

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

“Diseño de un alerón trasero para un automóvil”

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Presentado por:

Russell Alejandro Agama Fuentes

Jonathan Jaime Gallegos Silva

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2019

DEDICATORIA

A mis padres, hermanos y amigos que me apoyaron tanto en los buenos como malos momentos, GRACIAS.

AGRADECIMIENTOS

Russell Agama Fuentes

A Dios, mi Salvador, sin Él nada de esto sería posible. A mis padres Wilson y Katherine por su amor, apoyo y esfuerzo; han sido mis guías y la razón de seguir este camino. A mis hermanos Rubén, Harry y en especial Salomón por el apoyo y aliento constante. A SPOUDE por siempre traerme a memoria lo más importante, Jesucristo.

“pero a Dios gracias, que nos da la victoria por medio de nuestro Señor Jesucristo.”

1 Corintios 15:57

Jonathan Gallegos Silva


A Dios primeramente porque sin él nada de esto fuera posible, a mis padres Jaime Gallegos y Elixandra Silva quienes siempre me apoyaron a lograr mis metas, a mis hermanos Kevin y Josué Gallegos quienes me apoyan constantemente, a mis tíos, primos y demás familiares quienes siempre estuvieron pendiente de mí y a mis amigos quienes me ayudaron en mi carrera universitaria.

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, me (nos) corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; (*nombre de los participantes*) y doy (damos) mi (nuestro) consentimiento para que la ESPOI realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”

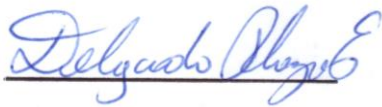


Russell Agama F.



Jonathan Gallegos S.

EVALUADORES



Emerita Delgado Plaza

PROFESOR DE LA MATERIA



Galo Durazno Peralta

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

El parque automotor abarca gran parte del sector comercial a nivel mundial; en ocasiones, la parte industrial se enfoca tan solo en satisfacer al mercado sin ánimos de buscar mejoras en el producto en ciertos aspectos, un claro ejemplo es la parte aerodinámica. La aerodinámica tiene gran importancia en los objetos en movimiento a través del aire ya que permite, entre varias cosas, determinar la resistencia, fuerzas y presiones que tiene este al cruzar el fluido a cierta velocidad. Para los automóviles el estudio de esta puede mejorar factores que influyen directamente en la seguridad del vehículo. Lamentablemente, en muchas ocasiones, el mejoramiento de la carrocería enfoca sus esfuerzos en la parte estética dejando en segundo plano la seguridad. La implementación de accesorios diseñados para mejorar la seguridad del automóvil a través de los principios aerodinámicos es una solución viable y asequible en cuanto a estética y precio se refiere.

Para el diseño del alerón trasero o spoiler se procedió a seleccionar el candidato adecuado, por medio de una matriz de decisión el modelo y material seleccionado para el auto y alerón respectivamente fueron el Honda Accord y fibra de vidrio. Las simulaciones realizadas fueron mediante el software de diseño SolidWorks, estas sirvieron para el diseño del prototipo y posterior comparación y validación con el estudio experimental. El perfil seleccionado fue el Naca 4412 y posterior a ello se realizó el prototipo a una escala de 0.0471 basándonos en las dimensiones que puede tener el túnel de viento. Posterior a ello se realizó la toma de datos experimentales para su respectiva validación con los de la simulación.

Datos de presión fueron obtenidos por medio de simulación a tamaño real y por experimentación a través del prototipo, estos fueron procesados para la comparación de las curvas del coeficiente de presión para la respectiva validación. El alerón favorece al automóvil ya que otorga una carga máxima de aproximadamente 127 N ayudando a la estabilidad y seguridad del vehículo, así mismo el coeficiente de arrastre disminuye de 0,46 a 0.38 valor aceptable considerando el aporte del alerón.

Palabras Clave: Alerón, Presión, seguridad, Coeficiente de arrastre.

ABSTRACT

The automotive fleet covers a large part of the worldwide commercial sector; sometimes, the industrial part approaches only on satisfying the market without the desire to seek improvements in certain aspects of the product, a clear example is in the aerodynamic part. Aerodynamics has great importance in what's respect to moving objects through the air. This allows determine several things like the resistance, forces and pressures that the object has when cross through the fluid at a certain speed. For cars, studying this can improve factors that directly influence in the safety of the vehicle. Unfortunately, in many occasions, the improvement of the bodywork focused its efforts on the aesthetic part leaving security in second place. The implementation of accessories designed to improve car safety through aerodynamic principles is a viable and affordable solution in terms of aesthetics and price.

For the design car spoiler. First it must be select the appropriate candidate, through a decision matrix the model and material selected for the car and spoiler respectively were the Honda Accord and fiberglass. The simulations were made through the SolidWorks design software, these were used for prototype design and subsequent comparison and validation with the experimental study. The airfoil selected was Naca 4412 and after this the prototype was made at a scale of 0.0471 based on the dimensions of the wind tunnel. Subsequently, experimental data were taken for their validation respect to those of the simulation.

The pressure data were obtained by simulation at real size and by experimentation through the prototype, these were processed for the comparison of the pressure coefficient curves for the respective validation. The spoiler favors the car since it grants a maximum load of approximately 127 N helping the stability and safety of the vehicle, in the same way, the drag coefficient decreases from 0.46 to 0.38 acceptable value considering the contribution of the spoiler.

Keywords: *Spoiler, Pressure, security, Coefficient of drag.*

ÍNDICE

RESUMEN.....	I
<i>ABSTRACT</i>	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS	VI
SIMBOLOGÍA	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	X
ÍNDICE DE PLANOS	XI
CAPÍTULO 1	1
1. Introducción	1
1.1 Descripción del problema	1
1.2 Justificación del problema.....	2
1.3 Objetivos.....	2
1.3.1 Objetivo General	2
1.3.2 Objetivos Específicos	2
1.4 Marco teórico	2
1.4.1 Aerodinámica	2
1.4.2 Fuerzas y Cargas Aerodinámica	5
1.4.3 Alerones.....	7
CAPÍTULO 2.....	10
2. Metodología	10
2.1 Requerimientos de Diseño.....	11
2.2 Alternativas de Diseño	11
2.3 Selección de Alternativas.....	12

2.3.1	Matriz de Decisión.....	12
2.3.2	Selección de Automóvil.....	13
2.3.3	Selección de Material.....	14
2.4	Diseño de Forma.....	15
2.4.1	Diseño del alerón.....	16
2.4.2	Perfil NACA 4412.....	16
2.4.3	Perfil NACA 6412.....	17
2.5	Simulación.....	17
2.5.1	Simulación Aerodinámica NACA 4412.....	18
2.5.2	Simulación Aerodinámica NACA 6412.....	21
2.6	Metodología.....	23
2.6.1	Simulación.....	23
2.6.2	Prototipo.....	27
CAPÍTULO 3.....		29
3.	Resultados Y ANÁLISIS.....	29
3.1	Simulación.....	29
3.2	Prototipo.....	30
3.2.1	Selección de material.....	30
3.2.2	Construcción y Adaptación.....	31
3.2.3	Pruebas aerodinámicas.....	34
3.2.4	Carga aerodinámica.....	37
3.2.5	Coeficiente de arrastre.....	39
3.2.6	Coeficiente de sustentación.....	40
3.3	Análisis de costos.....	41
CAPÍTULO 4.....		43
4.	Conclusiones Y Recomendaciones.....	43

4.1	Conclusiones	43
4.2	Recomendaciones	44

BIBLIOGRAFÍA

APÉNDICES

ABREVIATURAS

CAD	Diseño Asistido por Computador
MPa	Mega Pascales
PLA	Ácido Poli-Láctico
NACA	Consejero Nacional para la Aeronáutica
ρ	Densidad del aire
V	Velocidad
P	Presión
Fd	Resistencia aerodinámica
Cl	Coeficiente de sustentación
Fy	Carga aerodinámica
Cd	Coeficiente de Resistencia
Fx	Resistencia aerodinámica
Cd	Coeficiente de resistencia
kg/m ³	Kilogramo por metro cubico
m ²	Metros cuadrados
m/s	Metros sobre segundos

SIMBOLOGÍA

v	Velocidad
P	Presión
F	Fuerza
F _D	Fuerza arrastre
F _L	Fuerza sustentación
ρ	Densidad
A	Área
c	Cuerda
Ba	Borde de ataque
d	Distancia de eje a eje
e	Envergadura
C _p	Coefficiente de presión
C _D	Coefficiente de arrastre

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 Capa Límite.	3
Figura 1-2 Flujo laminar.	3
Figura 1-3 Flujo turbulento.	4
Figura 1-4 Coeficiente C_x para diferentes tipos de vehículos.	6
Figura 1-5 Terminología de un Alerón.	8
Figura 1-6 Un alerón de dos elementos, con una configuración de flap externo.	9
Figura 2-1 Flujograma de metodología de diseño del proyecto.	10
Figura 2-2 Perfil NACA 4412.	16
Figura 2-3 Perfil NACA 6412.	16
Figura 2-4 Perfil NACA 4412 Invertido.	18
Figura 2-5 Perfil NACA 6412 Invertido.	18
Figura 2-6 NACA 4412 en presencia del fluido.	19
Figura 2-7 Presión en el Perfil.	19
Figura 2-8 Velocidad en el Perfil.	19
Figura 2-9 Temperatura en el Perfil.	20
Figura 2-10 NACA 6412 en presencia del fluido.	21
Figura 2-11 Presión en el Perfil.	22
Figura 2-12 Velocidad en el Perfil.	22
Figura 2-13 Temperatura en el Perfil.	22
Figura 2-14 Configuración del sistema de unidades.	24
Figura 2-15 Configuración del sistema de unidades.	24
Figura 2-16 Configuración fluido.	25
Figura 2-17 Configuración de las condiciones iniciales y ambientales.	25
Figura 2-18 Configuración del dominio computacional.	26
Figura 2-19 Configuración de mallado (Mesh).	26
Figura 2-20 Resultados de Simulación.	27
Figura 2-21. Adecuación del prototipo sin alerón para pruebas experimentales.	28
Figura 2-22 Adecuación del prototipo con alerón para pruebas experimentales.	28

Figura 3-1 Impresión 3D del prototipo del automóvil.....	31
Figura 3-2 Recubrimiento de arcilla	32
Figura 3-3 Recubrimiento de pintura.....	32
Figura 3-4 Proceso de manufactura del alerón.....	33
Figura 3-5 Contorno del alerón	33
Figura 3-6 Contorno del prototipo final.....	34
Figura 3-7 Puntos de medición en el vehículo	35
Figura 3-8 Simulación del automóvil con alerón escala real	35
Figura 3-9 Grafica de Coeficiente de presión vs Puntos de medición.....	36
Figura 3-10 Grafica de Coeficiente de presión vs Puntos de medición.....	37
Figura 3-11 Grafica Fuerza vs Velocidad.....	38
Figura 3-12 Grafica de Coeficiente de arrastre vs Velocidad.....	39
Figura 3-13 Grafica Coeficiente de sustentación vs Velocidad.....	41

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1 Matriz de decisión del automóvil.....	13
Tabla 2-2 Matriz de decisión del material	14
Tabla 2-3 Condiciones para Simulación	18
Tabla 3-1 Datos de Presión y Carga del perfil Naca 4412	29
Tabla 3-2 Datos de Presión y Carga del perfil Naca 6412	29
Tabla 3-3 Relación velocidad Coeficiente de presión tamaño	36
Tabla 3-4 Relación velocidad Coeficiente de presión tamaño	37
Tabla 3-5 Comparación de la carga en el sistema con y sin alerón.....	38
Tabla 3-6 Comparación del coeficiente de arrastre con y sin alerón	39
Tabla 3-7 Comparación del coeficiente de sustentación con y sin alerón.....	40
Tabla 3-8 Factores que influyen en la fabricación del alerón.....	42

ÍNDICE DE PLANOS

PLANO 1 Perfil NACA 1114 Alerón trasero

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Descripción del problema

El desarrollo industrial asociado al sector de carrocerías en el país se encuentra en crecimiento continuo, principalmente en el campo del ensamblaje, sin embargo, no se cuenta con elementos mecánicos adecuados a las condiciones y requerimientos necesarios para una comercialización global. El estudio del mejoramiento aerodinámico en nuestro país se ha centrado en mejorar la estética del automóvil por medio de alerones o spoiler simples sin un estudio previo sobre los efectos del flujo de aire externo sobre el vehículo y los beneficios o mejoras que este pueda obtener.

“El flujo de aire, actuando sobre las superficies exteriores del vehículo, produce zonas de presión o depresión y rozamiento viscoso con las paredes; todo ello origina esfuerzos que influyen, no solo en el avance del vehículo, ofreciendo una resistencia de naturaleza aerodinámica, sino que afectan a las cargas sobre las ruedas y, en ocasiones a la estabilidad del automóvil” (Aparicio. F., 2001).

Cada objeto tiene un arrastre de forma, este existe debido a la forma del mismo. El aire es forzado alrededor del objeto mientras se mueve opuesto a su dirección. El tamaño y la forma de un objeto determinan la magnitud del arrastre de forma. Exhaustivos ensayos han demostrado que el menor arrastre de forma se obtiene cuando el cuerpo tiene una forma de perfil alar, y el más alto es cuando el cuerpo es totalmente romo (Obidi, 2014).

