UIDE

Powered by Arizona State University®

INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

Proyecto Previo a la Obtención del Título de Ingeniero Automotriz

Autor: Darío Josué Soto Tomalá
Tutor: Ing. Edgar Gustavo Vera Puebla, Msc

Análisis Comparativo en la Aerodinámica entre Dos Modelos de Retrovisores de Base Plana y Curva Aplicados a Vehículos M1

Guayaquil-Ecuador |2024

Certificación de Autoría

Yo, Darío Josué Soto Tomalá, con CI: 0952351542, declaro bajo juramento, que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y que se ha consultado la bibliografía detallada.

Cedo mis derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador, para que sea publicado y divulgado en internet, según lo establecido en la Ley de Propiedad intelectual, reglamento y leyes.

_____

Darío Josué Soto Tomalá

C.I.: 0952351542

Aprobación del Tutor

Yo, Edgar Gustavo Vera Puebla certifico que conozco al autor del presente trabajo siendo responsable exclusivo tanto de su seguridad y autenticidad, como de su contenido

_____

Edgar Gustavo Vera Puebla, Msc

C.I. 1715264105

Director del Proyecto

Dedicatoria

Dedico mi tesis principalmente a Dios por la fuerza que me dio para cumplir mi objetivo. A mis padres, cuyo amor incondicional, sacrificio y apoyo constante han sido motivador para culminar mis estudios académicos, a mi hermana por apoyarme y darle mi ejemplo de superación. También quiero dedicar este trabajo a mis amigos y seres queridos, quienes han sido mi fuente de alegría, ánimo y motivación en cada paso del camino. A mis profesores y mentores, les agradezco su guía experta y sus valiosas enseñanzas, que han enriquecido mi conocimiento y han moldeado mi perspectiva académica.

Sin el apoyo y la influencia de todas estas personas, este trabajo no habría sido posible lograrlo. Gracias por creer en mí y por acompañarme en este viaje.

Darío Josué Soto Tomalá

Agradecimientos

Quisiera expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas e instituciones que contribuyen de manera significativa a la relación de tesis sobre la carrera Ingeniería Automotriz.

En primer lugar, agradezco a Dios por guiarme siempre por los buenos caminos del bien e iluminarme a la hora de tomar decisiones.

A mis padres que con ejemplo de superación y un hogar formado lleno de amor y buenos valores siempre me han brindado su apoyo incondicional para poder cumplir mis objetivos personales y académicos.

Agradezco a mi director de tesis Ing. Edgar Vera, por la orientación experta, su apoyo constante y sus valiosas sugerencias que fueron fundamentales para el desarrollo de este proyecto.

Agradezco el apoyo a mis compañeros en cada etapa de este viaje académico, que se convirtieron en amigos, cómplices para alentar a superar los obstáculos y mantenerme enfocado en la consecución de mis objetivos.

Finalmente, quiero expresar mis agradecimientos a la Universidad que me ha exigido tanto pero al mismo tiempo me ha permitido obtener mi ansiado título académico, a los Docentes directo o indirectos que contribuyeron en mi educación brindándome su apoyo a lo largo de esta travesía académica.

