

Análisis computacional del comportamiento aerodinámico de un vehículo con estructura tubular

Computational analysis of the aerodynamic behavior of a vehicle with a tubular structure

Jairo Edison Guasumba Maila¹, Diego Andres Calero Torres², Luis Patricio Criollo Yanchatipan³, Victor Alfonso Garay Cisneros⁴

Resumen:

La presente investigación se plantea realizar un análisis computacional a una estructura tubular de un vehículo con motor Nissan Tiida, con la finalidad de observar el comportamiento aerodinámico de la estructura en la simulación y verificar si el método de análisis computacional aplicado concuerda con los cálculos propuestos desde las referencias teóricas, para ello, la investigación se enfoca en un estudio descriptivo, que determine paso a paso el proceso de análisis de la estructura de manera teórica, adicionalmente el estudio se sustenta en la aplicación de una técnica de investigación acción participativa, con la finalidad de relacionar el proceso metodológico con el proceso computacional desarrollado por los participantes especialistas en el área y de los participantes técnicos del área, los valores utilizados dentro de la investigación son el coeficiente de penetración, coeficiente de empuje y la velocidad inicial, el prototipo puesto a prueba es una estructura tubular sin carrocería para el cual se esperó encontrar un coeficiente de penetración (C_x) alrededor de 3,35 a 0,45, sin embargo el resultado fue de $C_x=0,588$ superior al coeficiente presente en los vehículos todoterreno y acercándose más a una estructura de un bus. La resistencia aerodinámica disminuye con la velocidad a la que circula un vehículo, siendo ésta para el análisis de hasta 100 Km/h, reflejando que a esa velocidad la estructura en la simulación presenta un flujo de aire promedio y no generando alteraciones en su estructura inicial.

Palabras clave: Simulación de flujo computacional, coeficiente de arrastre, coeficiente de empuje, coeficiente de sustentación

¹ Instituto Superior Tecnológico Tecnoecuatoriano, Magister en Diseño Mecánico con Mención en Fabricación de Autopartes, <https://orcid.org/0000-0002-0533-0397>

² Instituto Superior Tecnológico Tecnoecuatoriano, Magister en Energías Renovables, <https://orcid.org/0000-0003-4754-4251>

³ Instituto Superior Tecnológico Tecnoecuatoriano, Magister en Educación Mención en Gestión del Aprendizaje Mediado por TIC, <https://orcid.org/0000-0003-3647-2918>

⁴ Instituto Superior Tecnológico Tecnoecuatoriano, Magister en Educación Mención en Gestión del Aprendizaje Mediado por TIC, <https://orcid.org/0000-0001-6739-9309>

Autor de correspondencia: jguasumba@istte.edu.ec



Abstract:

The present research aims to carry out a computational analysis of a tubular structure of a vehicle with a Nissan Tiida engine, with the purpose of observing the aerodynamic behavior of the structure in the simulation and verifying whether the computational analysis method applied agrees with the calculations proposed from theoretical references, for this, the research focuses on a descriptive study, which determines step by step the process of analysis of the structure in a theoretical manner, additionally the study is supported by the application of a participatory action research technique, with the purpose of relating the methodological process with the computational process developed by the specialist participants in the area and the technical participants in the area, the values used within the research are the penetration coefficient, thrust coefficient and the initial speed, the prototype placed The test is a tubular structure without a body for which it was expected to find a penetration coefficient (C_x) around 3.35 to 0.45, however the result was $C_x=0.588$ higher than the coefficient present in off-road vehicles and approaching more like a bus structure. The aerodynamic resistance decreases with the speed at which a vehicle circulates, this being for the analysis up to 100 km/h, reflecting that at that speed the structure in the simulation presents an average air flow and does not generate alterations in its initial structure.

Keywords: *Computational flow simulation, drag coefficient, thrust coefficient, lift coefficient*

Introducción

El análisis de perfiles aerodinámicos basado en simulación dinámica de fluidos (CFD) originada mediante un software, proporciona información sobre el comportamiento de las superficies de un vehículo que se encuentra en contacto con el flujo de aire, donde el modelo elegido es el que presenta, menores coeficientes de arrastre, mediante un análisis de flujos, permitiendo determinar resistencias, variaciones en la estabilidad, entre otras.

El CFD, es considerado como una tecnología de Ingeniería Asistida por Computadora (CAE), siendo una herramienta fundamental utilizada en la mayoría de los ámbitos industriales para el desarrollo de diseño en la ingeniería actual (Jaramillo, Jiménez, Ortega, Ríos y Zambrano, 2022), para la producción de toda clase de autopartes de vehículos, y, su uso se ha vuelto indispensable para estudios de tipo aerodinámicos.