Desde el principio del siglo XX, tanto el costo de combustible como la velocidad de los vehículos han aumentado gradualmente y la importancia de la reducción de carga aerodinámica es obvia. Una cuidadosa revisión a los datos revelan que la carga aerodinámica aumenta con el cuadrado de la velocidad mientras que con los otros componentes varía marginalmente (Joseph Katz, 2016)

1.2 Justificación del problema

En relación a la problemática planteada, es clara la necesidad de establecer líneas de investigación y desarrollo en el diseño, experimentación y construcción de elementos mecánicos a nivel local, por tal razón la propuesta de proyecto trata de contribuir a la generación de información referencial, técnica y confiable para la construcción de alerones en la industria automotriz, en el contexto de seguridad vial.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Diseñar un alerón trasero para automóviles que optimice la carga aerodinámica manteniendo el arrastre mínimo posible, utilizando herramientas de modelado 3D, mecánica de fluidos computacional y pruebas experimentales

1.3.2 Objetivos Específicos

- Diseñar un alerón trasero, sus planos de detalle y modelarlo en 3D para su análisis mediante CFD.
- Construcción de modelo a escala del alerón trasero para pruebas experimentales en túnel de viento.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Aerodinámica

A partir de la recopilación bibliográfica del texto *Mecánica de Fluidos. Fundamentos y Aplicaciones* de Y. Cengel se establece que “La aerodinámica estudia el flujo de gases (en especial del aire) sobre cuerpos como aviones, cohetes y automóviles a altas o bajas velocidades” (Cengel, 2006).

1.4.1.1 Capa Límite

El término capa límite fue un nombre el cual se le otorgó a la variación de velocidad del fluido que tiene respecto al sólido en movimiento que alcanza el 99% de dicha velocidad. Es decir, la corriente es perturbada

al tener la presencia de un sólido con el cual se mantiene contacto (García Martín, 2010).

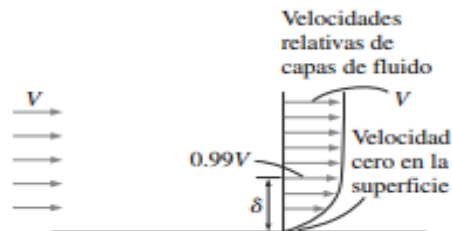


Figura 1-1 Capa Límite.

Fuente: Cengel, 2006

1.4.1.2 Flujo laminar y turbulento

Se denomina flujo laminar al fluido que sigue un patrón suave con movimiento ordenado el cual a simple vista puede ser apreciado, ya que se nota la diferencia de como las láminas se encuentran una a lado de otras de manera paralela sin montarse entre ellas. Este fenómeno sucede cuando el fluido alcanza velocidades muy bajas o cuando el fluido es demasiado viscoso. (Mott, 2006)

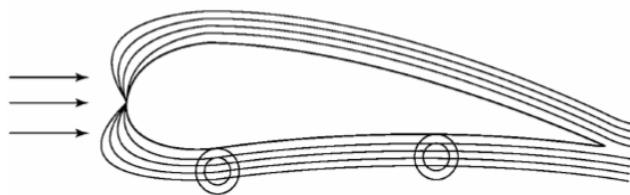


Figura 1-2 Flujo laminar.

Fuente: Obidi, 2014.

Se denomina flujo turbulento al fluido que no sigue un patrón suave ni posee un movimiento ordenado. Se presentan perturbaciones y las láminas paralelas del fluido se distorsionan alrededor del perfil. Este fenómeno sucede cuando el fluido alcanza velocidades muy altas. (Mott, 2006)

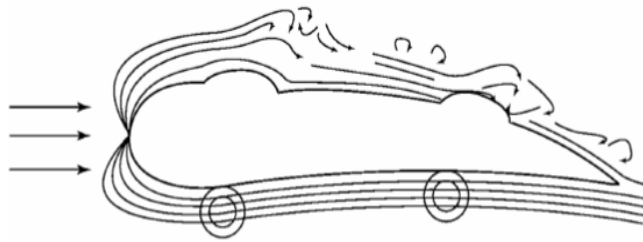


Figura 1-3 Flujo turbulento.

Fuente: Obidi, 2014.

Existe una zona en la cual el fluido se encuentra en flujo laminar y turbulento es decir se mantiene fluctuando entre ellas. A este fenómeno se le denomina flujo de transición y ocurre tiempo antes de que el fluido se vuelva totalmente turbulento. En la práctica del día a día el flujo turbulento es el que más se presenta por lo que es muy normal que nos encontremos con este fenómeno que con el flujo laminar. (Cengel, 2006).

1.4.1.3 Numero de Reynolds

En el año 1880, el físico Osborne Reynolds descubrió que el régimen de flujo depende principalmente de la razón de fuerzas inerciales a fuerzas viscosas en el fluido. El número de Reynolds se expresa como la razón entre la multiplicación de la velocidad de flujo promedio y la longitud característica de la geometría con la viscosidad del fluido. (Cengel, 2006).

La forma geométrica más común es la de una superficie plana por ejemplo cuando el fluido fluye sobre una placa plana para llegar a ser turbulento debe tener una trayectoria en la cual exista la menor fricción posible y esto se logra cuando tenemos una superficie lisa. La transición para que el fluido pase de laminar a turbulento se logra con un $Re = 1 \times 10^5$ aproximadamente y para alcanzar un flujo totalmente turbulento el número de Reynolds debe estar en un rango de 10^5 a 3×10^6 (Cengel, 2006).

A partir de la recopilación bibliográfica del texto *Mecánica de Fluidos. Fundamentos y Aplicaciones* de Y. Cengel se establece que “Se considera que la longitud característica para un cilindro circular o esfera es el diámetro externo D . El número de Reynolds crítico para flujo a través de un cilindro circular o esfera es aproximadamente $Re_{cr} = 2 \times 10^5$. Esto es: la capa límite permanece laminar para casi $Re < 2 \times 10^5$ y se vuelve turbulenta para $Re > 2 \times 10^5$ ” (Cengel, 2006).

1.4.2 Fuerzas y Cargas Aerodinámica

La fuerza aerodinámica tiene dos componentes las cuales son resistencia o arrastre y carga o sustentación, dependiendo del sentido de la fuerza en ambos casos. La combinación vectorial de estas componentes da la fuerza aerodinámica total resultante, siendo este el principio fundamental de todas las presiones que actúan en un cuerpo. (Castañé, 1996).

1.4.2.1 Resistencia o Arrastre

En general, el arrastre es la fuerza que trabaja contraria a la dirección de movimiento deseada de la entidad que experimenta el arrastre (Obidi, 2014).

A partir de la recopilación bibliográfica del texto *Mecánica de Fluidos. Fundamentos y Aplicaciones* de Y. Cengel se establece que “La fuerza que un fluido que fluye ejerce sobre un cuerpo en la dirección del flujo se llama arrastre” (Cengel, 2006).

Fuerza de Arrastre:

$$F_{res} = C_x \cdot S \cdot \frac{1}{2} \rho v^2 \quad (1.1)$$

Donde:

C_x : Coeficiente de arrastre

S : Área de la sección transversal a la dirección del movimiento

ρ : Densidad del fluido

v : Área de la sección transversal a la dirección del movimiento

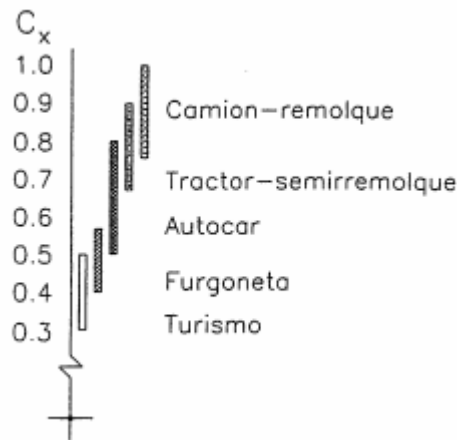


Figura 1-4 Coeficiente C_x para diferentes tipos de vehículos.

Fuente: Aparicio F, 2001.

1.4.2.2 Arrastre por Fricción y Presión

La fuerza de arrastre está compuesta por dos partes, una de arrastre y otra de presión. La parte del arrastre relacionada al esfuerzo de corte se conoce como arrastre de fricción. Por otro lado, la parte relacionada a la presión se conoce como arrastre debido a la presión, este también es conocido como arrastre de forma debido a la enorme dependencia que tiene con la forma del cuerpo. Estos coeficientes, de fricción y arrastre se definen como (Cengel, 2006):

$$C_{D, \text{fricción}} = \frac{F_{D, \text{fricción}}}{\frac{1}{2}\rho V^2 A} \quad \text{y} \quad C_{D, \text{presión}} = \frac{F_{D, \text{presión}}}{\frac{1}{2}\rho V^2 A} \quad (1.2)$$

Donde:

F_D : Coeficiente de arrastre

F_D : Coeficiente de presión

A : Área de la sección transversal a la dirección del movimiento

ρ : Densidad del fluido

v : Área de la sección transversal a la dirección del movimiento

1.4.2.3 Carga o Sustentación

De las componentes que dan forma a la fuerza total ejercido sobre el perfil, la de sustentación es la vertical siendo esta perpendicular a la dirección del viento. La carga es la responsable de mantener el vehículo en contacto con el suelo a altas velocidades, mientras que la sustentación es lo opuesto. Esta se ve afectada por varios factores: (Castañé, 1996)

- La velocidad del vehículo.
- El ángulo de ataque, superficie y la forma del perfil alar.
- La densidad del aire.

Fuerza de Sustentación:

$$F_{sust} = C_L \cdot S \cdot \frac{1}{2} \rho v^2 \quad (1.3)$$

Donde:

C_L: Coeficiente de arrastre

S: Área de la sección transversal a la dirección del movimiento

ρ: Densidad del fluido

v: Área de la sección transversal a la dirección del movimiento

1.4.3 Alerones

El alerón, también conocido como ala, es un cuerpo que crea carga o sustentación por medio de aire que se mueve a través de él sin causar excesiva resistencia. Un alerón es la sección trasversal que define la forma de un ala tridimensional y, por causa de las complejas formas de los alerones existentes, es razonable asumir que un alerón puede componerse de varias secciones (McBeath, 2001).

La parte delantera de un alerón se conoce como borde de ataque y por lo general posee una forma radial poco refinada. La esquina opuesta al borde de ataque se conoce como borde de fuga. La línea que une los

extremos se conoce como cuerda, especificada por “c”. El grosor máximo se especifica por la letra “t”. Los alerones pueden tener curvatura dependiendo de la simetría o asimetría de la sección transversal, si es asimétrica significa que la parte inferior es más curvada que la superior. El ángulo de ataque de un ala o alerón es el ángulo formado entre el flujo de aire y la línea de cuerda del ala o alerón (McBeath, 2001).

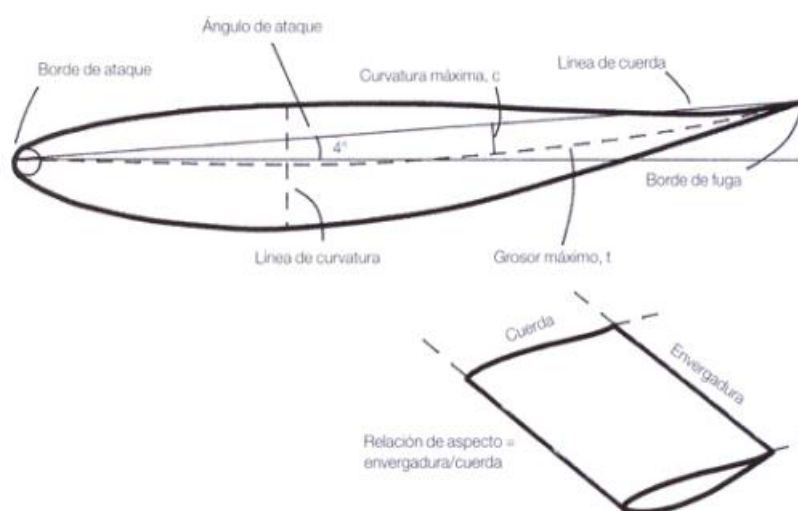


Figura 1-5 Terminología de un Alerón.

Fuente: McBeath, 2001.

1.4.3.1 Alerones de un elemento

Los alerones de un elemento son los más utilizados. Estos varían su funcionalidad dependiendo de la posición en que se coloque. Un ángulo de ataque bajo generará poca carga aerodinámica y poca resistencia y uno alto, de hasta máximo 14-16° relativo al flujo de aire, conseguirá una mayor carga aerodinámica (McBeath, 2001).

1.4.3.2 Alerones de dos elementos

Cuando la necesidad de mayor carga aerodinámica esta presenta es razonable utilizar este tipo de alerones además que son capaces de tolerar la resistencia adicional (McBeath, 2001).

El diseño de varios elementos más sencillo es el alerón de dos elementos donde viene acompañado con un flap. Este puede ocasionar mayor carga aerodinámica, aumentara la curvatura efectiva y la carga de ángulo de ataque.

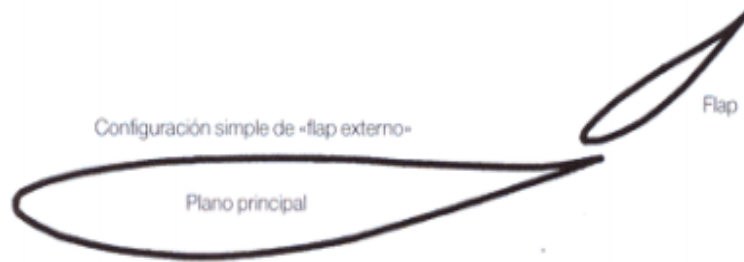


Figura 1-6 Un alerón de dos elementos, con una configuración de flap externo.