Darío Josué Soto Tomalá

Índice General

Dedicatoria v

Agradecimientos vi

Índice General.....vii

Índice de Figuras.....xi

Índice de Ecuaciones.....xvi

Índice de Tablas xvii

Resumen xviii

Abstract xix

Capítulo I.....1

Problema de la Investigación.....1

1.1. Tema de Investigación 1

1.2. Planteamiento, Formulación y Sistematización del Problema 1

1.2.1. Planteamiento del Problema.....1

1.2.2. Formulación del Problema 2

1.3. Sistematización del Problema 2

1.4. Objetivos de la Investigación 3

1.4.1. Objetivo General.....3

1.4.2. Objetivos Específicos.....3

1.5. Justificación e Importancia de la Investigación 3

1.5.1. Justificación Teórica 3

1.5.2. Justificación Metodológica 4

1.5.3. Justificación Práctica 5

1.5.4. Delimitación Temporal 6

1.5.5. Delimitación Geográfica 6

1.5.6. Delimitación del Contenido 7

1.6. Alcance 8

Capítulo II 9

2. Marco de Referencia 9

2.1. Retrovisor 9

2.2. Aerodinámica 10

2.3. Teorema de Bernoulli 11

2.4. Efecto Venturi 12

2.5. Tercera Ley del Movimiento de Newton 13

2.6. Ángulo de Ataque 14

2.7. Tipos de Flujos 15

2.8. Fuerza de Arrastre (F_d) 17

2.9. Módulo de Young 18

2.10. Modelo de Turbulencia Shear Stress Transport (SST) 19

2.11. Software de Ingeniería Mecánica y Diseño Asistido por Computadora (CAD) 19

2.11.1. SolidWorks 20

Capítulo III 22

Metodología 22

3.1. Métodos 22

3.2. Tipo de Estudio 22

3.2.1. Investigación Descriptiva 22

3.2.2. Método Descriptivo 23

3.3. Materiales 23

3.4. Modelado y Análisis de Retrovisores Mediante SolidWorks 23

3.5. Proceso de Análisis Aerodinámico Mediante Dinámica de Fluidos Computacional 30

3.5.1. Consideraciones Iniciales 30

3.5.2. Creación de Túnel de Viento Virtual para el Retrovisor de Cara Plana 35

3.5.3. Creación de Malla 35

3.5.4. Validación de Malla 37

3.5.5. Simulación de Velocidad 37

3.6. Análisis Estático 39

3.6.1. Análisis Estático del Retrovisor de Base Plana 40

3.6.2. Análisis Estático del Retrovisor de Base Curva 43

3.7. Factores de Seguridad 47

Capítulo IV 49

Análisis de Resultados 49

4.1. Análisis de Datos Obtenidos 49

4.1.1. Análisis de Proyección Retrovisor Base Plana 49

4.1.2. Análisis de Proyección Retrovisor Base Curva 50

4.1.3. Análisis de Mallado Retrovisor Base Plana 51

4.1.4. Análisis de Mallado Retrovisor Base Curva 52

4.1.5. Análisis de Velocidad Retrovisor Base Plana 54

4.1.6. Análisis de Velocidad Retrovisor Base Curva 56

4.1.7. Resultados Obtenidos con el Análisis Estático en el Retrovisor Base Plana 58

4.1.8. Resultados Obtenidos con el Análisis Estático en el Retrovisor Base Curva 60

4.1.9. Comparativa de Resultados Obtenidos en los Retrovisores 62

Conclusiones 64

Recomendaciones 66

Bibliografía 67

Anexos 69

Índice de Figuras

Figura 1 *Retrovisor* 9

Figura 2 *Representación de la Aerodinámica* 11

Figura 3 *Representación del Teorema de Bernoulli* 12

Figura 4 *Efecto Venturi* 13

Figura 5 *Tercera Ley de Newton* 14

Figura 6 *Ángulo de Ataque* 15

Figura 7 *Transición a Turbulencia* 16

Figura 8 *Representación de la Fuerza de Arrastre* 18

Figura 9 *Pantalla del Software AutoCAD 2023* 20

Figura 10 *Pantalla Principal del Software SolidWorks 2021* 21

Figura 11 *Imagen de los Retrovisores a Comparar* 24

Figura 12 *Plano del Retrovisor de Base Plana a Elaborar en 2D* 24

Figura 13 *Plano del Retrovisor de Base Curva a Elaborar en 2D* 25

Figura 14 *Plano del Retrovisor de Cara Plana a Elaborar en 3D* 25

Figura 15 *Plano del Retrovisor de Base Curva a Elaborar en 3D* 26

Figura 16 *Modelado para la Obtención Final del Retrovisor de Base Plana* 27

Figura 17 *Modelado para la Obtención Final del Retrovisor de Base Curva* 27

Figura 18 *Vista del Plano XY del Retrovisor de Base Plana* 28

Figura 19 *Vista del Plano YZ del Retrovisor de Base Curva* 28

Figura 20 *Modelado 3D Final del Retrovisor de Base Plana* 29

Figura 21 *Modelado 3D Final del Retrovisor de Base Plana* 29

Figura 22 *Consideraciones Iniciales del Retrovisor de Base Plana para la Simulación Aerodinámica* 30

Figura 23 *Área de Proyección del Retrovisor de Base Plana para la Simulación Aerodinámica* 31

Figura 24 *Consideraciones Iniciales del Retrovisor de Base Curva para la Simulación Aerodinámica* 31

Figura 25 *Área de Proyección del Retrovisor de Base Curva para la Simulación Aerodinámica* 32

Figura 26 *Creación de Proyecto para la Simulación Aerodinámica* 32

Figura 27 *Selección de Medidas en el SI* 33

Figura 28 *Condiciones de Frontera* 33

Figura 29 *Selección del Fluido* 34

Figura 30 *Selección de la Velocidad de Flujo de Aire* 34

Figura 31 *Dimensiones del Túnel de Viento Virtual* 35

Figura 32 *Mallado del Retrovisor de Base Plana en el Túnel de Viento* 36

Figura 33 *Mallado del Retrovisor de Base Curva en el Túnel de Viento* 36

Figura 34 *Escala del Criterio de Malla Skewness* 37

Figura 35 *Escala del Criterio de Malla Orthogonal Quality* 37

Figura 36 *Simulación de Presión en Retrovisor de Base Plana* 38

Figura 37 *Simulación de Presión en Retrovisor de Base Curva* 38

Figura 38 *Criterios para Simulación de Comportamiento del Fluido* 39

Figura 39 *Criterios para Simulación de Análisis Estático del Retrovisor de Base Plana* 40