El desarrollo de modelos de simulación aerodinámicos, usa los resultados originados en el CFD, para mejorar todo tipo de diseños conceptuales, perfeccionando el detalle del producto, con una resolución más apropiada a las necesidades del rediseño requerido, dándose un rápido acceso en la resolución del problema, en empresas como Marco Polo la cual innova sus productos en cada modelo, mientras que en el Ecuador, se han utilizado en Universidades como la ESPE, las cuales han comparado las propiedades aerodinámicas de vehículos de tipo SEDÁN estándar con respecto a otros modificados, en tanto que en la ESPOCH, mediante análisis aerodinámicos se logró obtener una carrocería apropiada para una motocicleta de Tipo CUSTOM. (Alba & Guaguasi, 2018)

El uso de plataformas y programas que se encarguen de evaluar de manera teórica el comportamiento de un elemento antes de su fabricación, representa un ahorro de tiempo, recursos y materiales en el desarrollo de cualquier prototipo pensado a ser aplicado en la industria, por tanto, la “informática puede utilizarse con múltiples propósitos, en especial cuando se enfoca a sustituir tareas repetitivas e iterativas como la solución de fórmulas y sus cálculos matemáticos respectivos” (Vargas y Contreras, 2007, p. 64). Razón por la cual, en la presente investigación se plantea realizar un análisis computacional a una estructura tubular de un vehículo con motor Nissan Tiida, con la finalidad de observar el comportamiento aerodinámico de la estructura en la simulación y verificar si el método de análisis computacional aplicado concuerda con los cálculos propuestos desde las referencias teóricas.

Por lo que la mecánica computacional es considerada útil para mejoras experimentales, a través del uso de herramientas numéricas, donde su forma de trabajar es en la mecánica de fluidos, con resultados confiables, donde las nuevas tecnologías y la continua mejora de los algoritmos, han hecho posible ejecutar en computadoras personales.

Análisis teórico

Aerodinámica

La aerodinámica es la ciencia que estudia los fluidos, encargados de generar movimiento sobre un cuerpo definido, enfocado en obtener un valor mínimo originado

por una resistencia originada por un movimiento, evitando efectos negativos posibles, generados por el consumo de energía, así como la desestabilización del vehículo ante la presencia de vientos cruzados. (Gómez, Martín, Águeda, & García, 2016)

Por su parte, la resistencia al aire es una fuerza que actúa en dirección opuesta al movimiento del automóvil y aumenta a medida que la velocidad aumenta. Para minimizar esta resistencia, los diseñadores automotrices aplican principios aerodinámicos para dar forma al vehículo de manera que el flujo de aire se deslice suavemente alrededor de la carrocería en lugar de generar turbulencias.

Algunas características aerodinámicas comunes en los automóviles incluyen, la forma y curvas de la carrocería, que optimice el flujo de aire y logre minimizar las turbulencias y el arrastre. Esto se logra mediante el diseño de líneas suaves y curvas, y la reducción de protuberancias innecesarias.

Los ángulos y pendientes presentes en los parabrisas, ventanas laterales y parte trasera cuentan con una configuración que permite al aire deslizarse de manera eficiente. Los alerones traseros y los alerones delanteros también se pueden utilizar para controlar el flujo de aire y generar fuerza descendente (downforce) para mejorar la estabilidad a altas velocidades. Las ecuaciones que rigen la aerodinámica se mencionan en el estudio realizado por ETSEIB (2018) tal como se enlistan a continuación:

- Ecuación de Navier – Stokes, para una correcta simulación de un flujo de tipo transitorio e incompresible
- Ecuación de continuidad
- Ecuación de estado
- Condiciones de contorno
- Condiciones iniciales

De igual forma, fueron agrupados por modelos tal como se describen a continuación:

- Modelos premiados de Reynolds (RANS)
- Modelos de Simulación de Grandes Remolinos (LES)
- Modelos de Simulación Numérica Directa (DNS)

Efecto Venturi

En base al principio de Bernoulli, se origina un efecto denominado Venturi, el mismo que se da cuando un determinado fluido circula por un conducto de tipo cerrado, con un estrechamiento originado por una depresión, generando un aumento en la velocidad del fluido. (Martín, 2016)

Número de Reynold.

Reynolds fue quien estudió las características de flujo de los fluidos inyectando un trazador dentro de un líquido que fluía por una tubería, por lo que el flujo lineal se denomina laminar y el errático turbulento. (Ruiz & Curicama, 2013). Las características que condicionan el flujo laminar son aquellas que dependen de las propiedades del líquido y de las dimensiones del flujo, aumentando las fuerzas del

momento o inercia, las cuales son contrarrestadas por la fricción o fuerzas viscosas. Por tanto, cuando las fuerzas opuestas alcanzan un equilibrio se producen cambios en las características del flujo, definidos estos, como la relación entre las fuerzas inerciales y las fuerzas viscosas (o de rozamiento).

$$N_{RE} = \frac{F_{inerciales}}{F_{viscosas}} \quad (1)$$

Factores Aerodinámicos

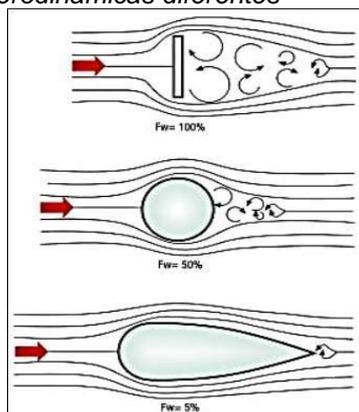
Los factores aerodinámicos a tener en cuenta, por su incidencia en el estudio fueron los perfiles aerodinámicos, flujo de aire, flujo interior, flujo exterior, flujo laminar, flujo turbulento, resistencia por presión, resistencia por rozamiento, resistencia total de avance y las partes del vehículo que serán descritos a continuación.