Fuente: McBeath, 2001.

1.4.3.3 Alerones de varios elementos

Se puede reducir aún más los valores de coeficiente de sustentación si se añaden más flaps a un alerón. Los valores de estos flaps de varios elementos son más pequeños individualmente que en el caso de un alerón de dos elementos. La adición de más flaps tiene como único fin la mejora de las características de reducción de cargas principalmente de sustentación (McBeath, 2001).

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

Para poder cumplir de manera adecuada los objetivos de este proyecto se elaboró un proceso de diseño seccionado en varias etapas detallado en el flujograma de la Figura 2.1. La primera etapa consiste en la obtención y selección de las alternativas de diseño considerando el tipo de automóvil y alerón. Esto se realizó por medio de varias matrices de decisión, validándose así la mejor solución.

La segunda etapa consiste en la realización del diseño de forma del prototipo por medio de dibujos a mano alzada, considerando del diseño seleccionado las mejores alternativas de innovaciones. El siguiente paso consiste en diseñar el alerón de manera detallada y las respectivas consideraciones para la unión con el automóvil. La tercera etapa se centra en la simulación del alerón por medio de software especializado en diseño y simulación. En la cuarta y última etapa se realizó la construcción del modelo y la simulación en el túnel de viento con su respectivo análisis y comparación de resultados.

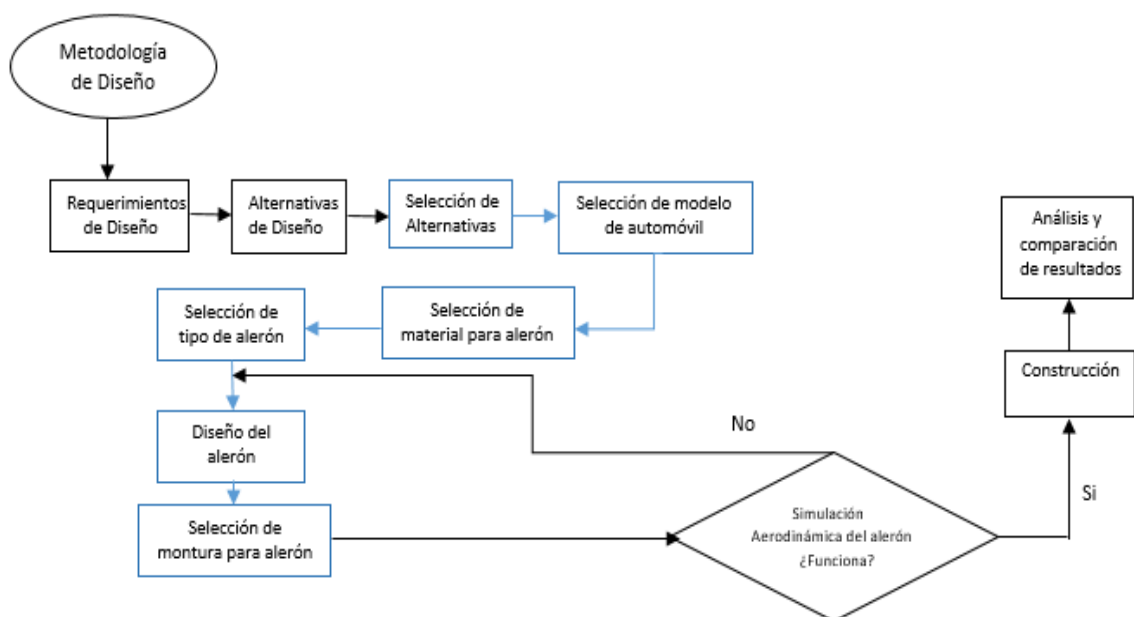


Figura 2-1 Flujograma de metodología de diseño del proyecto.

Fuente: Autores

2.1 Requerimientos de Diseño

El diseño del alerón, aunque pueda ser replicable en varios tipos de vehículos con ligeras modificaciones, se establece como requerimiento de diseño, que este debe ser para un modelo de automóvil en particular. Para la selección del modelo del vehículo se deben considerar como premisa hegemónica dos factores claves que son un área de mercado específica, es decir un país o región en concreto, y el auto más vendido en dicho mercado.

El alerón se relaciona directamente con la seguridad del usuario, debido a que mejora la estabilidad del automóvil. En nuestro país, Ecuador, debido al diseño de las redes viales y leyes de tránsito, este accesorio es considerado más bien de manera estética y no como un elemento que tenga relevancia en la estabilidad del automóvil. Debido a esto el mercado local se establece como un objetivo pobre y se considera mercados internacionales como Estados Unidos que poseen factores como mayor población, economía estable y prospera, límites de velocidades altos, infraestructura vial adecuada, etc.

2.2 Alternativas de Diseño

Los Estados Unidos es una república federal por lo que sus leyes de límites de velocidad y penalizaciones pueden variar independientemente en cada estado. El rango de límites de velocidad en los Estados Unidos va desde las 60 a 85 mph entrando perfectamente en la región de funcionamiento del alerón trasero.

Para la selección del automóvil se ha considerado los 4 autos más vendidos durante los últimos años, teniendo como candidatos los siguientes (Gary Gastelu | Fox News, 2019):

- Honda Civic
- Toyota Corolla
- Honda Accord

- Nissan Altima

Otro de las decisiones a tomar es el material de recubrimiento para el alerón, pues en el mercado existen varios los cuales tienen sus ventajas y desventajas por lo que hemos considerado los siguientes:

- Fibra de Carbono
- Fibra de Vidrio
- Polímero Fluorocarbono

El alerón o spoiler trasero posee varias presentaciones desde los que son fijos o estáticos hasta los móviles o dinámicos. En esta categoría se encuentran:

- Alerones de un elemento (Estáticos)
- Alerones de dos elementos (Dinámicos)
- Alerones de varios elementos (Dinámicos)

2.3 Selección de Alternativas

2.3.1 Matriz de Decisión

Para poder elegir la mejor opción se procede a realizar un cuadro el cual describe las observaciones más relevantes, logrando que cada una de las alternativas defina numéricamente cuán importante es en comparación a las otras al ser evaluados bajo los mismos criterios.

Las ponderaciones a considerar para nuestras decisiones están definidas del 1 al 5, las cuales se encuentran evaluadas de la siguiente manera:

- 1 = Baja Conformidad
- 5 = Alta Conformidad

Para la correcta ponderación y selección de criterio, se basó en información publicada por fuentes oficiales como BBC, ABC (europeo) y

Mercawise. Datos en los cuales la mayoría de la población encuestada destaca la preferencia de carros por su seguridad y costos.

A continuación, definiremos cada uno de los criterios a utilizar en nuestra matriz de decisión:

- **Costos:** Significa que abarca el costo del auto, el costo de los repuestos y reparación en general.
- **Prestaciones:** Información la cual es útil para el usuario con el fin de tener una noción de las características del auto tales como potencia, velocidades, capacidades, etc.
- **Practicidad:** Encierra conceptos tales como la ergonomía y versatilidad del auto, abarcando también la parte estética que muchas veces es un factor que importante.
- **Seguridad:** El criterio más específico y el más importante, el cual define la garantía de proteger al usuario ante cualquier inconveniente imprevisto que se presente ya sea un accidente o la existencia de alguna falla que produzca caos.

Las debidas ponderaciones fueron analizadas por el tutor y autores del proyecto, llegando así a seleccionar el aporte numérico que otorgará cada uno de los criterios.

2.3.2 Selección de Automóvil

Para seleccionar la mejor alternativa respecto al automóvil, se muestra en la tabla 2.1 los resultados que se lograron obtener.

Tabla 2-1 Matriz de decisión del automóvil

Fuente: Autores

	Costos	Prestaciones	Practicidad	Seguridad	Total
	0,25	0,2	0,25	0,3	
Honda Civic	5	4	4	5	4,55
Toyota Corolla	4	4	3	4	3,75
Honda Accord	5	4	5	5	4,8
Nissan Altima	4	4	3	4	3,75

La segunda matriz de decisión está basada en los materiales que se encuentran en nuestro país y que son aptos para la construcción del alerón. Los criterios que destacan costos, seguridad y características importantes que influyen al momento de escoger la mejor alternativa.

A continuación, la definición de cada criterio para poder seleccionar el material de manera correcta:

- **Costo:** Precio en general para adquirir el material.
- **Dureza:** Cuan duro puede llegar a ser el material, destacando también las adaptaciones que tiene hacia la temperatura.
- **Estético:** Imagen que el material muestra al cumplir con los requerimientos del usuario.
- **Rigidez:** Habilidad del material al soportar una carga determinada e impacto alguno para poder absorber la energía.
- **Seguridad:** Criterio que garantiza al usuario el cumplimiento de sus especificaciones.

Las ponderaciones fueron analizadas por el tutor y autores del proyecto, estableciendo así el aporte numérico de cada criterio.

2.3.3 Selección de Material

Para seleccionar la mejor alternativa respecto al material, se muestra en la tabla 2.2 los resultados que se lograron obtener.

Tabla 2-2 Matriz de decisión del material

Fuente: Autores

	Costo	Dureza	Estético	Resistencia	Seguridad	Total
	0,20	0,2	0,15	0,2	0,25	
Fibra de Carbono	3	5	4	5	5	4,45
Fibra de Vidrio	5	5	5	4	5	4,8
Polímero Fluorocarbono	3	4	4	3	4	3,6

Según las opciones planteadas, se logró seleccionar, como mejor alternativa, al auto Honda Accord y el material Fibra de Vidrio, adicional a esto se seleccionó el alerón de un solo elemento ya que dependiendo del ángulo de ataque correcto se pueden llegar a tener grandes beneficios comparables a los alerones de varios elementos; además de la facilidad de construcción y su amplio y extendido uso en el mercado.

2.4 Diseño de Forma

Para la forma del alerón se conoce que los perfiles eficientes que se utilizan para que cumplan el requerimiento esperado son los perfiles NACA (National Advisory Committee for Aeronautics).

Del libro de Aerodinámica de Competición (Simon McBeath, 2001) se tiene ciertos parámetros al momento de seleccionar el perfil deseado, tomando en cuenta que puede haber más de una opción. Por lo que las recomendaciones son las siguientes:

- Ángulo de ataque bajo con un límite máximo de entre $14 - 16^\circ$ para poder obtener poca resistencia y carga aerodinámica.
- Alerón con poco grosor recomendado hasta un máximo de $0.12c$.
- La curvatura del alerón debe ser pequeña para obtener poca carga aerodinámica, se recomienda de entre $0.3c - 0.6c$.
- El radio del borde de ataque debe ser de entre un rango de $1 - 3\%$ de la cuerda.

Para el proyecto se puede observar que los perfiles NACA 4412 y NACA 6412 cumplen con los requerimientos mencionados, ya que poseen buenas características aerodinámicas siendo ideales para el respectivo análisis (Abbott, 1959).

Las formas de los perfiles son similares, los cambios son minúsculos como se puede apreciar a continuación los dos perfiles escogidos:

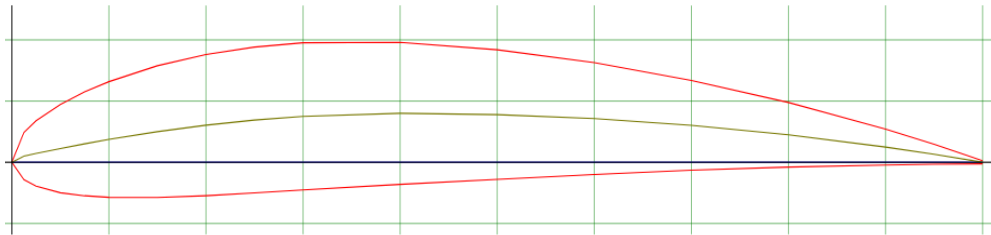


Figura 2-2 Perfil NACA 4412

Fuente: Autores

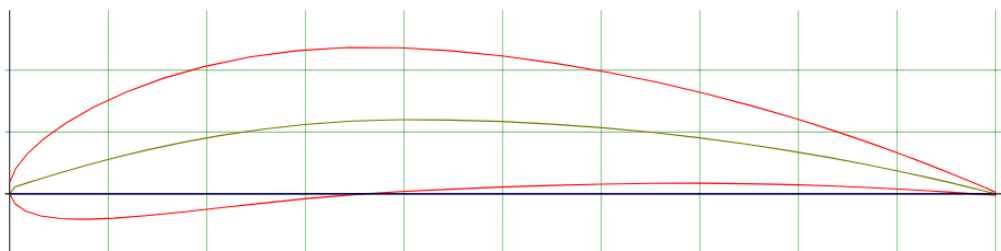


Figura 2-3 Perfil NACA 6412

Fuente: Autores

2.4.1 Diseño del alerón

Para el cálculo de la cuerda se estima un valor de del 5% de la longitud total del auto, por lo que se tiene que:

$$\begin{aligned}
 c &= l \times 5\% & (2.1) \\
 c &= (4665 \text{ mm}) \times 0.05 \\
 c &= 233 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Donde:

c = cuerda

l = longitud del auto

2.4.2 Perfil NACA 4412

Espesor del perfil

$$\begin{aligned}
 e &= 0,12 \times c & (2.2) \\
 e &= 0,12 \times 233 = 27.96 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Borde de ataque:

$$Ba = 0,04 \times c \quad (2.3)$$
$$Ba = 0,04 \times 233 = 9.32 \text{ mm}$$

Ubicación de la cuerda media:

$$Cm = 0,4 \times c \quad (2.4)$$
$$Cm = 0,4 \times 233 = 93.2 \text{ mm}$$

2.4.3 Perfil NACA 6412

Espesor del perfil:

$$e = 0,12 \times c$$
$$e = 0,12 \times 233 = 27.96 \text{ mm}$$

Borde de ataque:

$$Ba = 0,06 \times c$$
$$Ba = 0,06 \times 233 = 13.98 \text{ mm}$$

Ubicación de la cuerda media:

$$Cm = 0,4 \times c$$
$$Cm = 0,4 \times 233 = 93.2 \text{ mm}$$

2.5 Simulación

Para poder obtener datos con el fin de analizar el comportamiento del aire alrededor del vehículo y las fuerzas que intervienen en este, se debe realizar una simulación con el fin de determinar cuál de los modelos propuestos es el más óptimo. Con la ayuda del Software *SolidWorks* se puede simular el comportamiento del fluido al contacto con los perfiles NACA. Se modeló cada perfil con la ayuda de *Airfoil Tools* y *Excel* para poder obtener las coordenadas exactas al momento de realizar cada alerón. A continuación, la vista lateral del modelado de cada perfil:

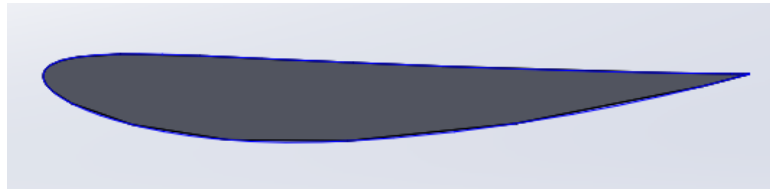


Figura 2-4 Perfil NACA 4412 Invertido

Fuente: Autores



Figura 2-5 Perfil NACA 6412 Invertido

Fuente: Autores

Para el proceso de simulación se procede a establecer los parámetros de trabajo de cada perfil, tomando en cuenta que para iniciar el mapeo de resultados se decidió trabajar con condiciones climáticas y de presión medias de Estados Unidos establecidas por el Servicio Nacional Meteorológico (NWS) de dicho país (National Weather Service, 2019).

Tabla 2-3 Condiciones para Simulación

Fuente: Autores

Condiciones de Trabajo	
Velocidad máxima (m/s)	38
Presión Atmosférica (Pa)	101325
Temperatura (K)	297
Fluido	Aire

Cabe indicar, que tanto las leyes de tránsito ecuatoriana como su infraestructura vial no permiten que los autos lleguen a estas velocidades por eso se decidió elegir como mercado potencial a Estados Unidos.

2.5.1 Simulación Aerodinámica NACA 4412

Se procedió a realizar el análisis del perfil NACA 4412 realizando un total de 118 iteraciones para obtener resultados de Presión, Temperatura y Velocidad.

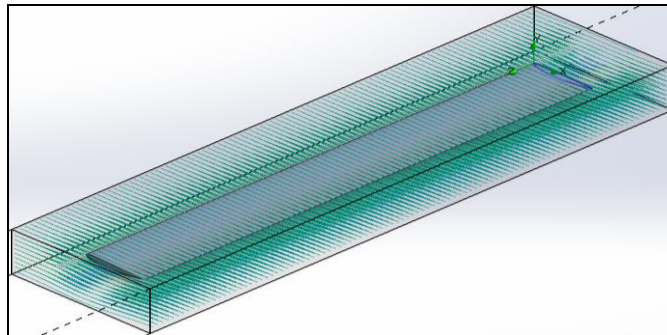


Figura 2-6 NACA 4412 en presencia del fluido

Fuente: Autores

Se puede observar en la figura 2.7 que el aire en contacto con el perfil a diferentes valores de presión son las siguientes; 102679 Pa como presión máxima y 100669 Pa como mínima. También se puede observar que en el borde de ataque se presenta un color amarillo concluyendo que la zona con mayor presión presenta un valor aproximado de 102232 Pa.

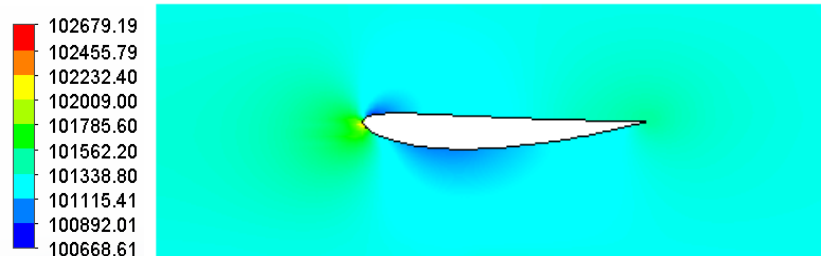


Figura 2-7 Presión en el Perfil

Fuente: Autores

En figura 2.8 se presentan las velocidades alcanzadas por el aire en el contorno del perfil llegando a un valor máximo de 45,21 m/s en la zona contigua al borde de ataque y mínima de 5,01 m/s.

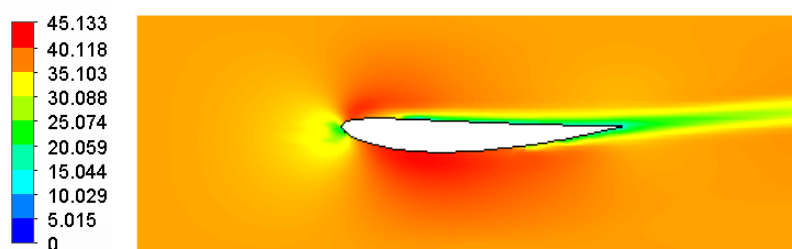


Figura 2-8 Velocidad en el Perfil

Fuente: Autores

En figura 2.9 se presentan las de temperaturas alcanzadas por el aire en el contorno del perfil llegando a un valor máximo de 293,9 K en el borde de ataque y mínima de 292,2K en la región próxima a este.

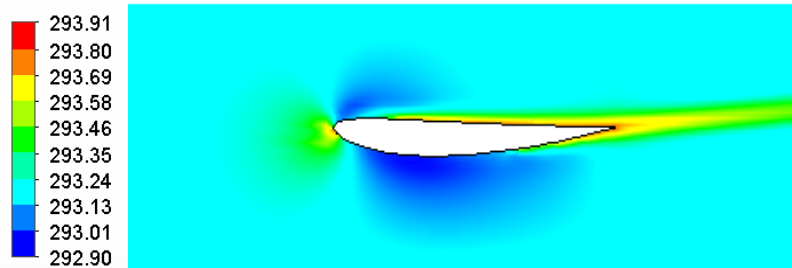


Figura 2-9 Temperatura en el Perfil

Fuente: Autores

Tomando en consideración todos los datos obtenidos de textos y utilizando cifras obtenidas de la simulación se presentan los valores aerodinámicos del perfil a continuación:

$$v = 44.7 \frac{m}{s}$$

$$A = \text{cuerda} \times \text{envergadura} \tag{2.5}$$

Resistencia Aerodinámica

$$C_d = \frac{F}{\frac{1}{2} * A * \rho * v^2} \tag{2.6}$$

$$C_d = \frac{87.25 \text{ N}}{\frac{1}{2} (1.782 * 0.233) \text{ m}^2 (1.181) \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * (44.7)^2 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}}$$

$$C_d = 0.16$$

Carga Aerodinámica

$$C_l = \frac{F}{\frac{1}{2} * A * \rho * v^2} \quad (2.7)$$

$$C_l = \frac{633.85 \text{ N}}{\frac{1}{2} (1.782 * 0.233) \text{ m}^2 (1.181) \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * (44.7)^2 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}}$$

$$C_l = 1.2$$

2.5.2 Simulación Aerodinámica NACA 6412

De igual manera se realizó el análisis del perfil NACA 6412, realizando 154 iteraciones se lograron obtener resultados de Presión, Temperatura y Velocidad.

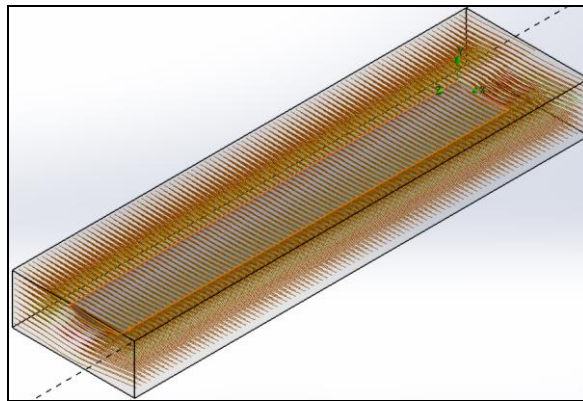


Figura 2-10 NACA 6412 en presencia del fluido

Fuente: Autores

Se tiene como resultado la variación de presión del aire en el contorno del alerón como muestra la figura 2.11 con un valor de 102562 Pa como presión máxima y 100560 Pa como mínima. También se puede observar que en la región contigua al borde de ataque se presenta un color amarillo concluyendo que la zona con mayor presión presenta un valor aproximado de 102207 Pa.

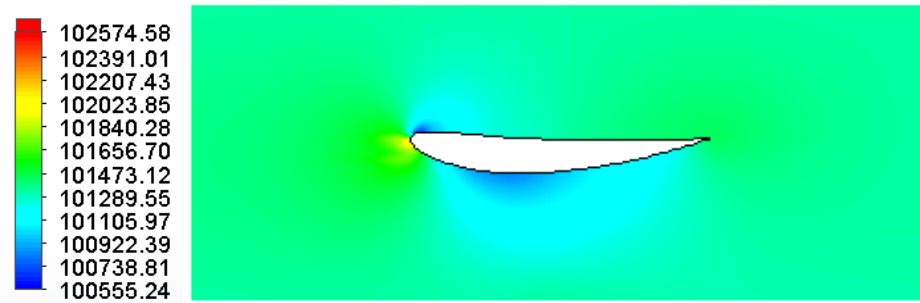


Figura 2-11 Presión en el Perfil

Fuente: Autores

En figura 2.12 se presentan los resultados de velocidad alcanzada por el aire en el contorno del perfil llegando a un valor máximo de 51,64 m/s en la zona contigua al borde de ataque y mínima de 5,27 m/s en la zona central superior más pegada al alerón.

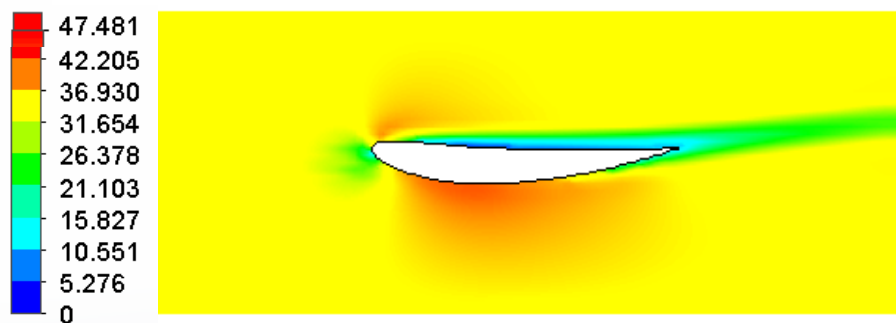


Figura 2-12 Velocidad en el Perfil

Fuente: Autores

En figura 2.13 se presentan los resultados de temperatura alcanzada por el aire en el contorno del perfil llegando a un valor máximo de 293,9 K en el borde de ataque y mínima de 292,2K en la región adyacente a este.

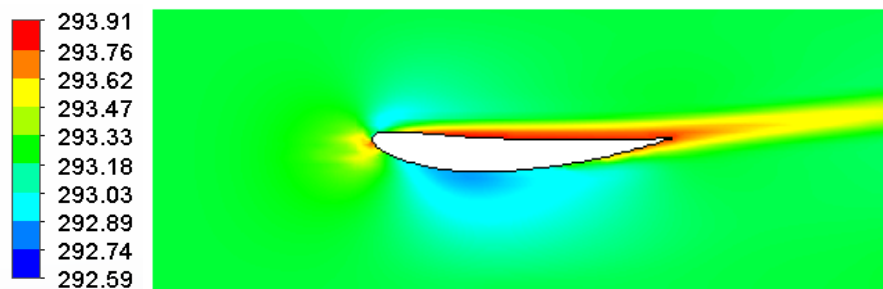


Figura 2-13 Temperatura en el Perfil

Fuente: Autores

De la misma manera, tomando en consideración todos los datos obtenidos de textos y utilizando cifras obtenidas de la simulación se presentan los valores aerodinámicos del perfil a continuación:

$$v = 44.7 \frac{m}{s}$$

$$A = \text{cuerda} \times \text{envergadura}$$

Resistencia Aerodinámica

$$C_d = \frac{F}{\frac{1}{2} * A * \rho * v^2}$$

$$C_d = \frac{122.47}{\frac{1}{2} (1.782 * 0.233) m^2 (1.181) \frac{kg}{m^3} (44.7)^2 \frac{m^2}{s^2}}$$

$$C_d = 0.25$$

Cargar Aerodinámica

$$C_l = \frac{F}{\frac{1}{2} * A * \rho * v^2}$$

$$C_l = \frac{548.67 N}{\frac{1}{2} (1.782 * 0.233) m^2 (1.181) \frac{kg}{m^3} (44.7)^2 \frac{m^2}{s^2}}$$

$$C_l = 1.12$$

2.6 Metodología

2.6.1 Simulación

Se tiene el auto junto con el alerón en las posiciones correspondientes para proceder a dar inicio con la simulación. Se selecciona la opción Wizard para poder crear un nuevo proyecto de simulación de fluido,

posterior se obtiene una ventana en la cual se configura los parámetros principales tales como el sistema de unidades en nuestro caso seleccionamos por default el Sistema Internacion (m-kg-s).