Figura 40 *Selección de Material para Simulación de Análisis Estático del Retrovisor de Base Plana* 41

Figura 41 *Fijación de la Geometría para Simulación de Análisis Estático del Retrovisor de Base Plana* 42

Figura 42 *Aplicación de la fuerza para Simulación de Análisis Estático del Retrovisor de Base Plana* 42

Figura 43 *Creación de mallado para Simulación de Análisis Estático del Retrovisor de Base Plana* 43

Figura 44 *Criterios para Simulación de Análisis Estático del Retrovisor de Base Curva* 44

Figura 45 *Selección de Material para Simulación de Análisis Estático del Retrovisor de Base Curva* 45

Figura 46 *Fijación de la Geometría para Simulación de Análisis Estático del Retrovisor de Base Curva* 46

Figura 47 *Aplicación de la fuerza para Simulación de Análisis Estático del Retrovisor de Base Curva* 46

Figura 48 *Creación de mallado para Simulación de Análisis Estático del Retrovisor de Base Curva* 47

Figura 49 *Área Proyectada* 50

Figura 50 *Área Proyectada*.....51

Figura 51 *Refinamiento de Mallado Retrovisor Base Plana*.....51

Figura 52 *Escala de Colores con Criterio de Skewness en Retrovisor Base Plana* 52

Figura 53 *Escala de Colores con Criterio de Orthogonal Quality en Retrovisor Base Plana*.....52

Figura 54 *Refinamiento de Mallado Retrovisor Base Curva*.....53

Figura 55 *Escala de Colores con Criterio de Skewness en Retrovisor Base Curva* 53

Figura 56 *Contorno de Velocidad del Análisis y Simulación Aerodinámica en Retrovisor Base Plana* 54

Figura 57 *Trayectoria de Velocidad del Análisis y Simulación Aerodinámica en Retrovisor Base Plana* 54

Figura 58 *Representación de la Simulación de Comportamiento del Fluido en Retrovisor Base Plana* 55

Figura 59 *Representación de la Simulación de Comportamiento del Fluido en Retrovisor Base Plana* 55

Figura 60 *Contorno de Velocidad del Análisis y Simulación Aerodinámica en Retrovisor Base Curva*.....56

Figura 61 *Trayectoria de Velocidad del Análisis y Simulación Aerodinámica en Retrovisor Base Curva*.....56

Figura 62 *Representación de la Simulación de Comportamiento del Fluido en Retrovisor Base Curva*.....57

Figura 63 *Representación de la Simulación de Comportamiento del Fluido en Retrovisor Base Curva* 58

Figura 64 *Esfuerzo Principal Tensión Von Mises en Retrovisor Base Plana* 59

Figura 65 *Desplazamiento en Retrovisor Base Plana* 59

Figura 66 *Factor de Seguridad en Retrovisor Base Plana* 60

Figura 67 *Esfuerzo Principal Tensión Von Mises en Retrovisor Base Curva* 61

Figura 68 *Desplazamiento en Retrovisor Base Curva* 61

Figura 69 *Factor de Seguridad en Retrovisor Base Curva* 62

Índice de Ecuaciones

Ecuación 1 Constante del Teorema de Bernoulli.....11

Ecuación 2 Teorema de la Conservación de la Energía.....12

Ecuación 3 Fuerza de Arrastre (F_D).....17

Ecuación 4 Módulo de Young.....19

Ecuación 5 Cálculo del Coeficiente de Arrastre (C_d) para el Retrovisor Base Plana.....56

Ecuación 6 Cálculo del Coeficiente de Arrastre (C_d) para Retrovisor Base Curva.....58

Índice de Tablas

Tabla 1 *Valores Típicos del Coeficiente de Arrastre (*C_d*)*.....18

Tabla 2 *Propiedades del Aire a 1 atm*.....30

Tabla 3 *Comparativa de Resultados Obtenidos en los Retrovisores*.....62

Resumen

En la actualidad todo vehículo de no más de 9 asientos (incluyendo la del conductor) destinado al transporte de personas para uso privado y familiar con fines comerciales, no comerciales y/o de transporte público, también llamados M1, se diseñan de forma tal que su aerodinámica en el carrocería y componentes externos permita el paso del flujo de aire sin que se genere una resistencia y el vehículo pueda desplazarse con libertad manteniéndose sobre el sueldo con el suficiente agarre, así también que el vehículo consuma lo menos posible de combustible con un alto rendimiento y una velocidad adecuada. Por ello se hace necesario el conocer cada uno de los componentes que conforman el vehículo y que se involucran en la aerodinámica del mismo, por ejemplo, los retrovisores externos, alerón delantero, alerón posterior, puertas, entre otros. En el presente proyecto se detalla el análisis, recopila información y compara dos modelos de retrovisores, uno de base plana y otro de base curva, mediante el Diseño Asistido por Computadora (CAD), con la selección de materiales, simulación aerodinámica y análisis estático que se generan con estos programas de Ingeniería Asistida por Computadora (CAE) donde el proceso final es el obtener cuál modelo de retrovisor aplica para vehículos M1. Con ello se establece el análisis desde la forma y la simulación para su posterior comparativa una vez comprobado la seguridad estructural del diseño.

