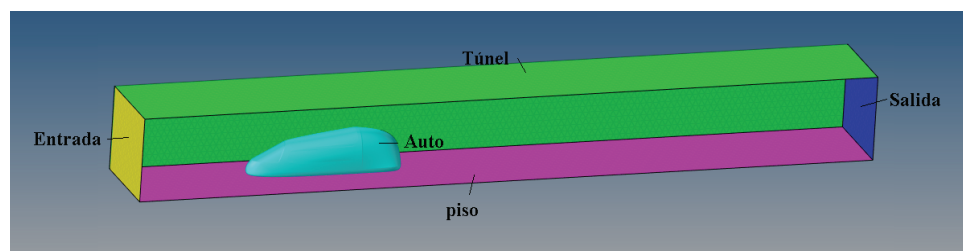


Figure 12

Características de contorno. (Elaborado por: Autor)

La velocidad de análisis corresponde a 8.33m/s, que equivale a 30 km/h en el programa Ansys® Fluent® se realiza la importación de la malla, se establece el modelo de viscosidad k-épsilon, la densidad del aire 1.225 kg/m³, la viscosidad de 1.789E-05kg/m-s a una temperatura del aire de 15 °C, a la salida se especifica la presión manométrica con el valor de cero (presión atmosférica), el auto como pared, y el túnel como simetría. Para el cálculo de los coeficientes característicos es necesario ingresar manualmente la sección transversal del automóvil. El método de solución utilizado para la discretización espacial fue el de “Green – Gauss” basado en celdas, con un esquema “simple” y modelos de segundo orden para la caracterización de la presión, momento, k (tasa de generación de energía cinética turbulenta) y épsilon (tasa de disipación de energía cinética turbulenta). La convergencia de la solución se consigue tras 117 iteraciones, en el análisis de variación de residuos se observó un decremento lineal, evidenciándose que esta se produce sin perturbaciones, como se muestra en la Figura 12.

Una vez encontrada la respuesta, se analizaron los contornos de presión y velocidad del aire a través del vehículo, la Figura 13, muestra la presión estática del aire alrededor de la carrocería, la zona de estancamiento en la punta alcanza de 45 a 48.8 Pa, pero el área de incidencia es pequeña en comparación con la sección de la carrocería, con ello se logra reducir arrastre aerodinámico, la zona inferior del vehículo y la zona superior tienen presiones similares, por ello se prevé una correcta sustentación.

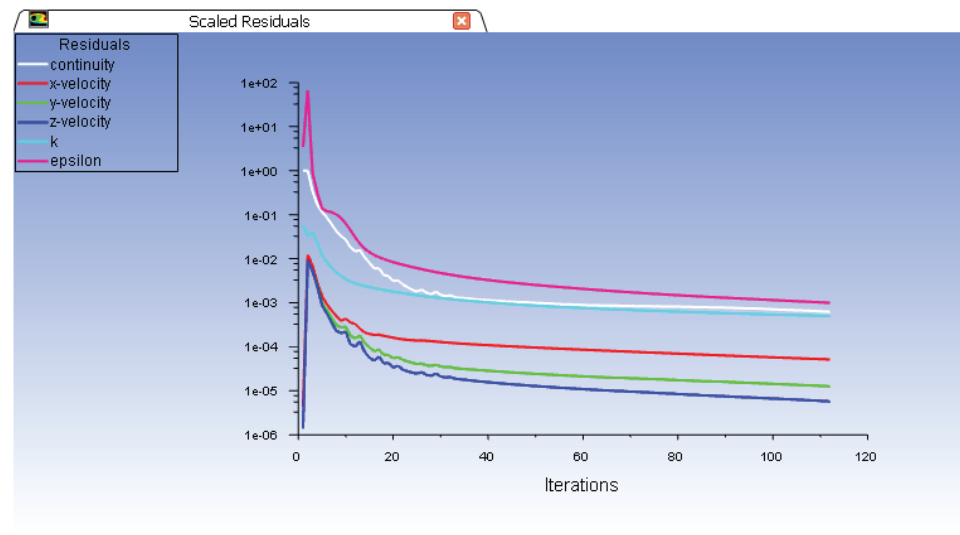


Figure 13

Variación de residuos durante el proceso iterativo de solución. (Elaborado por: Autor.)