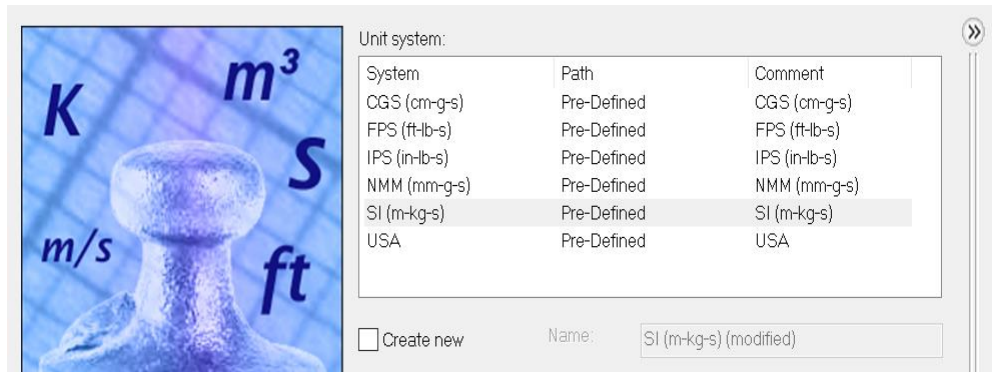


Figura 2-14 Configuración del sistema de unidades

Fuente: Autores

Se procede con la siguiente configuración donde se debe seleccionar el tipo de análisis, para nuestro caso es un análisis externo excluyendo la parte interior de nuestro sólido para poder tener datos válidos en nuestra simulación.

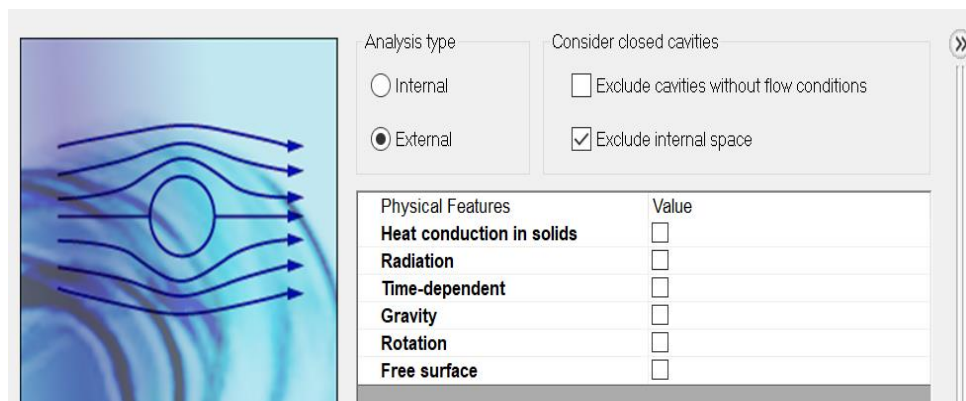


Figura 2-15 Configuración del sistema de unidades

Fuente: Autores

Posterior a aquello la siguiente configuración se trata de la selección del fluido a utilizar en la simulación, por ello se procede a buscar al aire en la categoría gases y se lo selecciona.

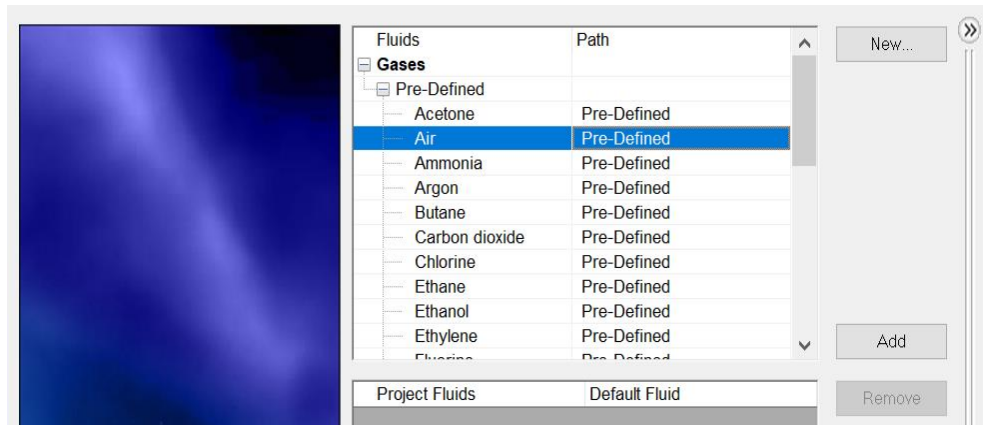


Figura 2-16 Configuración fluido

Fuente: Autores

Se continúa con las condiciones de las superficies del sólido, utilizando la configuración por default para proceder a la última ventana de configuración en la cual se definen las condiciones iniciales y ambientales de la simulación tales como temperatura, presión y velocidad del fluido.

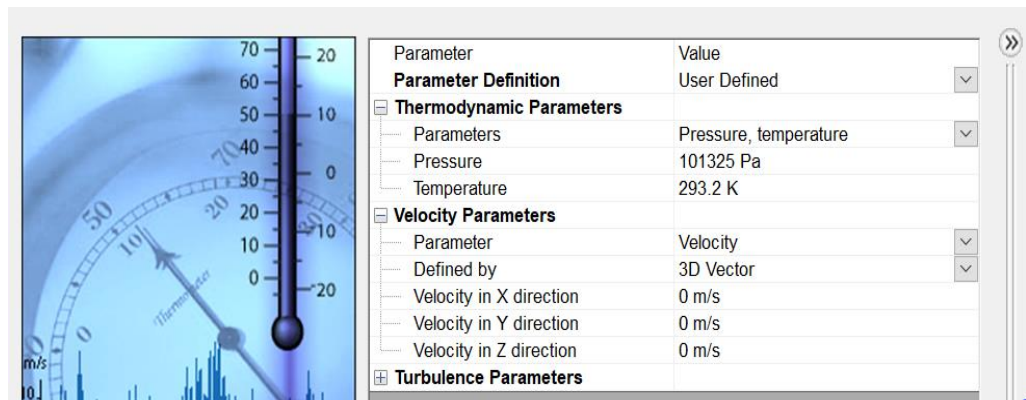


Figura 2-17 Configuración de las condiciones iniciales y ambientales

Fuente: Autores

Una vez terminada la configuración general de la simulación se procede a definir el área de trabajo, se empieza con generación del dominio computacional, la cual se la define a la caja que encierra al sólido para limitar la trayectoria del fluido, se trabaja con las medidas a escala del túnel de viento en el cual se realizará las pruebas experimentales.

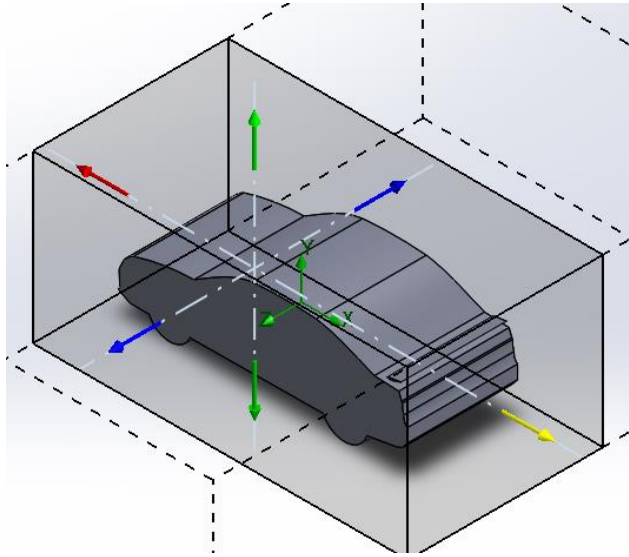


Figura 2-18 Configuración del dominio computacional

Fuente: Autores

A continuación se procede a realizar la configuración del Mesh, la cual es una opción muy delicada al momento de establecer que divisiones son las óptimas a utilizar, por ejemplo la opción automática del mallado más fino que tiene el software se la define con el número 7 siendo una mallado no apto para las dimensiones de nuestro sólido, ya que al ser un mallado demasiado espaciado al momento de la simulación se pueden perder valores de presiones en estas divisiones, por lo que se procede a configurar de manera manual del mallado definiéndolo en 500x500 siendo este un mallado donde el espaciado es pequeño, por ende los valores de presiones no serán erróneos

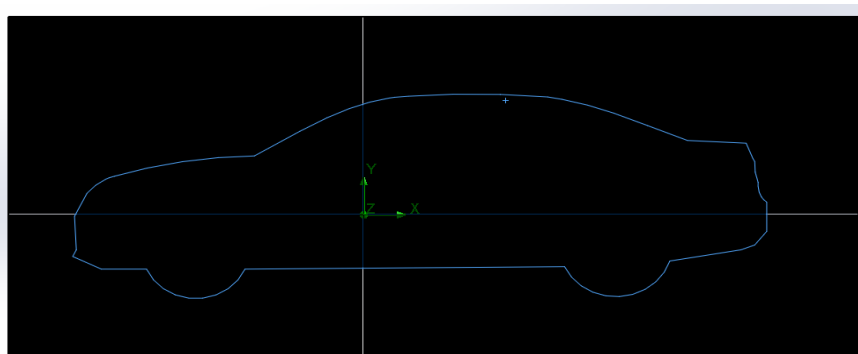


Figura 2-19 Configuración de mallado (Mesh)

Fuente: Autores

Finalmente se procede a correr la simulación y mediante una estela de colores que rodean al perfil del sólido los valores son obtenidos, las iteraciones varían de entre 200 a 300 hasta que la simulación haya terminado y mostrar los resultados calculados.

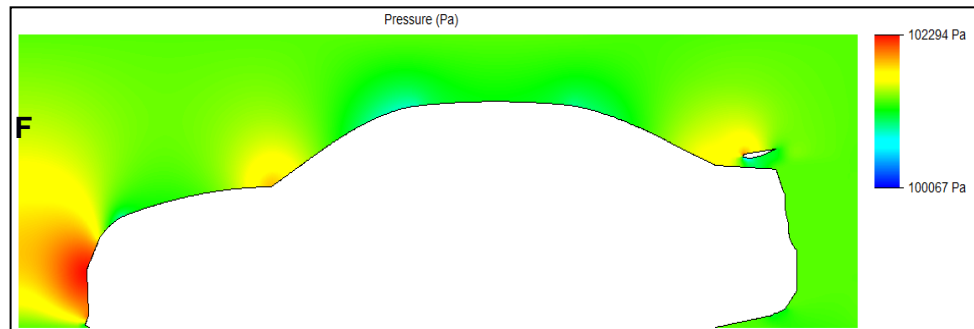


Figura 2-20 Resultados de Simulación

Fuente: Autores

2.6.2 Prototipo

Las pruebas realizadas al alerón son determinadas por una serie de pasos y consideraciones dadas por el equipo de ensayo, un túnel de viento marca armfield, modelo C15-10. Para poder tomar las mediciones se debe adecuar previamente el equipo por medio de la guía proporcionada por el equipo.

Para la toma de datos se realizaron dos pruebas una con alerón y otra sin este. Para la prueba sin alerón se coloca cinco tubos conectados a un manómetro digital en diferentes posiciones el cual toma 60 muestras con intervalos de 1 segundo. Estas 60 muestras son tomadas para diferentes velocidades del ventilador desde el 20% al 100% de su capacidad con intervalos de 20%. Estos datos son guardados en una hoja de cálculo para su posterior procesamiento.



Figura 2-21. Adecuación del prototipo sin alerón para pruebas experimentales

Fuente: Autores

De la misma forma para la toma de datos con alerón se procedió a colocar 7 tubos igualmente conectados a un manómetro digital. A diferencia de la configuración anterior en esta ocasión se coloca un tubo arriba y otro abajo del alerón con el fin de determinar la diferencia de presión producida por este. Nuevamente se toma 60 muestras con intervalos de 1 segundo para diferentes velocidades del ventilador que van desde 20% al 100% de su capacidad con intervalos de 20% y los datos obtenidos son guardados en una hoja de cálculo para su posterior procesamiento.

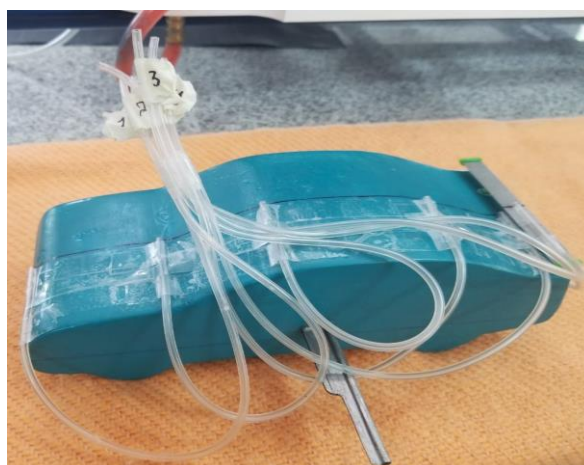


Figura 2-22 Adecuación del prototipo con alerón para pruebas experimentales

Fuente: Autores

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En este capítulo se analizará los resultados tanto del diseño del alerón por medio de simulación como los datos obtenidos por medio del túnel de viento que a la postre servirán para validar, de manera real, lo realizado a través del software.