Palabras Clave: *Aerodinámica, análisis estructural, diseño, esfuerzo, retrovisor, simulador.*

Abstract

Currently, any vehicle with no more than 9 seats (including the driver's seat) intended for the transportation of people for private and family use for commercial, non-commercial and/or public transportation purposes, also called M1, are designed in such a way that Its aerodynamics in the body and external components allow the passage of air flow without generating resistance and the vehicle can move freely, remaining on the ground with sufficient grip, as well as allowing the vehicle to consume as little fuel as possible with a high performance and adequate speed. For this reason, it is necessary to know each of the components that make up the vehicle and that are involved in its aerodynamics, for example the external mirrors, front spoiler, rear spoiler, doors, among others. This project details the analysis, compiles information and compares two models of mirrors, one with a flat base and the other with a curved base, using Computer Aided Design (CAD), with the selection of materials, aerodynamic simulation and static analysis that They are generated with these Computer Aided Engineering (CAE) programs where the final process is to obtain which mirror model applies to M1 vehicles. This establishes the analysis from the form and the simulation for subsequent comparison once the structural safety of the design has been verified.

Keywords: *Aerodynamics, structural analysis, design, effort, rearview mirror, simulator.*

Capítulo I

Problema de la Investigación

1.1. Tema de Investigación

Análisis comparativo en la aerodinámica entre dos modelos de retrovisores de base plana y curva aplicados a vehículos M1.

1.2. Planteamiento, Formulación y Sistematización del Problema

1.2.1. Planteamiento del Problema

Dentro del área vehicular es necesario disponer de un vehículo que sea seguro, rápido y confiable, por ello desde sus inicios siempre se ha innovado los modelos en búsqueda del diseño que mejor se acople a la necesidad de la sociedad. Punto de quiebre ha sido la aerodinámica del vehículo en su complejidad estructural como en cada uno de sus elementos que lo estructuran, tales como el diseño de la estructura donde se ha evidenciado que entre más cerca este del piso y su forma sea de una gota el vehículo podrá desplazarse a alta velocidad y con una estabilidad perfecta. Pero como dicho modelo aerodinámico no se adapta a la sociedad se proveen mejoras en las estructuras que arman el vehículo externamente para dar un mejor desempeño en conducción, ahorro de combustible, estabilidad, seguridad y confort, por ejemplo, delineamientos en las puertas para que exista un paso del flujo de aire sin que roce la estructure y la obligue a cabecear, implementación de alerones posteriores para mantener el vehículo sobre el piso cuando el vehículo se desplaza a altas revoluciones, como en detenciones bruscas, la forma de los retrovisores para que actúen de estabilizadores y el vehículo no se desplace en zigzag o a su vez eliminar los retrovisores y mejorar el diseño frontal con respecto a la forma de la carrocería central para que sea un solo cuerpo estable, entre otras innovaciones.

Por lo anteriormente expuesto se define el realizar un análisis comparativo en la aerodinámica entre dos modelos de retrovisores, uno de base plana y otro de base curva, debido a que se requiere determinar el comportamiento aerodinámico que tiene cada uno en su diseño,

para así poder analizar el flujo, turbulencia y la restricción que se genera con el paso del aire en una simulación de que el vehículo se encuentre en movimiento., todo ello basado en la aplicación para vehículos tipo M1.

Dentro del planteamiento del problema del estudio investigativo presente está la reducción a la resistencia, turbulencia, separación del flujo, perfil crítico, sustentación entre otros.

1.2.2. Formulación del Problema

¿Cuál(es) es el proceso metodológico apropiados interviniente en la aerodinámica de un retrovisor en vehículos M1, que permitan un mejor rendimiento, estabilidad, ahorro de combustible y seguridad del vehículo?

Con la formulación del problema se pretende la viabilidad de plantearse objetivos a alcanzar con el proyecto en mención bajo las restricciones y los parámetros de análisis en diseño mediante la cual se orienta el proceso de metodología del análisis de flujo, turbulencia y la restricción en la cual se genera con el paso del aire flujo.

El problema presente de manera estructural se formula por medio de:

La descriptiva del elemento por medio de la tipificación de la geometría del retrovisor base plana y curva para de esta forma analizar la aerodinámica en su contexto.

Tomando en cuenta las restricciones que se presentan como son la reducción a la resistencia, turbulencia, separación del flujo, perfil crítico, entre otros.