Perfiles aerodinámicos

Los perfiles aerodinámicos se dan en función de sus formas básicas, con valores de coeficientes C_x , establecidos según la dirección de la corriente de aire definida. Los fabricantes de vehículos buscan que sus carrocerías prototipo se asemejen al modelo de una gota de agua, la cual sufre un moldeamiento con el aire, para poder obtener una menor resistencia posible con una habitabilidad escasa interior, originando un flujo de tipo tubular o laminar, comparándose la resistencia al avance de tres formas distintas como se puede observar en la figura 1.

Figura 1

Resistencia al avance de formas aerodinámicas diferentes



Nota. Gómez, Martín, Águeda, y García, 2016

Flujos de Aire

Gómez et al. (2016) mencionan que el flujo de aire es el contacto que se origina entre el vehículo y el aire, donde actúan varias fuerzas de resistencia que limitan la aerodinámica de la unidad como se pudo observar en la figura 1, y se clasifican en flujo interior y flujo exterior. El primero, trata de cuando el aire ingresa por las entradas, existentes en la carrocería de un determinado vehículo, avión, tren, entre otras; beneficiando de manera positiva su refrigeración y negativa su aerodinamismo, produciéndose la ventilación en el habitáculo del piloto, en un porcentaje del 20% del total, mejorando el confort climático de los ocupantes, con una temperatura constante

aceptable, la cual depende del exterior y de la velocidad del vehículo, pudiendo renovar el aire.

El flujo exterior según la investigación realizada por Gómez, consiste en la circulación del aire sobre una determinada carrocería, generando un factor de resistencia confiable, pero este flujo provoca zonas de presión y depresión denotando factores con mayor resistencia en aspectos como el porte y forma de la carrocería, la velocidad relativa del vehículo respecto al avance, la carga sobre las ruedas, la densidad del fluido, y el tipo de superficie, determinando que el aire tome formas denominadas de flujo laminar y flujo turbulento.

En lo que respecta al flujo laminar Gómez et al. (2016) destacó que cada partícula de aire sufre desplazamiento, con respecto a la carrocería, en una dirección y velocidad única, conociéndose un flujo uniforme, el cual, cuanto mayor sea el flujo laminar, menor será la resistencia aerodinámica característico de velocidades de circulación bajas, mientras que el flujo turbulento, trata de dar un límite laminar, donde el flujo de aire se transforma en turbulento, dada la pérdida de velocidad de las partículas de aire existentes con respecto a los cambios de dirección, característico de velocidades de circulación altas.

Resistencia por presión

Se trata de presiones positivas en las zonas cóncavas y negativas en las zonas convexas, con base a un coeficiente de presión definido (Domínguez, 2018). Donde las zonas más cálidas son las presiones positivas, mientras que las azuladas son las negativas, como se detalló anteriormente.

Resistencia por rozamiento

Se origina por efecto de la viscosidad del aire (Domínguez, 2018)

Resistencia total de avance

Es aquella que depende de la densidad del fluido, superficie frontal, velocidad de circulación y coeficiente aerodinámico (Domínguez, 2018)

Partes de un vehículo

La forma y el diseño de estas partes se optimizan para reducir la resistencia al aire, mejorar la estabilidad y aumentar la eficiencia del vehículo; entre las partes que más se encuentran en contacto con el flujo de aire son los spoilers, mismos que se encuentran en la parte trasera del vehículo y se utilizan para modificar el flujo de aire y reducir la resistencia aerodinámica. Pueden estar integrados en la forma del vehículo o ser elementos separados.

El difusor, que se encuentra en la parte inferior trasera del vehículo, ayuda a acelerar el flujo de aire y a reducir la presión aerodinámica en esa zona, todo ello, con la finalidad de mejorar el rendimiento y la estabilidad del vehículo a altas velocidades.

Mientras que el alerón, que se encuentran en la parte trasera del vehículo, está diseñado para generar fuerza descendente y mejorar la estabilidad a altas velocidades, puede tener formas y configuraciones diferentes según el tipo de vehículo y su propósito.

Proceso de Simulación

Los procesos de simulación automotriz constituyen una serie de actividades o procedimientos que empleando ciertas herramientas permiten evaluar y analizar el

rendimiento y comportamiento de los vehículos antes de su producción y lanzamiento al mercado. Estos procesos facilitan simular y predecir cómo se comportará un vehículo en diferentes condiciones de funcionamiento y escenarios de conducción sin la necesidad de realizar pruebas físicas en prototipos reales.