3.1 Simulación

Por medio de las simulaciones realizadas se logró obtener la cantidad de datos necesarios para realizar un análisis comparativo de los alerones. Entre las consideraciones que se deben tener en mente para la selección sobresale la cantidad de carga producida por la diferencia de presión que estos producen entre la parte superior e inferior. Adjunto se muestra una tabla comparativa con un rango de ángulos recomendados para el alerón.

Tabla 3-1 Datos de Presión y Carga del perfil Naca 4412

Fuente: Autores

Naca 4412	Presión Promedio		ΔP	Carga kg
	Superior	Inferior		
10°	103280.67	99297.24	3983.4	211,55
12°	102562.24	100503.89	2061.34	109,48
14°	102288.51	100454.38	1834.124	97,41

Tabla 3-2 Datos de Presión y Carga del perfil Naca 6412

Fuente: Autores

Naca 6412	Presión Promedio		ΔP	Carga kg
	Superior	Inferior		
10°	102791.45	99736.63	3054.81	162,24
12°	102395.16	100462.78	1932.37	102,63
14°	102338.85	99843.09	2495.7	132,54

Los resultados muestran que el perfil óptimo es el Naca 4412 con un ángulo de 10° mostrando una carga de 211.55 kg sobre el alerón que sea transmitida

al vehículo. Otras pruebas demostraron que la carga aumentaría aún más a medida que disminuye el ángulo, pero esto no es recomendable ya que este es el punto óptimo entre sustentación y arrastre del alerón.

3.2 Prototipo

3.2.1 Selección de material

Con el fin de obtener resultados adecuados se seleccionó, de entre varios tipos de materiales, los más óptimos para el prototipo tanto del alerón como la del vehículo.

3.2.1.1 Prototipo del Automóvil

El prototipo del automóvil fue construido a base de impresión 3D utilizando como material de impresión ácido poliláctico (PLA). Este polímero es permanente e inoloro, de baja densidad y biodegradable, resistente a la humedad y a la grasa; la fuerza extensible y el módulo de elasticidad del PLA es también comparable al polietileno, cerca de 4000 MPa, y dependiendo de su proceso de fabricación puede ser resistente o flexible (Farah, 2016).

3.2.1.2 Recubrimiento

Para poder obtener resultados adecuados se debe realizar, sobre el automóvil, un recubrimiento de arcilla que emule las características lisas de la carrocería real del automóvil. La arcilla es un material maleable y de baja densidad influyente en la dinámica del aire.

3.2.1.3 Prototipo del alerón

Para la construcción del alerón se buscó un material que al ser manufacturado aun conserve su superficie lisa dando paso a la utilización de aluminio. La realización del alerón fue hecha mediante una cortadora de hilo que proporciona un manufacturado con poca rugosidad. El aluminio es un metal liviano de baja densidad además de blando y maleable, debido a estas propiedades se escogió el aluminio como material para el prototipo del alerón.

3.2.2 Construcción y Adaptación

En esta sección se especifica los procesos de construcción tomando en cuenta el modelo seleccionado

3.2.2.1 Automóvil

Para la construcción del prototipo se procedió a realizar el CAD en un software de diseño. El perfil del automóvil se basó en el modelo real de un Honda Accord 2019. Para la construcción del prototipo se tomó en cuenta las dimensiones de la sección de pruebas del túnel de viento, este posee 47 x 16,5 x 16,5 cm de longitud, altura y ancho respectivamente, además de esto el soporte para las pruebas del túnel posee una restricción en cuanto al peso. Con esta información se procedió a realizar el prototipo en impresión 3D con mallado interno para obtener menor peso. Debido a estas consideraciones se obtuvo una escala de construcción de 0.0471 con respecto al tamaño real.

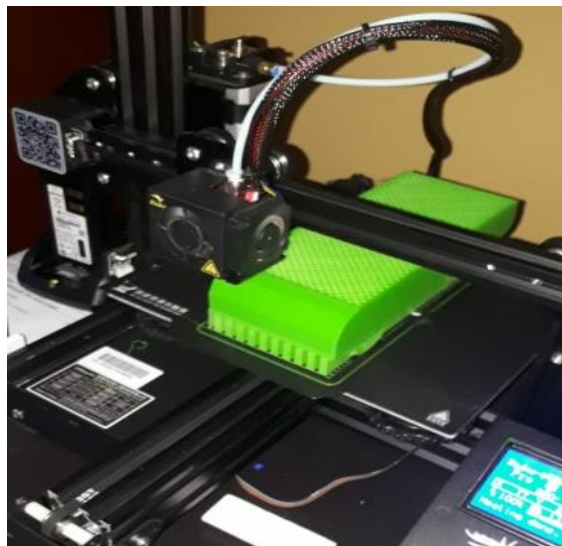


Figura 3-1 Impresión 3D del prototipo del automóvil

Fuente: Autores

A pesar de los beneficios de la construcción por impresión 3D, esta presenta varios inconvenientes entre la que se encuentra la alta rugosidad por consiguiente, se procedió a colocar un recubrimiento de

arcilla y pintura. Todo esto con el fin de evitar altos coeficientes de rugosidad.



Figura 3-2 Recubrimiento de arcilla

Fuente: Autores



Figura 3-3 Recubrimiento de pintura

Fuente: Autores

3.2.2.2 Alerón y Derivas Laterales

Para la construcción del alerón se realizó un modelo CAD con dimensiones de la escala de construcción. Con el fin de obtener un

acabado más liso y evitar fallas en la toma de datos, se procedió a manufacturar una barra solida de aluminio con una cortadora de hilo que seguía el contorno del modelo diseñado por el software.



Figura 3-4 Proceso de manufactura del alerón

Fuente: Autores

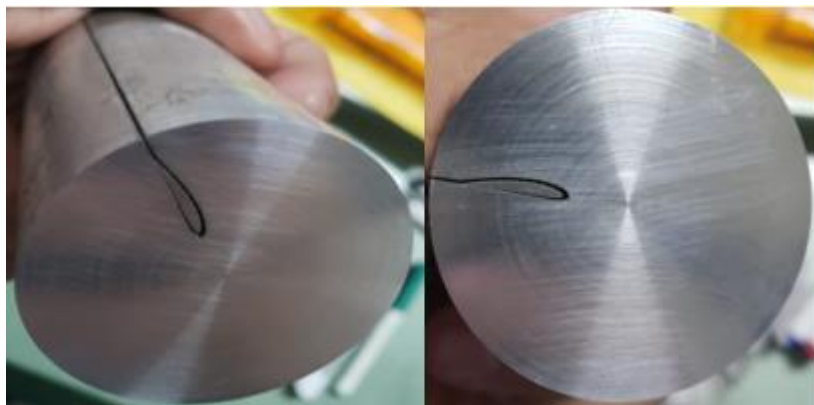


Figura 3-5 Contorno del alerón

Fuente: Autores

Las derivas laterales, por otro lado, debido a la dificultad de manufacturación por su pequeño tamaño se realizó por medio de impresión 3D y fueron adheridos al alerón por medio de pegamento.



Figura 3-6 Contorno del prototipo final

Fuente: Autores

3.2.3 Pruebas aerodinámicas

Para la validación de los datos obtenidos se procedió a hacer una gráfica comparativa entre el coeficiente de presión obtenido por el prototipo a través de las pruebas experimentales y el obtenido por medio de la simulación a escala real. A cada valor de velocidad en la prueba del prototipo le corresponde otra que produzca aproximadamente los mismos coeficientes de presión (C_p) y por ende valores proporcionales de presión. Por medio de un proceso iterativo, utilizando la simulación, se logró determinar el valor correspondiente de la velocidad del túnel con la del modelo real a la que corresponden los valores de C_p . Luego por medio de un proceso de interpolación se determinó las demás velocidades correspondientes y se realizó la respectiva comprobación.

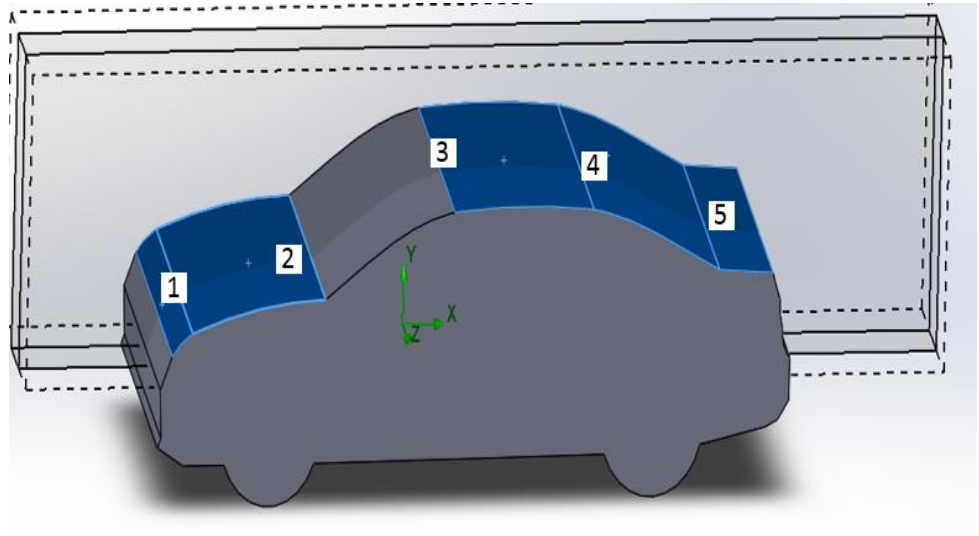


Figura 3-7 Puntos de medición en el vehículo

Fuente: Autores

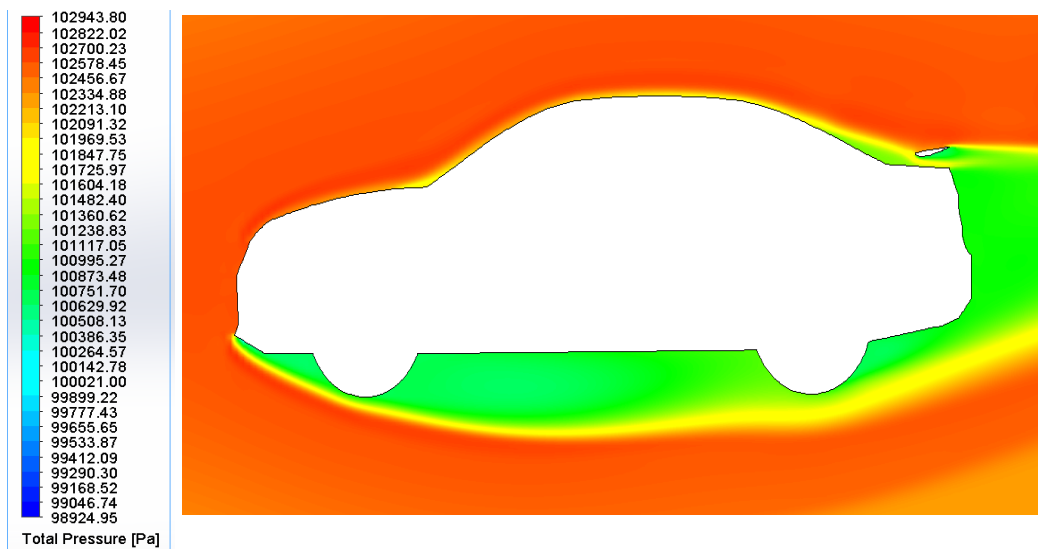


Figura 3-8 Simulación del automóvil con alerón escala real

Fuente: Autores

Tabla 3-3 Relación velocidad Coeficiente de presión tamaño prototipo y real

Fuente: Autores

Puntos	Velocidad prototipo [m/s]	$C_{p_{prototipo}}$	Velocidad escala real [m/s]	$C_{p_{real}}$
1	13	-1,38	27	-1,33
2		-1,61		-1,50
3		-0,41		-0,46
4		-0,92		-0,80
5		-1,05		-0,89

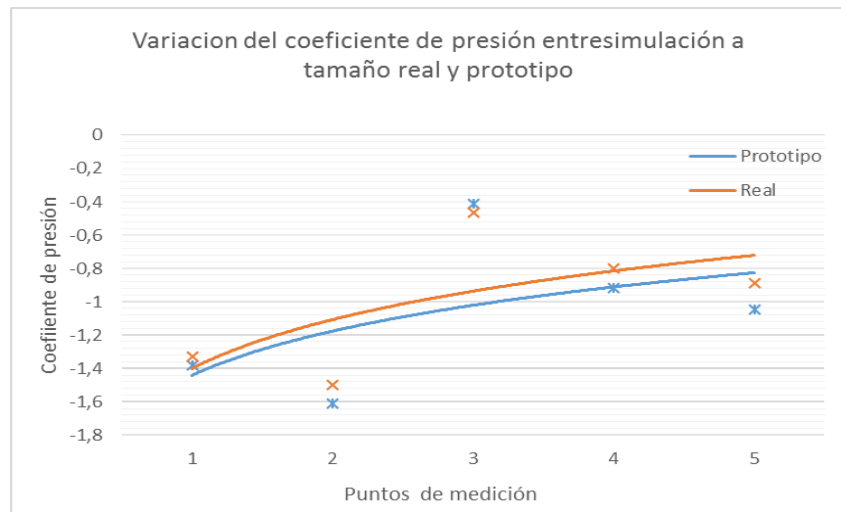


Figura 3-9 Grafica de Coeficiente de presión vs Puntos de medición

Fuente: Autor

Tabla 3-4 Relación velocidad Coeficiente de presión tamaño prototipo y real

Fuente: Autores

Puntos	Velocidad prototipo [m/s]	$C_{p_{prototipo}}$	Velocidad escala real [m/s]	$C_{p_{real}}$
1	17	-1,50	37	-1,43
2		-1,66		-1,65
3		-0,41		-0,43
4		-0,93		-0,85
5		-0,95		-0,95