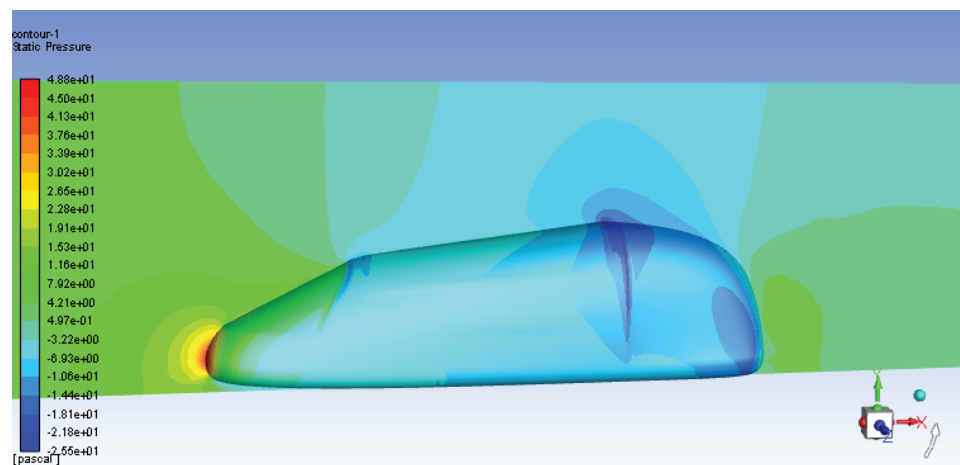


Figure 14

Contorno de Presión de aire alrededor de la carrocería. (Elaborado por: Autor.)

En la Figura 14, se muestra las líneas de corriente del aire alrededor de la carrocería, el rango de color indica la velocidad del aire, se evidencian desprendimientos de flujo en la zona de acople del parabrisas delantero con la carrocería y en la parte posterior del vehículo. El coeficiente de arrastre se computó en 0.43.

3. Resultados

El coeficiente de arrastre del vehículo computado fue de 0.43, el cual se considera elevado; esto se debe a que el contorno del vehículo produce desprendimientos no

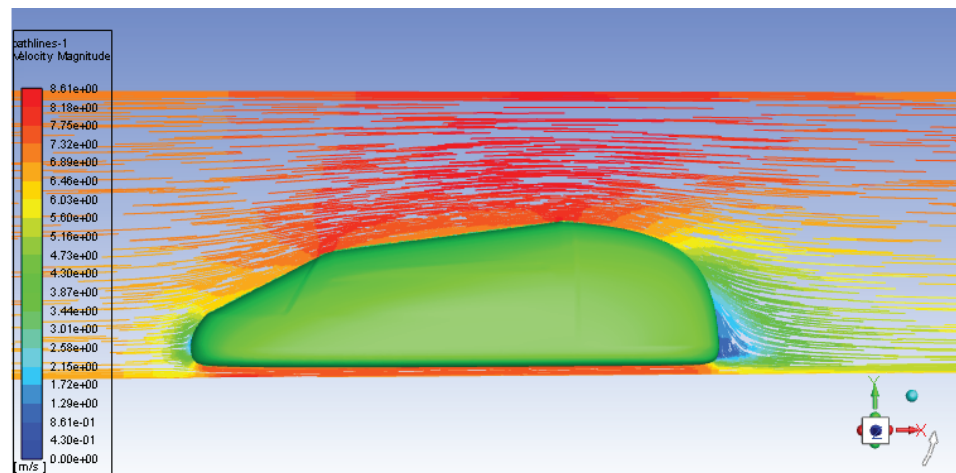


Figure 15

Líneas de corriente y velocidad de aire alrededor de la carrocería. (Elaborado por: Autor.)

controlados de aire fuera de la capa límite en la zona de acople entre el parabrisas delantero y la carrocería, y sobre todo en la parte posterior, a partir de estos resultados se realizaron correcciones en el contorno de la carrocería y se practicó una reducción de sección en la parte posterior, esto para forzar el desprendimiento del aire antes que alcance la zona posterior del vehículo, de esta forma se prolonga la estela turbulenta aguas abajo de la carrocería, y por ello se esperaría una reducción del coeficiente de arrastre. La nueva propuesta de diseño se muestra en la Figura 15.