- Pre-Procesamiento
- Procesamiento
- Post-Procesamiento

Pre-Procesamiento, es la parte en la que se genera e inserta una geometría en un determinado software de Diseño tipo CAD, así como las cargas, condiciones de contorno, mallado en el cual se origina elementos sólidos tetraédricos en 3D, triangulares en 2D y elementos de vigas en 1D, la cual debe estar diseñada de manera óptima, dividiéndose en dominios y subdominios, en base a nodos, donde la calidad de la malla permite verificar el cociente de aspecto, donde los puntos jacobianos a determinar son importantes, y finalmente está el tipo de análisis. (Martínez, 2017)

Procesamiento, es la parte o sección donde se generan ecuaciones características de un modelo simplificado, que garantice la idoneidad del mallado, así como las condiciones de frontera. (Martínez, 2017)

Post-Procesamiento, en esta etapa se visualizan resultados obtenidos, de forma gráfica. (Martínez, 2017)

Metodología

La investigación se enfoca en un estudio descriptivo, que determine paso a paso el proceso de análisis de la estructura de manera teórica, adicionalmente el estudio se sustenta en la aplicación de una técnica de investigación acción participativa, con la finalidad de relacionar el proceso metodológico con el proceso computacional desarrollado por los participantes especialistas en el área y de los participantes técnicos del área, con la finalidad de romper la dicotomía de sujeto-objeto (Bernal, 2010). Al ser una técnica no científica, los resultados se interpretaran desde un punto de vista técnico de prueba y error, mientras que la descripción del procedimiento será monitoreado, para encontrar la configuración adecuada para la estructura, logrando conformar un equipo de trabajo y método, en el cual se analice el procedimiento de evaluación de la estructura, mediante el análisis de los resultados computacionales y los resultados calculados, para ello, a continuación se describen los principios básicos que rigen las estructuras de los vehículos.

Principios básicos de la aerodinámica

El principio básico de la aerodinámica es la de Bernoulli, quien describe el comportamiento de un fluido a lo largo de una línea de corriente, y el estudio realizado por Martín (2016) utiliza la siguiente formula para expresar la teoría mencionada por Bernoulli.

$$\frac{v^2 \rho}{2} + P + \rho g z = \text{constante} \quad (2)$$

Dónde:

V = Velocidad del fluido

ρ = Densidad del fluido

P = Presión originado a lo largo de la línea de corriente

g = Gravedad

z = Altura en función de la gravedad

Coefficientes Aerodinámicos

En el área automotriz, los coeficientes aerodinámicos son utilizados para describir y comparar el comportamiento aerodinámico de los vehículos. Estos coeficientes se obtienen mediante pruebas en túneles de viento y análisis computacional de dinámica de fluidos. Consisten en números adimensionales que se usan para un estudio de tipo aeronáutico o aerodinámico de las cargas que generan un cuerpo en movimiento a través del aire. A continuación, se presentan las definiciones de coeficientes de tipo de arrastre C_x y de sustentación C_l :

Coefficiente de arrastre o Penetración (C_x)

Influye en el comportamiento de un vehículo, refiriéndose a su aerodinamismo y a su desplazamiento originado a través del aire, el cual depende de la velocidad y de su densidad, donde mientras menor sea este, menores serán los efectos que se producen. El coeficiente de penetración es muy importante en función del flujo que roza de manera homogénea al vehículo con un grado bajo de rozamiento. (Aguirre, 2009). Los componentes que dependen de los coeficientes de arrastre son:

- La superficie y el tipo del cuerpo al que se le ejecuta el análisis.
- La velocidad del fluido.
- La densidad del tipo de fluido, siendo permitido aumentar o disminuir en un 5%.

El C_x según Aguirre (2009), en la mayoría de los autos varía entre 0.28 y 0.35, mientras que vehículos todo terreno varían entre 0.35 y 0.45, “vehículos prototipo pueden bajar aún más su C_x hasta llegar a tener menos de 0.25” (Aguirre, 2009, p. 13), calculando la resistencia aerodinámica que produce la fuerza, con base a una superficie frontal, expresada de la siguiente manera:

$$C_x = \frac{F_x}{\frac{1}{2} \rho v^2 A} \quad (3)$$

Dónde:

F_x = Fuerza de arrastre

C_x = Coeficiente de arrastre

σ = Densidad del fluido
V = Velocidad relativa de la corriente
A = Área de referencia

En la tabla 1 se muestran los coeficientes de arrastre de marcas de vehículos más conocidos, con los cuales se relacionaron para obtener el valor del coeficiente que se aplicó al estudio realizado.

Tabla 1

Coeficientes Aerodinámicos

Modelo	Cx	Modelo	Cx
Volkswagen XL1	0.186	Opel Kadett (1989)	0,38
Tesla Model 3	0.21	Renault Vel Satis (2002)	0,33
Toyota Prius	0.24	Irizar PB (2002)	0,55
Tesla Model S	0.24	Camión con deflectores	0,70
Audi A6	0.26	Autobús	0,49
Jaguar XE	0.26	Motocicleta	0,70
Mazda3	0.26	Fórmula 1 en Mónaco (el mayor)	1,084
BMW I8	0.26	Fórmula 1 en Monza (el menor)	0,7
Nissan GT-R	0.26	Paracaídas	1,33
Mercedes Clase C	0.26	Perfil alar simétrico	0,05
Astra (2004)	0.32	Esfera	0,1
Peugeot 807 (2002)	0.33	Cubo valor de referencia	1
Renault Vel Satis (2002)	0.33		
Hispano Divo (2003)	0.349		
Renault Espace (2002)	0.35		
Renault Espace (1997)	0.36		
Citroën CX (1974)	0.36		

Nota. Domínguez, 2018 y Aguirre, 2009

Cy (Coeficiente de empuje lateral)

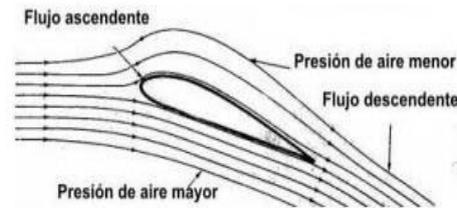
El coeficiente de empuje lateral C_y , se deriva del efecto de aire, aplicado a la unidad en forma lateral, incidiendo así la conducción y trayectoria, producida u originada (Gómez et al, 2016).