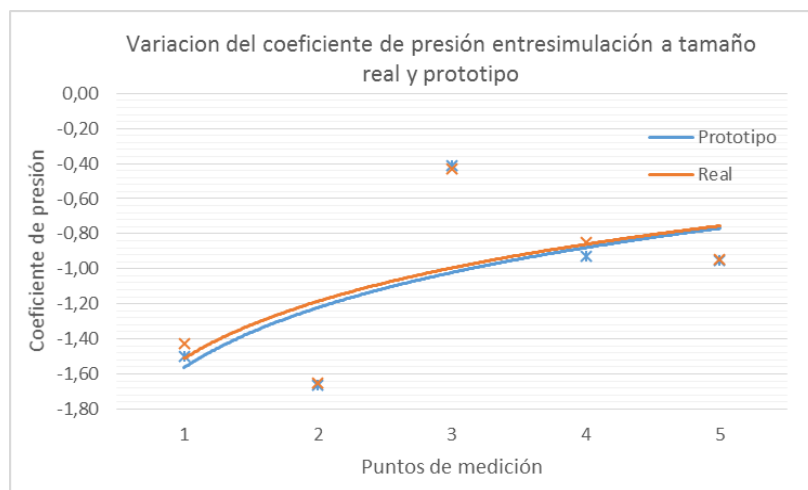


Figura 3-10 Grafica de Coeficiente de presión vs Puntos de medición

Fuente: Autores

Se puede observar cómo en ambos casos al final del automóvil existe un decremento en el valor del coeficiente de presión (C_p) mostrando así un aumento en la presión en estos puntos y dando a entender un aumento en la fuerza produciendo una mayor estabilidad.

3.2.4 Carga aerodinámica

Con el fin de realizar una comparación de la variación de las fuerzas en presencia y ausencia del alerón se obtuvieron, por medio de la simulación, datos de fuerzas en puntos clave en 'x' como en 'y'. Las

pruebas fueron realizadas por medio de la simulación utilizando velocidades desde los puntos de operacionales del alerón hasta valores más altos que la velocidad máxima de diseño, estos valores se presentan a continuación:

Tabla 3-5 Comparación de la carga en el sistema con y sin alerón

Fuente: Autores

Velocidades [mi/h]	Carga en Ausencia de Alerón [N]	Carga en Presencia de Alerón [N]	Carga generada en masa alerón [kg]	Incremento de fuerza
60	310.3	373.9	38.1	21%
70	426.7	602.0	61.4	41%
80	547.3	787.8	80.3	44%
90	660.9	1003.3	102.3	52%
100	875.9	1240.6	126.5	42%

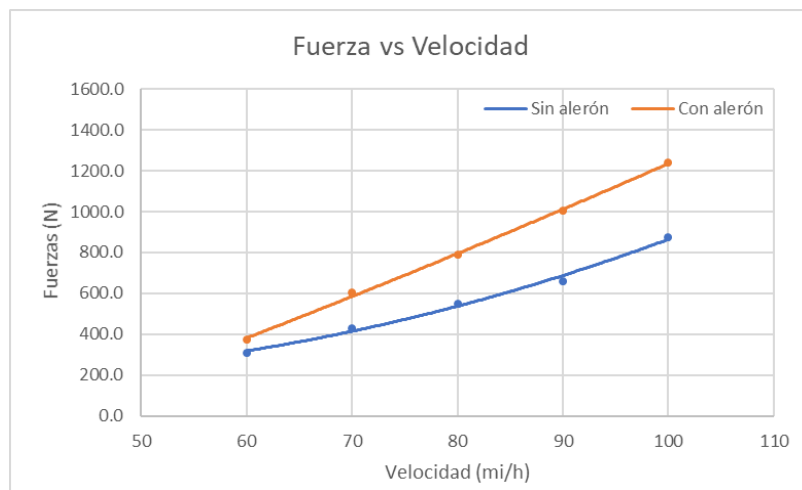


Figura 3-11 Grafica Fuerza vs Velocidad

Fuente: Autores

Se observa claramente el impacto del alerón sobre el automóvil. La fuerza que genera el alerón es para cada velocidad, exceptuando la primera, casi la mitad de la fuerza que genera el aire sobre el vehículo sin este, es decir un aumento en la fuerza de aproximadamente mayor a 40%, y en un caso 50%, se da gracias a la inclusión del alerón. Además de esto se puede ver como la carga generada en el automóvil llega hasta valores de

127 kg, lo que equivaldría casi a el peso de dos hombres jóvenes, grandes de estatura promedio. Los primeros valores muestran cargas pequeñas, esto se debe a que el alerón comienza a alcanzar los valores de operación máximos, es decir su eficiencia aumenta al aumentar la velocidad.

3.2.5 Coeficiente de arrastre

El coeficiente de arrastre obtenido en base a la inclusión del alerón se muestra a continuación:

Tabla 3-6 Comparación del coeficiente de arrastre con y sin alerón

Fuente: Autores

Velocidades [mi/h]	Coeficiente de arrastre sin alerón	Coeficiente de arrastre con alerón
60	0.470	0.370
70	0.467	0.384
80	0.463	0.383
90	0.464	0.382
100	0.466	0.383

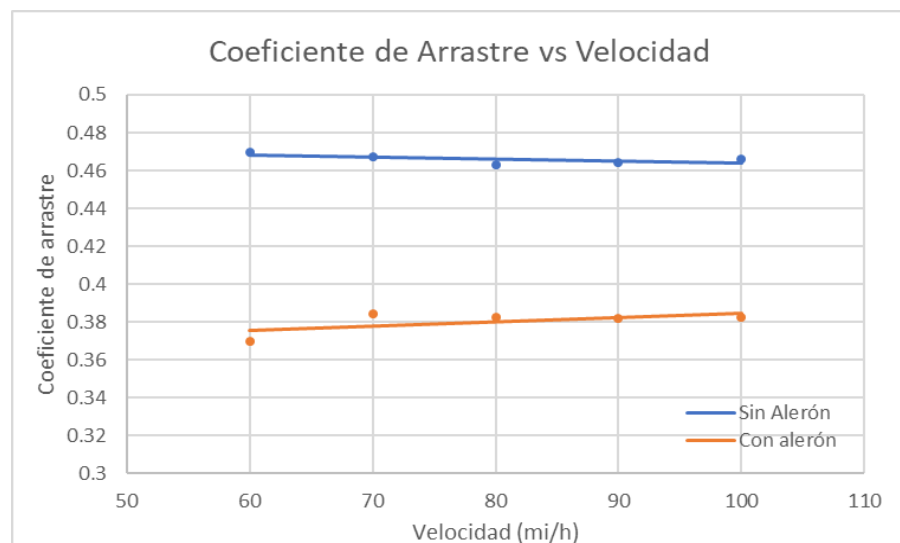


Figura 3-12 Grafica de Coeficiente de arrastre vs Velocidad

Fuente: Autores

Estos datos, aunque aproximados debido a la geometría del modelo simulado, nos muestran una reducción del coeficiente de arrastre (C_d) con la implementación del alerón, esto se traduce en una disminución de la resistencia aerodinámica y por ende en una reducción del consumo combustible a largo plazo. Aunque los valores del C_d son mayores a los dados por el fabricante, para ambos casos la diferencia entre estos a medida que aumenta la velocidad se mantiene constante, en el orden del 0.08 y esta se ira reduciendo a medida que se torne más aerodinámica el modelo.

3.2.6 Coeficiente de sustentación

El coeficiente de sustentación obtenido en base a la inclusión del alerón se muestra a continuación:

Tabla 3-7 Comparación del coeficiente de sustentación con y sin alerón

Fuente: Autores

Velocidades [mi/h]	Coeficiente de sustentación sin alerón	Coeficiente de sustentación con alerón
60	-0.0433	-0.0521
70	-0.0437	-0.0617
80	-0.0429	-0.0618
90	-0.0410	-0.0622
100	-0.0440	-0.0623

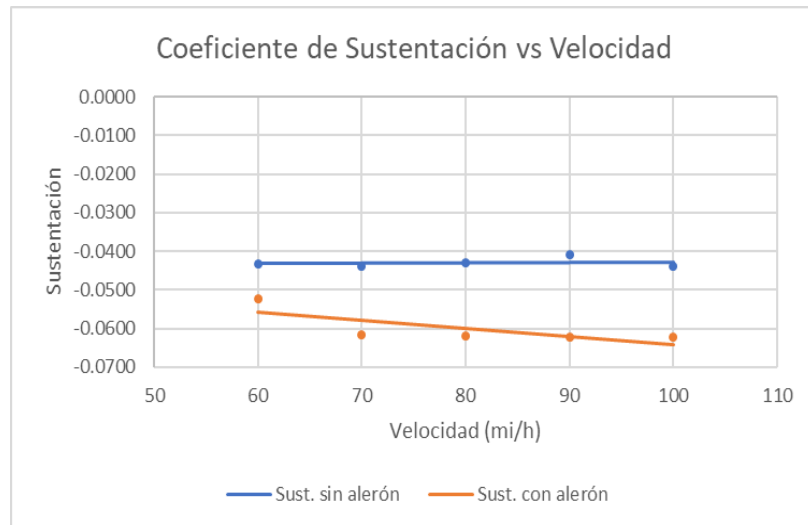


Figura 3-13 Grafica Coeficiente de sustentación vs Velocidad

Fuente: Autores

De igual forma que con los datos obtenidos en el arrastre estos valores aproximados nos muestran un coeficiente de sustentación más negativo, es decir más bajo para el alerón, esto va acorde a los datos obtenidos anteriormente ya que, en este caso, a diferencia de los aeroplanos o aviones, se busca un coeficiente negativo y bajo. De la misma forma la diferencia entre ambos valores permanece perenne a lo largo de las velocidades y ronda alrededor de 0.02. Esto muestra, una vez más que el alerón permite una mayor fijación al suelo del automóvil y por ende mayor estabilidad.

3.3 Análisis de costos

El costo sin lugar a duda es uno de los factores que más interesan al momento de querer obtener ya sea un producto o servicio, debido a esto se debe tomar en cuenta valores estimados del costo de fabricación del alerón. La fabricación del alerón a pequeña escala es la siguiente:

Tabla 3-8 Factores que influyen en la fabricación del alerón

Fuente: Autores

	Descripción	Precio U. (\$)	Precio Total (\$)
Materiales	Placa de Acero	25	25
	Equipos y Herramientas	20	20
	Fibra de Vidrio	16	32
	Resina	9	28
	Pernos	0.30	3
Fabricación del alerón y sus elementos	Diseño de Planos	150	150
	Fabricación del molde del Alerón	70	70
	Aplicación de capas de protección	15	15
	Aplicación de Fibra de Vidrio y Resina	15	15
	Curado del alerón	10	20
	Mecanizado de los soportes	9	18
	Unión de soportes	12	12
	Mano de Obra	50	50
	Total (\$)		428

Este valor es asequible considerando los beneficios que aporta el alerón tales como reducción de combustible, mayor estabilidad, etc. Se debe considerar estas estimaciones como valores para el mercado local, para el mercado extranjero estos valores aumentarán o disminuirán dependiendo del caso. Para Estados Unidos se tiene una reducción en el precio de los materiales, pero factores como mano de obra se incrementan mucho más en comparación a la reducción de los demás valores por lo que un aumento de precio es previsible.

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Este capítulo analiza los resultados en base a los objetivos planteados, los resultados son discutidos y se dan recomendaciones para posibles mejoras.

4.1 Conclusiones

- La inclusión del alerón causa varios cambios en la aerodinámica del vehículo, la principal es el aumento de la carga teniendo un aumento de valores de hasta de más del 40% de la fuerza que se produce en el auto sin alerón. Esto se puede notar claramente en la tabla y grafica mostrada en resultados con un pico máximo del 50% del aumento de la fuerza inicial sin alerón y uno mínimo del 21%, esto se debe a que el alerón entra en su capacidad operacional alrededor de las 60 mi/h y bajo de estos valores el aporte del mismo es poco y no causa mayor beneficio. Por lo tanto se puede concluir que la inclusión de un spoiler o alerón trasero causa un aumento de la carga sobre el vehículo por ende una mayor estabilidad a velocidades por encima de los 60 mi/h.
- El alerón en un vehículo no solo trae beneficios en cuanto a estabilidad sino también causando reducción en los valores del coeficiente de arrastre. Aunque estos valores, 0.38 y 0.46 con y sin alerón respectivamente, se encuentran un poco alejados del valor estimado por el fabricante, que es de 0.3, nos dan una muestra clara de como el alerón reduce el coeficiente de arrastre lo que se traduce en menor resistencia aerodinámica causando así una reducción en el consumo de combustible. La razón por la cual los valores del coeficiente difieren es por el modelo con el cual se realizó la simulación, este es un modelo extruido del perfil lateral del vehículo causando que a diferencia del modelo real no tenga una superficie frontal tan aerodinámica.
- Para la validación de datos por medio del CFD se realizaron pruebas experimentales, se pudo determinar los coeficientes de presión que muestran un aumento a lo largo vehículo tenido su punto máximo en la parte posterior donde se ubica el alerón. Los valores de coeficiente de presión obtenidos por las

pruebas experimentales encuentran valores correspondientes en la simulación a escala real mostrando un correcto análisis dimensional. Cabe recalcar que estos valores son aproximados y poseen un porcentaje de error. Estos valores corroboran los resultados anteriores ya que al aumentar el coeficiente de presión aumenta el arrastre y carga sobre el vehículo.