Cálculo de ecuaciones rectoras que influyen en la aerodinámica para determinar la comparativa de cuál retrovisor se adapta para vehículos tipo M1.

1.3. Sistematización del Problema

- ¿Cómo se describen los pasos de flujo?
- ¿Cuál es el tipo de metodología para modelar el diseño tridimensional del retrovisor de base plana y uno de base curva?

- ¿Qué parámetro dominante en el estudio, análisis y comprensión de la aerodinámica para elementos sólidos?
- ¿Cuáles son las ecuaciones clave que se consideran para el análisis de flujos, turbulencias y resistencias al aire?
- ¿Cuáles son los criterios para la comparativa aerodinámica entre dos modelos de retrovisores?

1.4. Objetivos de la Investigación

1.4.1. Objetivo General

- Analizar comparativamente la aerodinámica en dos modelos de retrovisores, base plana y curva, aplicadas a vehículos M1.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Investigar sobre los conceptos aerodinámicos aplicados al sector de la industria automotriz.
- Realizar un análisis de los flujos de aire que pasan por cada retrovisor para conocer su efectividad aplicada en vehículos M1.
- Generar un modelo tridimensional de un retrovisor de base plana y curva con su respectiva simulación aerodinámica.

1.5. Justificación e Importancia de la Investigación

1.5.1. Justificación Teórica

Una vez establecido, formulado y concretado los objetivos del presente proyecto comparativo se proceden a delimitar por espacio geográfico donde se llevará a cabo el estudio, así también las respectivas justificaciones de la investigación respondiendo a las interrogantes formuladas para el proceso y que a continuación se detallan:

El análisis actual de ingeniería está justificado en la necesidad de comparar cuál tipo de retrovisor es más aplicable en vehículos tipo M1. Para lo cual se dispone de dos retrovisores,

uno de base plana y otro curvo, en el que se analizará la aerodinámica para conocer la efectividad de paso de flujo, turbulencia que se genera y resistencia al choque de aire con una simulación estructural ideal, para de esta forma analizar mecánica de diseño, separación del flujo y mejora del perfil crítico.

Lo que se pretende analizar es la aerodinámica aplicada en elementos solidos como lo es el retrovisor, sea desde el diseño hasta la resistencia crítica en un montaje en el vehículo M1 que permita al mismo la estabilidad, rendimiento óptimo y seguridad en conducción.

Por consiguiente, el presente estudio ofrece una comparativa con análisis matemático y de ingeniería mecánica.

1.5.2. Justificación Metodológica

La justificativa metodológica inteviniente en el estudio actual es la aerodinámica con fundamento de tipo experimental, comparativo, cuantitativo y cualitativo, debido a que se realiza un análisis comparativo del flujo de aire que pasa a través de un retrovisor y cómo este influye en el vehículo M1.

El estudio está basado en la reducción de la resistencia al flujo de aire, la turbulencia, separación del flujo externo y perfil crítico, para ello se aplica una metodología experimental donde el análisis y simulación por medio de un túnel de viento virtual que permitirá dimensionar una gama amplia de configuraciones geométricas que contribuirán a analizar y llegar a las conclusiones de comparativa en la estructura, identificación de corriente de flujo y los patrones de diseño que maximizan su eficiencia en su aplicación, tratando siempre que no se alcance a comprometer la configuración del vehículo, seguridad, rendimiento y consumo de combustible. En el caso de la simulación numérica lo que se desea alcanzar es obtener los valores de las ecuaciones rectoras que rigen para la aerodinámica. Por consiguiente, al generar el proceso de simular, comparación y evaluar las directrices de estudio, todo resultado obtenido será basado en los diferentes parámetros de la aerodinámica aplicada a elementos sólidos.

Por lo mencionando con anterioridad explicado está justificada la metodología utilizada que busca integrar técnicas de avanzada generación en el análisis y simulación técnico ingenieril, que permiten de manera precisa obtener el enfoque basado en datos y conclusiones numéricas.

Cuando se toma en cuenta la geometría de diseño, resistencia dinámica eficaz, se proyecta aseverar el resultante de modelo de retrovisor utilizable, funcional y real.

1.5.3. Justificación Práctica

La justificativa práctica en el presente estudio está fundamentada en el diseño real, flujo de aire y aplicación de un retrovisor sea plano o curva según se determine en el proceso técnico. Dentro de los resultados que se pretenden conseguir con la simulación numérica, comparativa y diseño estructural se detallan a continuación:

- Intervención en el rendimiento de vehículo M1 por medio de un retrovisor sea de base plana o curva con un óptimo diseño para la conducción del aire, minimización de la resistencia, menor punto de choque de aire. Teniendo en cuenta que el diseño geométrico asegure que al ser aplicado no afecte a la seguridad y rendimiento del vehículo, siendo eficiente en su complejidad.
- En cuanto a la comparativa de los retrovisores en estudio permitirá analizar la reducción a la resistencia, turbulencia, separación del flujo, perfil crítico, sustentación, entre otros, que contribuirá a saber cuál aplica a vehículo M1 aportando al rendimiento y seguridad, debido a que por medio de este proceso se identifica la aerodinámica del elemento, pero con la consideración de que a través de este proceso también se deja un principio para estudios futuros.
- El bajo valor de fabricación se traduce en los mínimos análisis de simulación física de error y prueba al que se induce los elementos de estudio, ya que su mayor parte está

simulada por software, y con ello al diseñarse computacionalmente el elemento se identifica los materiales y geometría que contribuya a las necesidades requeridas.