CI (Coeficiente de sustentación)

Este tipo de coeficiente indica la capacidad de crear una fuerza en dirección perpendicular a la velocidad que origina movimiento, incide en forma vertical sobre la carrocería hacia debajo de modo que el empuje del vehículo sea hacia el asfalto, lo que produce mayor agarre e incremento de la estabilidad (Uribe, 2008).

Figura 2

Diferencia de Presiones



Nota. Uribe, 2008

El coeficiente de sustentación según Uribe (2008), depende del cuerpo a analizar, el cual se determina con base a la siguiente ecuación:

$$Fl = Cl \frac{1}{2} \rho v^2 A \quad (4)$$

Dónde:

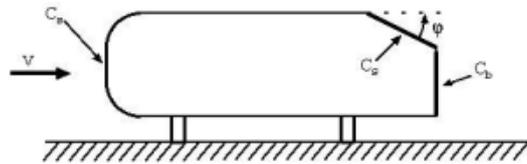
- Fl = Fuerza de sustentación
- Cl = Coeficiente de sustentación
- σ = Densidad del fluido
- V = Velocidad relativa de la corriente
- A = Área de referencia

Dinámica de flujo computacional CFD

En el contexto automotriz, CFD desempeña un papel importante en el diseño y desarrollo de vehículos, ya que permite analizar y optimizar los flujos de aire alrededor del vehículo y dentro de sus componentes. Siendo útil para un estudio encargado de la mecánica de fluidos, que utiliza los métodos numéricos y algoritmos, que analizan problemas sobre el flujo de sustancias, donde, los ordenadores son usados para realizar millones de cálculos necesarios para simular la interacción de los líquidos y gases con superficies complejas, reduciendo la velocidad de cálculo en un tiempo con situaciones complejas como los fluidos trans sónicos o turbulentos (ETSEIB, 2018), como se puede observar en la figura 3, donde los casos de validación (cuerpo de Ahmed), es un modelo de tipo genérico con una forma muy simple, en el cual los resultados experimentales son muy precisos, con un ángulo fijo de hasta 12.5° (Sacco, González, & Giuggioloni, 2005). Se coloca este ejemplo por el hecho de que el estudio busca que los resultados obtenidos en el ordenador coincidan con los que se han calculado, y de esa manera, validar el procedimiento y parámetros utilizados para simular un caso puntual que con base a los datos que arroje el estudio, pueda ser fabricado

Figura 3

Esquema del cuerpo de Ahmed



Nota. Sacco, González, y Giuggioloni, 2005

Los factores que determinan la resistencia aerodinámica son:

$$R = \frac{1}{2} \sigma v^2 ACx \quad (5)$$

Dónde:

Velocidad al cuadrado, es proporcional a la resistencia aerodinámica en el cual se incrementa más deprisa la velocidad.

Superficie Frontal, es el área que ocupa el auto, visto de manera frontal, donde los coches de gran altura y anchura se dan más oportunidades de hacer fluir el aire suavemente. (ETSEIB, 2018). Los parámetros para analizar comúnmente en un ensayo de tipo CFD son:

- **Distribución de presiones**, donde se observa las partes que tienen mayor presión ante un flujo determinado.
- **Velocidad del aire**, donde se permite observar las zonas o secciones que corresponden a velocidades de aire mayores, así como las menores.

Efectos de modificación

Las modificaciones aerodinámicas en el área automotriz pueden tener diversos efectos, desde la reducción de la resistencia aerodinámica y la generación de fuerza descendente hasta el control del flujo de aire y el enfriamiento del motor. Estas modificaciones se realizan con el objetivo de mejorar el rendimiento, la eficiencia y la estabilidad del vehículo, a continuación, se describe los efectos que dichas modificaciones producen en un vehículo

- Consumo alto de combustible
- Velocidad final menor
- Esfuerzo innecesario del motor
- Eficiencia del sistema de enfriamiento menor.
- Disminución de la capacidad de disipación originada por el calor de los frenos.
- Esfuerzos innecesarios originados en la suspensión.
- Desgaste de neumáticos.
- Ruido excesivo del viento.

Software SolidWorks 2018

Modelado 3D: SolidWorks 2018 permite crear modelos 3D utilizando una amplia gama de herramientas y funciones. Puedes comenzar creando un nuevo archivo y seleccionando el tipo de diseño que deseas realizar, como piezas, ensamblajes o dibujos. Luego, puedes utilizar las herramientas de modelado, como extrusión, revolución, barrido, entre otras, para crear las formas y geometrías deseadas. Es una versión donde destaca el análisis y validación de los diseños y el diseño mecánico, eléctrico y electrónico conectados en el proceso de diseño.