4.2 Recomendaciones

- Para la correcta toma de datos se recomienda:
 1. Lectura del manual del equipo del túnel de viento.
 2. Esperar un tiempo prudencial para que las presiones y el flujo de aire se estabilicen.
 3. Despejar la zona a la entrada y salida del túnel de viento.
 4. La cámara de prueba posee una restricción de tamaño siendo esta de 23 x 16.5 x 16.5 mm de largo ancho y alto respectivamente.
 5. Posee una restricción de peso de 1.2 lb.
- Al momento de tomar valores en el túnel de viento se debe buscar la manera de evitar interferencias en el perfil, al colocar elementos que cambien el perfil del vehículo se producirá una variación en los datos que debe ser justificada por medio de un cálculo y análisis de errores. Un error sistemático se presenta y debe ser justificado ya que se repite en todas las mediciones debido a la inclusión de elementos que interfieren con el perfil inicial.
- Para una toma de datos aún más precisa se debe realizar el modelo del prototipo lo más aerodinámico posible. La superficie o cara frontal debe estar adecuada, un modelo extruido no posee estas características mientras que modelos con cavidades laterales con inicio desde su parte frontal si, reduciendo el impacto y por ende el coeficiente de arrastre.
- La adecuada configuración previa a la simulación es vital e importante ya que se debe ingresar datos de campo que son variables para el software del túnel de viento, con ello se garantiza toma de datos aceptables para la previa validación entre ambos softwares

BIBLIOGRAFÍA

Aparicio, F. (2001). *Teoría de los vehículos automóviles*. Madrid-España: Universidad Politécnica de Madrid

Obidi, T. Y. (2014). *Theory and applications of aerodynamics for ground vehicles*. Retrieved from <https://ebookcentral.proquest.com>

Katz, J. (2016). *Automotive aerodynamics*. Retrieved from <https://ebookcentral.proquest.com>

Mott, R. (2006). *Mecánica de Fluidos*. 6ta edición. México: Pearson educación.

Cengel, Y (2006). *Mecánica de Fluidos. Fundamentos y Aplicaciones*. México: McGraw-Hill/INTERAMERICANA EDITORES, S.A.

García Martín, D. (26 de mayo de 2019). *Estudio de la capacidad aerodinámica de carrocerías de vehículos categoría CM*. Pamplona, Pamplona, España.

Castañé, J. (1996). *El Equipo de Competición*. Madrid - España: Grupo Editorial Ceac S.A.

McBeath, S. 2001. *Aerodinámica del automóvil de competición*. s.1.: Enrique H. Scalabroni.

“The 10 best-selling vehicles in the United States in 2018 were mostly trucks and SUVs – FOX NEWS”. Accedido el 4 de junio, 2019, desde: <https://www.foxnews.com/auto/the-10-best-selling-vehicles-in-the-united-states-in-2018-were-mostly-trucks-and-suvs>

Du, J., Yang, F., Cai, Y., Du, L., & Ouyang, M. (2016). **“Testing and analysis of the control strategy of Honda Accord plug-in HEV”**. IFAC-PapersOnLine, 49(11), 153-159.

Ficha Técnica Honda Accord (2019). **“New Accord Ficha Técnica”**. Estados Unidos. Honda. Accedido el 14 de junio, 2019, desde: <https://www.honda.mx/autos/accord/>

National Weather Service (2019) **“Past Weather”**. Estados Unidos. Accedido el 28 de Julio, 2019, desde: <https://www.weather.gov/>

Abbott I. (1959). **“Theory of Wing Sections”**. Canada: General Publishing Company Ltda.

Farah, S., Anderson, D. G., & Langer, R. (2016). **“Physical and mechanical properties of PLA, and their functions in widespread applications—A comprehensive review”**. Advanced drug delivery reviews, 107, 367-392.

REFERENCIAS

“Fibra de vidrio vs. fibra de carbono: ¿Cuál es mejor?”. Accedido el 30 de mayo, 2019, desde: <http://www.motorex.com.pe/blog/fibra-vidrio-carbono-diferencias/>.

“Lo básico que debes saber sobre Colas de Pato, Alerones, Wings y Spoilers”. Accedido el 30 de mayo, 2019, desde: <https://tijuiliando.com/lo-basico-que-debes-saber-sobre-colas-de-pato-alerones-wings-y-spoilers/>.

“Alerones o spoilers: ¿conoces los procedimientos básicos para montarlos?”. Accedido el 30 de mayo, 2019, desde: <https://blog.reparacion-vehiculos.es/alerones-o-spoilers-coche-procedimientos-para-montarlos>.

“Los 20 modelos más vendidos en EEUU durante 2017”. Accedido el 30 de mayo, 2019, desde: <https://www.univision.com/noticias/ranking-de-autos/los-20-modelos-mas-vendidos-en-eeuu-durante-2017-fotos>

“Las marcas de autos más vendidas en Estados Unidos, enero 2018”. Accedido el 30 de mayo, 2019, desde: <http://noticias.espanol.autocosmos.com/2018/02/08/las-marcas-de-autos-mas-vendidas-en-estados-unidos--enero-2018->.

“Los autos más vendidos en Estados Unidos hasta noviembre 2018”. Accedido el 30 de mayo, 2019, desde: <https://laopinion.com/2018/11/12/los-autos-mas-vendidos-en-estados-unidos-hasta-noviembre-2018/>

“Top 10 Autos 2017 Más Vendidos en Estados Unidos el año del crossover”. Accedido el 30 de mayo, 2019, desde: <https://eldiariiony.com/2017/12/25/top-10-autos-2017-mas-vendidos-en-estados-unidos-el-ano-del-crossover/>

APÉNDICES

APÉNDICE 1

Cálculo de error

Tabla A1 Estimación de errores

Fuente: Autores

		60%			
		Real Simulación [Pa]	Prueba Prototipo [Pa]	RMS [Pa]	BIAS [Pa]
P1	101524	101440		119.2	16
P2	101508	101518			
P3	101608	101500			
P4	101496	101722			
P5	101527	101564			

		80%			
		Real Simulación [Pa]	Prueba Prototipo [Pa]	RMS [Pa]	BIAS [Pa]
P1	101935	101663		242.65	53
P2	101800	101634			
P3	101840	102015			
P4	101370	101741			
P5	101566	101722			

		100%			
		Real Simulación [Pa]	Prueba Prototipo [Pa]	RMS [Pa]	BIAS [Pa]
P1	102655	101651		661.1080941	291
P2	102366	101888			
P3	102454	101844			
P4	101690	102441			
P5	102085.5	101967			

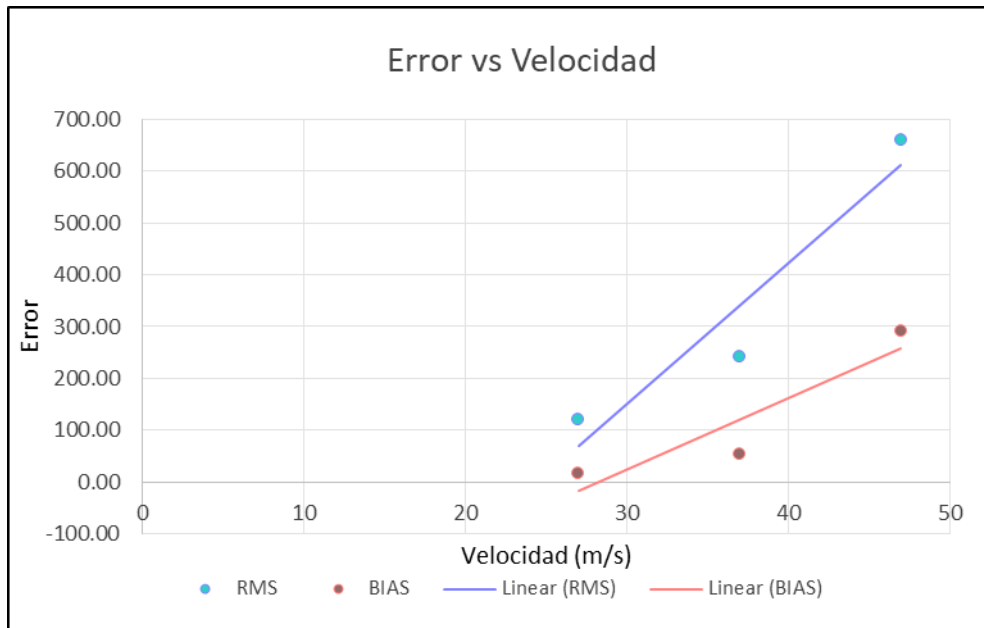


Figura A1 Grafica error vs velocidad

Fuente: Autores

APÉNDICE 2

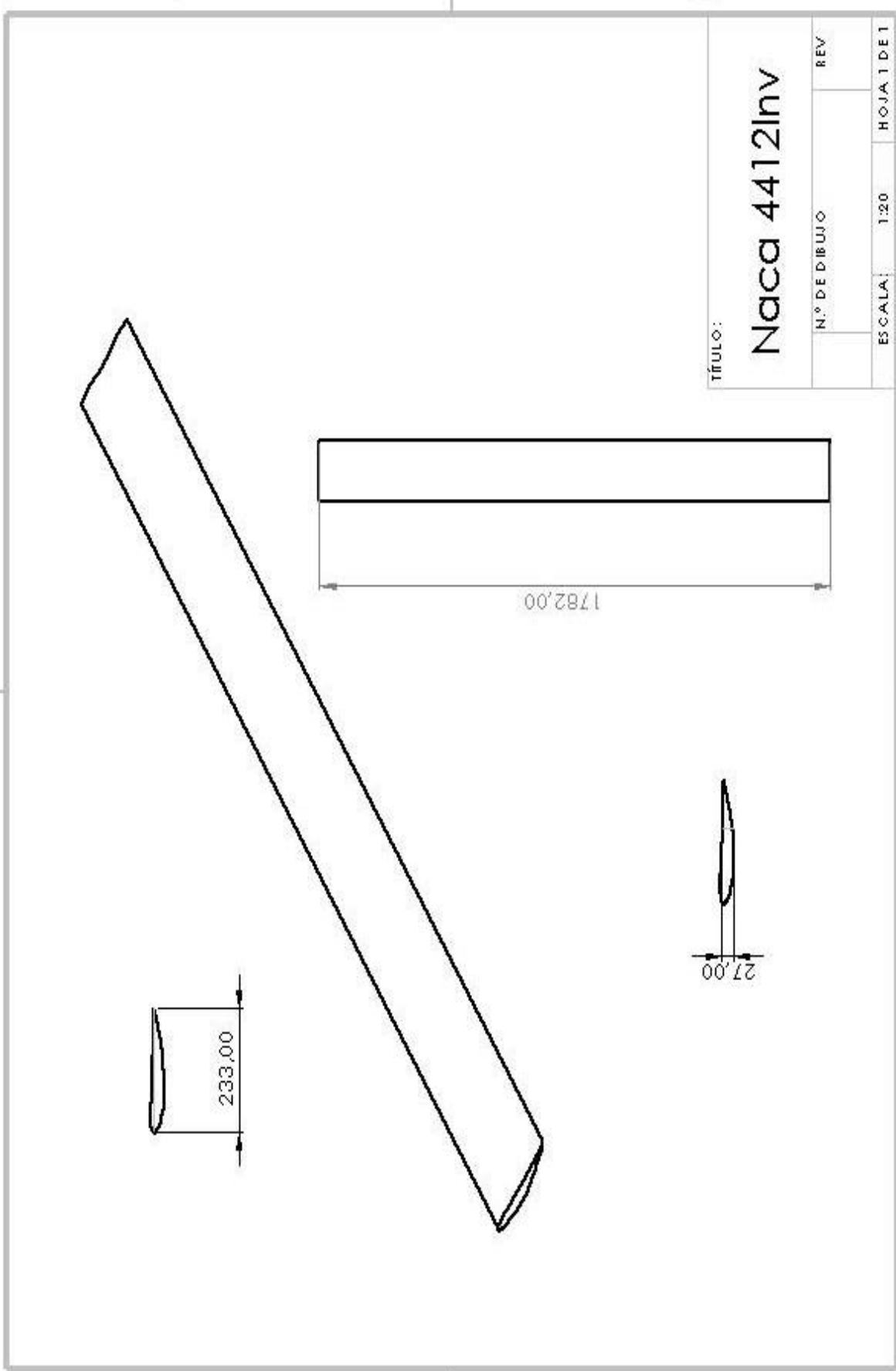
PLANOS

1

2

B

A



TÍTULO:

Naca 4412Inv

N.º DE DIBUJO

REV

ESCALA: 1:20

HOJA 1 DE 1

1

2

B

A