- Rendimiento y seguridad de conducción del vehículo mejorada, por el motivo que se determina el emplear un elemento constitutivo con una geometría aplicada a dar estabilidad, rendimiento y eficiencia de consumo de combustible, y eficacia en forma directa en las diferentes formas de conducción, y alcanzando así la absoluta mejora en lo correspondiente a seguridad total y minimización de peligros en la falla estructural.
- En lo que compete al desarrollo innovativo y análisis ingenieril del actual proyecto está el uso de procesos analíticos tales como el diseño, análisis de estructuras y análisis de flujos.

Por lo mencionado de forma puntualizada se resume que la justificativa práctica está enfocada en generar un potencial análisis, debido a que se pasará de técnicas y discernimiento teórico en pasos reales y tangibles, los mismos que aportan a innovar la industria mecánica, al estudiar y optimizar procesos de diseño de componentes con intervención en la aerodinámica del automóvil, interviniendo en la seguridad, eficacia, eficiencia y rendimiento del vehículo, estimulando a un impacto positivo en el campo mecánico-automotor.

1.5.4. Delimitación Temporal

De acuerdo con la planificación establecida para el presente trabajo investigativo tiene una proyección de tiempo que inicia el 20 de mayo de 2024 y finalizaría el 8 de septiembre de 2024, tiempo en el cual se lleva a cabo cada una de las fases en las que de manera cronológica se cumplirán con los objetivos planteados hasta llegar a su culminación.

1.5.5. Delimitación Geográfica

El presente estudio se lleva a cabo en las instalaciones de la Escuela de Ingeniería Automotriz de la Universidad Internacional del Ecuador extensión Guayaquil, tanto en la parte teórica, así como práctica con la utilización de los laboratorios con que cuenta la institución.

1.5.6. Delimitación del Contenido

El trabajo actual se halla estipulado bajo el cerco de conceptos y teórico para la comparación de análisis estructural, así como del diseño, la simulación numérica y mallado de los retrovisores en estudio, por medio del proceso investigativo que está basado en bibliografías teóricas y técnicas, así como de artículo científico, páginas web, estudios de titulación, entre otras, que se distribuyen de la mejor manera posible con el fin de alcanzar los objetivos planteados.

La estructuración del marco teórico como es se muestra en 4 capítulos de párrafos de textos con sus recomendaciones y conclusiones respectivas. En cuanto a la investigativa estará parametrizada acorde a la delimitación e inclusiva de la forma siguiente:

Lo concerniente a la limitativa se establece:

- Poseer el enfoque en la simulación aerodinámica y analítica estructural de los retrovisores.
- Aplicación simuladora numérica por medio de ecuaciones rectoras del flujo y resistencia para simular un túnel de viento virtual bajo distintos parámetros.
- Consideración en las limitaciones y fines, como lo es la ampliación de la eficacia que tendrá el elemento en análisis e impacto en la aplicabilidad que va tener.
- Evaluación de los resultados obtenidos en los que se incluyen flujo de aire, resistencia, turbulencia, separación del flujo, perfil crítico, sustentación entre otros que garantizará la integridad estructural propia y ajena.
- Por último, el enfoque de su uso en vehículos M1 y seguridad del mismo donde se instalará el prototipo.

Lo concerniente a la limitación se detalla:

- Restricción total de otros procesos de análisis de ingeniería no relacionada con el estudio de componentes estructurales.

- No se pretende el incluir ningún otro componente anexado al vehículo que no sea más que el retrovisor en su contexto.
- No se abordará otro tipo de analítica como lo son materiales o reparos de trabajo una vez instalado en el vehículo.

1.6. Alcance

El alcance del presente estudio se centraliza en la comparativa de dos retrovisores con su respectiva simulación numérica. Se incluirá la concentración de simulaciones por elementos finitos para modelaje del paso del flujo de aire y comportamiento de estructura. El estudio incluirá las ecuaciones base de la aerodinámica para elementos sólidos, resistencia, turbulencia, separación del flujo, perfil crítico, sustentación entre otros.

Por consiguiente, no se consideran aspectos relacionados con la producción ni costos de fabricación. El estudio se enfoca únicamente en el diseño y simulación numérica de los retrovisores en el punto aerodinámico.