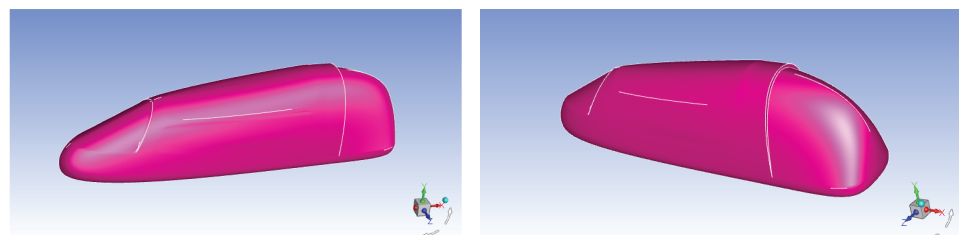


Figure 16

Modelo de la nueva propuesta de diseño, se observa continuidad en la silueta, y reducción de la sección en la parte posterior. (Elaborado por: Autor.)

La nueva propuesta de diseño de la carrocería fue estudiada considerando exactamente los mismos parámetros que la propuesta original tanto para la generación del dominio computacional (malla), como para el estudio CFD, de igual manera se logró una excelente convergencia de la solución en 142 iteraciones, el contorno de presión estática para este modelo se muestra en la Figura 16. En ella se observa una zona de baja presión estática en la zona de reducción de sección posterior, esto debido al desprendimiento de aire forzado gracias a la reducción de la sección. Así también

se observa una variación progresiva de la presión estática en la zona de acople del parabrisas delantero.

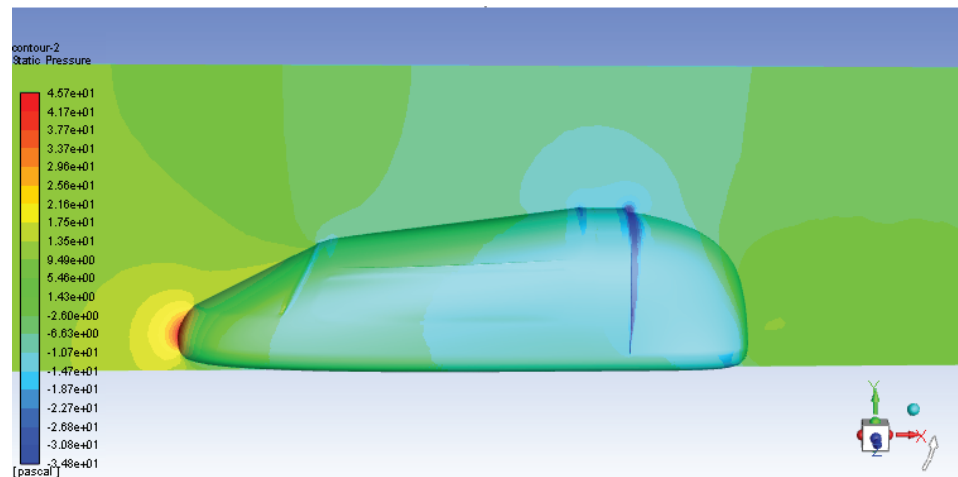


Figure 17

Contorno de Presión de aire alrededor de la carrocería, en la nueva propuesta de diseño. (Elaborado por: Autor.)

Al analizar las líneas de corriente alrededor del vehículo en la Figura 17 se observa ahora un comportamiento muchas más uniforme, sin desprendimientos en la zona delantera, y desprendimientos controlado en la zona posterior, se observa también el avance de la estela turbulenta aguas debajo de la carrocería, siendo este factor de mucha importancia para reducir el coeficiente aerodinámico de arrastre, el cual se computó en 0.32.