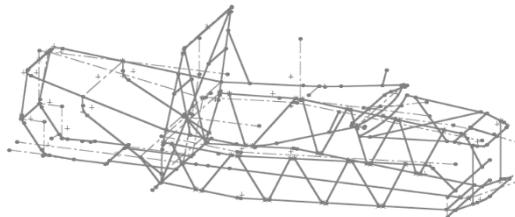
Las dimensiones externas del Chasis tienen un largo de 3615 mm, ancho de 1409mm y una altura de 1102.5 mm, mientras que las dimensiones de los tubos son de

- Tubo Redondo: 50x2.2 mm
- Tubo Redondo: 25.4 x 2.2 mm
- Tubo Redondo: 70 x 2.2 mm
- Angulo: 50 x 40 2.2 mm
- Tubo Estructural Cuadrado: 25.4 x 2.2 mm

Según la ANT (2019), los vehículos livianos, motocicletas y similares, el límite máximo es de 100 Km/h = 27.77 m/seg. Como se tiene las medidas principales se procede a modelar el chasis, Iniciando con: Vehículo Tubular Nissan Tiida Un bosquejo en 3 D del vehículo como se presenta en la figura 4

Figura 4

Bosquejo lineal 3D de la estructura del vehículo a analizar

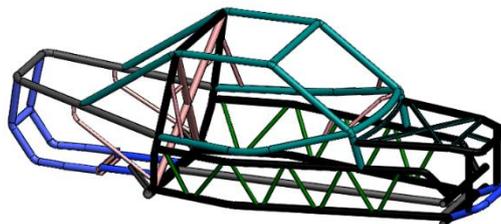


Nota. Autores, 2019

El siguiente paso es seleccionar el miembro estructural a utilizar tubo cuadrado 25mm x 25mm x 2mm. Finalmente se da el modelado del chasis tubular tipo jaula biplaza con motor Nissan Tiida figura 5

Figura 5

Diseño 3D tubular de la estructura a ser analizada



Nota. Autores, 2019

En la tabla 2 se presentan las dimensiones del vehículo que entrara en el proceso de simulación

Tabla 2

Perfil Aerodinámico de Nissan Tiida

Sección	Medidas
Largo	3615 mm
Ancho	1409mm
Altura	1102.5mm

Nota. Estas dimensiones serán puestas a prueba con una condición de frontera de velocidad 27,77 m/seg. Autores 2019.

Dentro del programa de diseño el cuerpo se encuentra ubicado en las coordenadas que se presentan en la tabla 3

Tabla 3

Dimensiones computacionales

Coordenada	Ubicación
X min	-2.000m
X max	3.000m
Y min	-1.000m
Y max	2.500m
Z min	-2.000m
Z max	2.000m

Nota. Autores 2019

Las condiciones de simulación bajo las cuales se realizó el análisis tomaron como opciones de flujo externo, laminar-turbulento, adiabático, con una presión de 101325 Pa a una densidad del aire de 1.225kg/m³, en una temperatura de 270°K y un modelo tubular K-epsilon

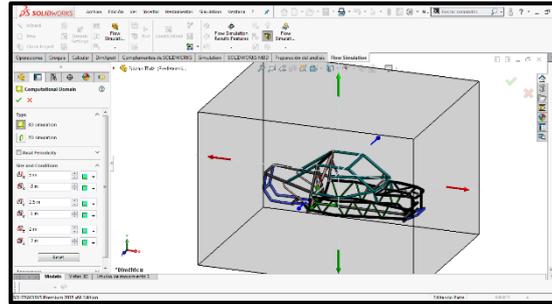
Simulación

El siguiente paso es activar la pestaña denominada Flow Simulation y de ahí la ventana Wizard, abre una pantalla en la cual se ubican todas las propiedades que se mencionaron con anterioridad. Luego se ubican las unidades en las que se quiere trabajar, para después, continuar con la selección del tipo de análisis, el cual, puede ser interno o externo. Posteriormente se selecciona el tipo de fluido para la simulación CFD (aire); una vez activado y seleccionado el fluido, se procede a detallar las características. Finalmente se ubican los datos requeridos como presión, temperatura, velocidad, intensidad de turbulencia, entre otras.

Una vez definidas todas las características y propiedades que se requieren para el análisis, se procede a establecer el dominio computacional, como se detalla en la Figura 6.

Figura 6

Dominio Computacional



Nota. Autores, 2019

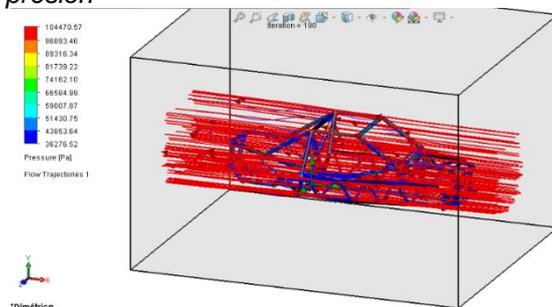
En este paso, se establecen los límites requeridos para finalmente ejecutar el análisis en la opción Run. Una vez efectuado el análisis del software, se procede a fijar la trayectoria del fluido, seguido de la localización, temporalidad y condiciones del lugar donde se ejecutó el proceso investigativo. Es necesario que se declare adecuadamente la población, muestra, recolección de datos, pruebas y equipos de medición, junto al análisis estadístico (proceso y software) y las referencias en caso de que aplique.