Para determinar el modelo óptimo se realiza una comparativa entre los dos retrovisores mediante los resultados obtenidos en MOD_0 y MOD_1, con un análisis estático de presiones producidas por el aire a 60 Km/h, 90 Km/h y 120 Km/h, con ello se determina que diseño geométrico resiste desde una presión baja hasta una presión crítica de corriente de aire.

Capítulo II

Marco de Referencia

2.1. Retrovisor

Para la Empresa (Jeep, 2023) “Los retrovisores son más complejos de lo que se supone… tiene que pasar más de cien pruebas… La innovación ha permitido incorporar nuevas funciones, por ejemplo: movimiento eléctrico, calentadores del cristal, sensores de temperatura, memoria de posiciones, integración de intermitentes…”.

Los retrovisores son un elemento funcional que posee todo vehículo, se ubican tanto al lado izquierdo como derecho de este y uno en la parte central interna. Ver Figura 1.

Figura 1

Retrovisor

Fuente: (Jeep, 2023)

Estos componentes están diseñados para facilitar al conductor a ver el espacio o área que se encuentra al costado y detrás del vehículo, permite observar el tráfico a la izquierda y derecha del vehículo. Los espejos retrovisor interno y lateral son del tipo convexos. El 49 CFR & 571.111 – Norma N.° 111; Visibilidad trasera del (Legal Information Institute, 2014) menciona que “cada vehículo de pasajeros tendrá un espejo exterior de aumento unitario.

El espejo proporcionará al conductor una vista de una superficie nivelada de la carretera que se extiende hasta el horizonte desde una línea, perpendicular a un plano longitudinal

tangente…". Así también la misma Norma N.° 111; Visibilidad trasera del (Legal Information Institute, 2014) indica que "…al lado del conductor del vehículo en el punto más ancho, que se extiende 2.4 m fuera del plano tangente. 10.7 m detrás de los ojos del conductor, con el asiento en la posición más retrasada…".

Entre las características del retrovisor están:

- Visión.
- Ajuste.
- Abatible o fijo.
- Estructura y composición de material
- Iluminación y estilo

2.2. Aerodinámica

Para (De la Cavada, 2022) en su documento de Aerodinámica menciona que "la aerodinámica estudia las fuerzas que un viento relativo ejerce sobre un obstáculo sumergido en él".

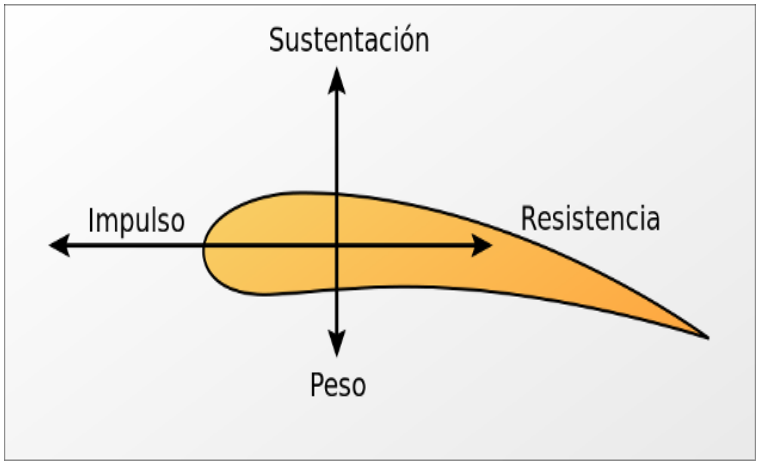
Por ende, las aplicaciones de la aerodinámica repercuten a otras zonas por el efecto de arrastre que es inherente de técnicas y ciencias en avance.

La aerodinámica es el segmento de la mecánica de fluido que analiza el gas en desplazamiento y la reacción o fuerzas a la que está influenciados el cuerpo que se encuentra en su contexto.

Acorde con la velocidad relativa de un móvil o el número Mach con respecto al flujo de aire, la aerodinámica se fragmenta en supersónica y subsónica acorde a dicho número sea superior o inferior a la unidad. Ver Figura 2.

Figura 2

Representación de la Aerodinámica



Fuente: (De la Cavada, 2022)

2.3. Teorema de Bernoulli

Daniel Bernoulli comprobó de forma experimental que “la presión interna de un gas o líquido (fluido) deteriora en la medida que la velocidad del fluido se aumenta, en otras palabras, que un fluido en desplazamiento es la suma de la velocidad y la presión en un punto cualesquier permanecerá constante”. Ver Ecuación 1.