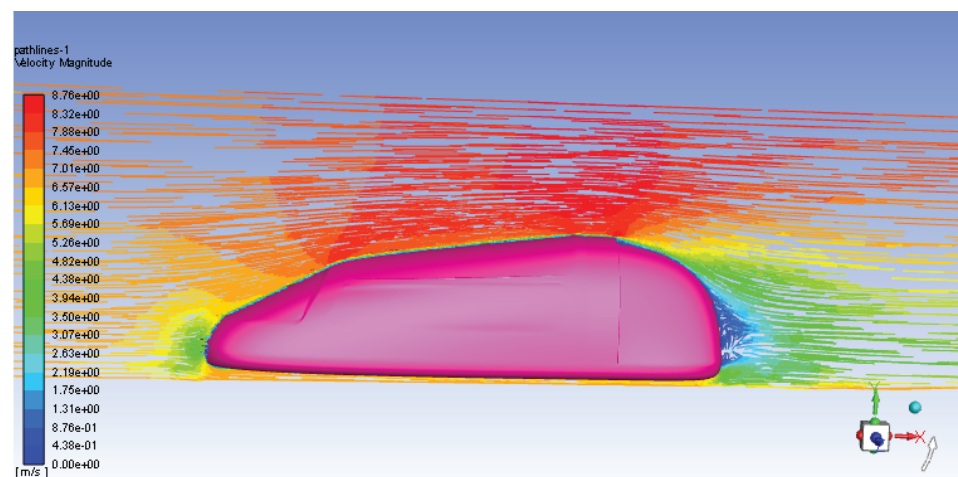


Figure 18

Líneas de corriente y velocidad de aire alrededor de la carrocería. (Elaborado por: Autor.)



4. Conclusiones

Los cambios en el diseño de la carrocería permitieron disminuir el coeficiente de arrastre aerodinámico, de 0.43 a 0.32, siendo favorable la decisión de reducir la sección posterior, y así generar un salto en el flujo del aire antes que comience la curvatura en la zona posterior de la carrocería, forzando su desprendimiento de forma controlada. Esta estrategia de diseño se ha observado en varios vehículos comerciales, inclusive muchos de ellos han incorporado apéndices para prolongar la formación de la estela turbulenta aguas abajo de la carrocería.

Respecto al mallado, se pudo establecer la importancia que tiene el uso de elementos estructurados en la interface entre el vehículo y el aire (capa de contorno que se ajusta a la capa límite), al utilizarla se redujeron sustancialmente los tiempos de procesamiento, y se logró una mejor convergencia de residuos tras cada iteración, permitiendo obtener resultados con tan solo 117 y 142 iteraciones. Para su correcta definición es necesario calcular su espesor con precisión.

A partir del presente estudio se logró mejorar la propuesta inicial de diseño de la carrocería de un vehículo que participará en la competencia de eficiencia energética "Shell Eco-marathon", cumpliendo además con el reglamento de la competencia, en términos de dimensiones permisibles, cumplimiento de requerimientos de visibilidad, y de materiales a utilizar; no obstante, para lograr el mejor desempeño del vehículo, es necesario elaborar diseños aún más ligeros, el peso de la propuesta de la carrocería se lo estima en 29.86 kg, y obedece al uso de materiales y procesos de manufactura tecnológicamente viables en nuestro medio; no obstante, para posicionarse en los primeros lugares de la competencia es necesario la concepción de un vehículo con estructura de monocasco, y la utilización de medios tecnológicos que permitan

Los programas de ingeniería asistida se utilizan actualmente en la etapa de diseño de un sin número de componentes de los vehículos, su nivel de correlación respecto a pruebas experimentales depende de la sensibilidad del modelo, calidad del mallado, convergencia de la solución, el uso correcto de los métodos numéricos disponibles, y la fiabilidad de las condiciones de frontera asumidas; su uso permite una significativa reducción en el tiempo, y en los costos invertidos en el desarrollo de nuevos productos, por ello es necesario difundir su correcta utilización en miras de potenciar el conocimiento y el aprovechamiento industrial de estas herramientas; en miras de fortalecer la cadena productiva automotriz, y diversificarla hacia el desarrollo de componentes automotrices nacionales con alto valor tecnológico agregado, como lo son los procesos de ingeniería asistida por computador.



Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el Proyecto de Investigación: Diseño, optimización y construcción de un vehículo prototipo eficiente energéticamente para la competencia Shell Eco-marathon.

Los autores desean expresar su agradecimiento a los estudiantes de la Escuela de Ingeniería Automotriz, de la Facultad de Ciencia y Tecnología de la Universidad del Azuay cuya participación en los proyectos de Shell Eco-marathon de los años 2016, 2018 y 2019 permitieron realizar este documento que permite mostrar el trabajo realizado durante varios años.

Un agradecimiento especial a las autoridades de la Universidad, de manera especial al Ing. Jacinto Guillén Vicerrector de Investigaciones y al Decano de la Facultad Ing. Andrés López PhD, quienes con su apoyo y convicción en el proyecto generaron los medios adecuados para su desarrollo, al grupo ERGON por la amistad y apoyo incondicional en la realización del proyecto.

References

- [1] Myselie N. Aerodynamic development of DNV GL Fuel Fighter - Towards shell eco marathon 2015. Noruega, Norway: Semantic Scholar.
- [2] Cajamarca P, Vásquez C. Diseño y construcción de la carrocería para el prototipo de competencia Shell Eco Marathon. Ecuador: Universidad del Azuay; 2016.
- [3] Aparicio F, Vera C, Díaz V. Teoría de los vehículos automóviles. Madrid: Dextra; 2001.
- [4] Gunadi, Fergianto F. Designing shell eco marathon car bodies with solid work. Journal of Physics: Conference Series; 2020;1700:012072.
- [5] Mitev E, Iliev S, Gunev D. A study of electric vehicle prototype for shell eco-marathon. In: 30th International DAAAM Symposium "Intelligent Manufacturing & Automation" [Internet]; 2019 Oct 23–26; Zadar, Croatia. Austria, EU: DAAM International Vienna; 2020. Available from: <http://toc.proceedings.com/51913webtoc.pdf>
- [6] Dol S. Design and development of a prototype vehicle for shell eco-marathon. International Journal of Mechanical and Mechatronics Engineering. 2016;10.
- [7] Shell Eco-marathon. Shell eco-marathon 2020 official rules. USA: Shell Eco-marathon; 2020.
- [8] Adeniyi A, Abubakar M. A shell eco-marathon concept car engine design. Academic Research International. 2012;2(3):126–137.



- [9] Shell USA. Energy efficient cars to the test at shell eco-marathon Americas 2019. USA: Shell USA, Inc.; 2019. Available from: <https://www.shell.us/media/2019-media-releases/students-put-energy-efficient-cars-to-the-test-at-shell-eco-mara.html>
- [10] Dufour G, Ignacio J. Diseño de la estructura de un prototipo destinado a participar en la shell eco-marathon Europe. Madrid, Spain: Universidad Carlos III de Madrid. Departamento de Ingeniería Mecánica; 2013.
- [11] Iliev S, Gunev D, Dobrev V. Improving engineering education through the design and manufacture of electric car for the Shell eco-marathon competition. Rusia, Bulgaria: European Science Publishing Ltd.; 2017.
- [12] Abo-Serie E. Aerodynamics assessment using CFD for a low drag Shell eco-marathon car. *Journal of Thermal Engineering*. 2017;3(6):1527–1536.
- [13] Wasik M, Targosz M, Panfil W. Methodology of aerodynamic analysis in the Hyperworks software of the cars participating in the eco-marathon race. *Proceedings of the Institute of Vehicles*. 2014;3:99.
- [14] Cumbe E, Rockwood R. Simulación aerodinámica de un vehículo toyota corolla 2005 en un programa de dinámica de fluidos computacional (CFD). Ecuador: Universidad del Azuay; 2009.