Resultados y discusión

De acuerdo a los resultados del análisis del coeficiente aerodinámico expuestos en la figura 7, se evidencia que para diferenciar las magnitudes, el programa asigna una escala de colores, para la presión mínima azul y para la máxima roja, dando los siguientes valores de: $P_{\min}=36276.52 \text{ Pa}$ / $P_{\max}=104470.57 \text{ Pa}$.

Figura 7

Simulación aerodinámica / presión

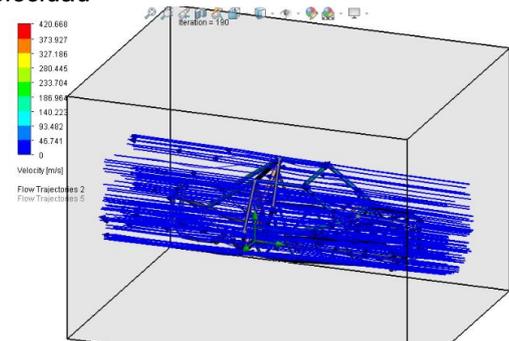


Nota. Autores, 2019

Los resultados de velocidad se observan en la figura 8, al igual que la presión las velocidades se pueden apreciar mediante el código de colores, partiendo de cero como mínima en azul, hasta 420.668 m/seg., en color rojo, dando valores de: $V_{\min}=0 \text{ m/seg.}$ $V_{\max}=420.668 \text{ m/seg}$

Figura 8

Simulación aerodinámica / velocidad

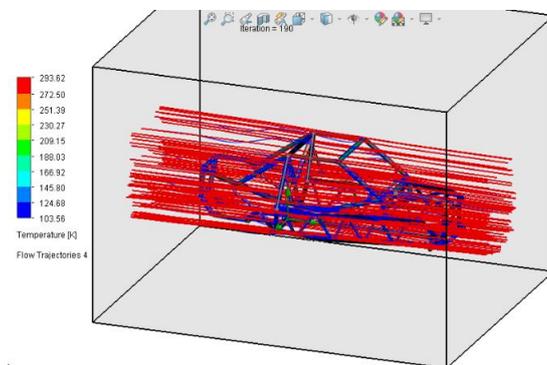


Nota. Los Autores

Análisis: Las temperaturas se dan mediante el código de colores, partiendo de 103.56 °K en azul, hasta 23.62 °K en color rojo.

Figura 9

Simulación aerodinámica / temperaturas



Nota. Autores, 2019

El cálculo de los coeficientes aerodinámicos, se basaron en los resultados de las fuerzas en (x, y) del análisis computacional, donde el coeficiente de arrastre C_x para el prototipo con estructura tubular presentó un 0.588 muy similar a los C_x del Irizar PB (2000) con 0.55, al camión con deflectores con 0,70 y un autobús con 0,49 (Domínguez, 2018; Aguirre (2009). Llegar a caracterizar el C_x del prototipo estudiado y observar el comportamiento del aire con la estructura sin incurrir en costos experimentales como un túnel de viento, es uno de los factores que el análisis CFD aporta al diseño mecánico de prototipos en la industria actual (Romantchik et al, 2019), además, durante el desarrollo de este análisis las ecuaciones presentadas generaron algunos datos que no se tenían en cuenta, por ello, dentro del software se introdujeron los parámetros mínimos mencionados en el apartado de la metodología, y con base a ellos, el programa mediante el uso de la aplicación solver se determinaron las variables desconocidas del sistema de ecuaciones como el desplazamiento, velocidad, temperatura y presión (Jaramillo et al, 2022), para luego, analizarlas y obtener el valor C_x presentado. Por tanto, se puede decir que el prototipo puede alcanzar un máximo de velocidad de viento de 420.668 m/seg y que alrededor

de la estructura se pueda soportar una presión máxima de $P_{\max}=104470.57$ Pa.

Figura 10

Análisis de fuerzas presentes

GG Force (X) 1	430.683 N	Achieved (IT = 160)	24.9111 N	426.243 N
GG Force (Y) 1	362.08 N	Achieved (IT = 139)	6.10272 N	357.413 N
GG Force (Z) 1	56.9311 N	42%	0.915839 N	55.5008 N
GG Force 1	565.536 N	Achieved (IT = 157)	24.72 N	559.025 N
GG Min Dynamic Pressur	0 Pa	Achieved (IT = 48)	0 Pa	0 Pa
GG Min Static Pressure 1	36870.5 Pa	Achieved (IT = 138)	2626.04 Pa	36745.7 Pa
GG Min Total Pressure 1	36870.5 Pa	Achieved (IT = 138)	2626.04 Pa	36745.7 Pa

Nota. Resultados de simulación. Autores 2019

$F_x = 430.683$ N

$$C_x = \frac{F_x}{\frac{1}{2} \rho v^2 A}$$

$$C_x = \frac{430.683 \text{ N}}{\frac{1}{2} * 1.225 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \left(27.77 \frac{\text{m}}{\text{seg}}\right)^2 (1.55 \text{ m}^2)}$$

$$C_x = 0.588$$

$F_y = 362.08$ N

$$C_y = \frac{F_y}{\frac{1}{2} \rho v^2 A}$$

$$C_y = \frac{362.08 \text{ N}}{\frac{1}{2} * 1.225 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \left(27.77 \frac{\text{m}}{\text{seg}}\right)^2 (1.55 \text{ m}^2)}$$

$C_y = 0.49455$

Relación C_x/C_y calculada

$$\frac{C_x}{C_y} = \frac{0.588}{0.49455} = 1.2$$

Conclusiones

A través de la realización de este estudio se llegó a las siguientes conclusiones:

El análisis computacional es una tecnología que se encuentra en crecimiento y en la mayoría de industrias se ha llegado a utilizarlo para todo tipo de desarrollo de prototipos y diseños, aporta con recursos que reducen tiempo y costos que un proyecto de desarrollo normal requeriría, sin embargo se debe tener en cuenta de que el manejo de los software requieren de conocimiento y de la habilidad de interpretar los resultados, esto se puede lograr en base a la comparación de datos obtenidos con los fundamentos teóricos que juegan un papel preponderante en este tipo de trabajos, ya que, la fundamentación teórica respalda con elementos referenciales sobre valores a los que se puede llegar con una estructura tubular y mas considerando que es un prototipo que no posee un valor Cx definido, y que dentro de la teoría como se pudo observar en la tabla 1 los valores referenciales estuvieron muy cercanos a los valores de Cx obtenido durante la simulación.

La resistencia aerodinámica disminuye con la velocidad a la que circula un vehículo, siendo ésta para el análisis de hasta 100 Km/h, sin embargo, al realizar las simulaciones se puede observar que el Cx de la estructura prototipo se comporta como la estructura de un bus, esto se debería a que el prototipo al no contar con superficies amplias, donde, el aire pueda circular sin alteraciones genera este valor elevado, a pesar de ello, dentro de la simulación las velocidades a las que pueden estar sometido los flujos de aire ante el chasis son de hasta $420.668 \text{ m/seg} = 1514 \text{ Km/h}$ y soportar este flujo sin generar alteraciones en su estructura.

Referencias

- Alba, R., y Guaguasi, D. (2018). ANÁLISIS AERODINÁMICO DE UN PROTOTIPO DE AUTO ELÉCTRICO BIPLAZA UTA CIM17. Ambato: Autor - Editor.
- Aguirre, Gómez, F., A., (2009). Análisis aerodinámico del vehículo para la competencia ECO-SHELL. Universidad Politécnica de Valencia.
- Bernal, Torres, C., A., (2010). Metodología de la investigación administración, economía, humanidades y ciencias sociales. PEARSON. 3ra ed. Bogotá, Colombia
- Domínguez, C. (11 de abril de 2018). Análisis aerodinámico de un Fórmula 1 mediante Dinámica de Fluidos Computacionales (CFD). Obtenido de momentogp.com: https://www.momentogp.com/analisis-aerodinamico-de-un-formula-1/?fbclid=IwAR0NHu_77PauBUWg0IClisy_b0Wx5axzLmEYqRQ9xf19OPNVyGRyG5YwY-2Q
- ETSEIB. (2018). Análisis CFD aerodinámico de "Juke Nismo". Barcelona: Autor - Editor.
- Gómez, Martín, Águeda, y García. (2016). Estructuras del Viento. Madrid: Paraninfo. S.A.
- Jaramillo, Suárez, H., E.; Jiménez, Cuero, B., Q.; Ortega, Cabrera, I., O.; Ríos, Chaparro, C., E. y Zambrano, Romero, G., A., (2022) Evaluación computacional del comportamiento de carga de una aeronave liviana, usando software libre. Ciencia y Poder Aéreo. 17(2), 36-51 doi: <https://doi.org/10.18667/cienciaypoderaereo.749>
- Martínez. (2017). Análisis por el método de elementos finitos de los anclajes de cinturones de seguridad en asientos de autobús interprovincial para verificar su resistencia según la norma NTE INEN 2704 en la empresa MIVILTECH SOLUCIONES INDUSTRIALES S. A. Ambato: Autor - Editor.
- Romantchik, Kriuchkova, E.; Santos, Hernández, A., M.; Ríos, Urbán, E. y Terrazas, Ahumada, D., (2019). Análisis del flujo de aire de los extractores de invernadero usando la simulación por CFD. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*. 20(1), 1-14 doi: <https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2019.20n1.012>
- Ruíz, H., & Curicama, Á. (2013). DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN TÚNEL DE VIENTO PARA PRUEBAS AERODINÁMICAS EN VEHÍCULOS PARA LA ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ. RIOBAMBA: AUTOR - EDITOR.
- Sacco, González, & Giuggioloni. (2005). ANÁLISIS DE LA AERODINÁMICA DE UN AUTOMÓVIL DE COMPETICIÓN. Buenos Aires: Larreteguy.
- Uribe. (2008). Diseño de un mecanismo de auto ajuste para spoiler trasero de un auto GT. México D.F.: Autor - Editor.
- Vargas Tamayo, L., F. y Contreras, Bravo, L., E., (2007). Enseñanza de la mecánica de materiales enriquecida con herramientas computacionales. *Ingeniería*, 12(1), 64-71 <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=498850164010>