Ecuación 1

Constante del Teorema de Bernoulli

$$k = p + v$$

Donde:

k = constante

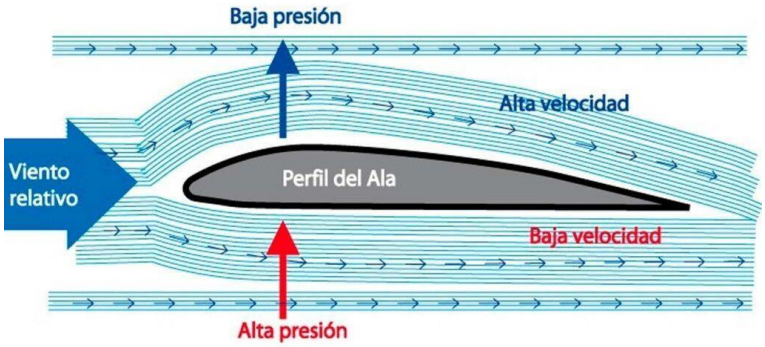
p = presión

v = velocidad

En la Figura 3 se representa el Teorema de Bernoulli

Figura 3

Representación del Teorema de Bernoulli



Fuente: (De la Cavada, 2022)

El teorema de Bernoulli se puede considerar como la derivación de la ley de conservación de la energía, debido a que el aire está dotado de presión (p) y este aire con una densidad (d) fluye a una velocidad (v) en la que contiene energía cinética lo mismo que cualquier otro objeto en movimiento.

Cuando las partículas de aire suben la velocidad es por disminución de la presión e inversamente, esto ocurre con velocidades menores al del sonido, debido a que en ese momento ocurren otras circunstancias que afectan esta relativa.

2.4. Efecto Venturi

El físico italiano Giovanni Battista Venturi, evidenció de forma experimental que en el desplazarse por una angostura la partícula del fluido sube su velocidad. Es consecuencia inmediata del teorema de Bernoulli y de la ecuación de la continuidad.

El efecto Venturi se genera cuando el fluido transita por el estrechamiento de un canal; a medida que un fluido se aproxima al canal la velocidad sube, a la par que la presión estática baja; y cuando se aparta del canal la velocidad baja y la presión estática sube.

En la Ecuación 2 se muestra la teoría de la conservación de la energía.

Ecuación 2

Teorema de la Conservación de la Energía

$$\frac{v_1^1}{2g} + \frac{P_1}{y} + z_1 = \frac{v_2^1}{2g} + \frac{P_2}{y} + z_2$$

Donde:

y = peso específico

P = presión en el punto estudiado

z = altura en vertical

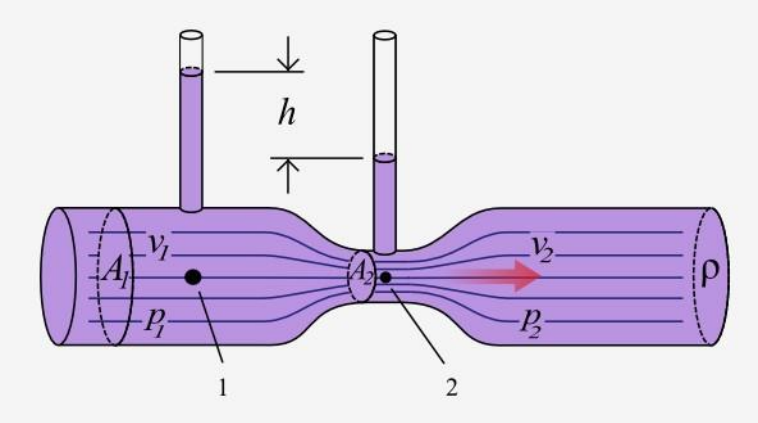
g = aceleración gravitatoria

v = velocidad del fluido en la sección estudiada

En la Figura 4 se muestra de forma gráfica el efecto Venturi.

Figura 4

Efecto Venturi



Fuente: (Grupo One Air, s.f)

2.5. Tercera Ley del Movimiento de Newton

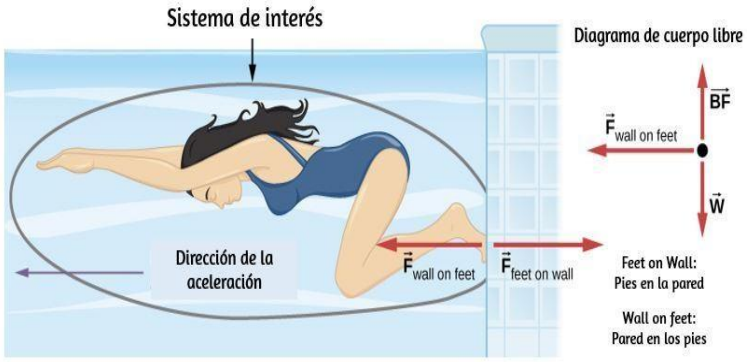
En la 3ra ley de Newton corresponde a una ley de principio de reacción y acción que dice: “cada vez que un cuerpo ejerce una fuerza sobre un segundo cuerpo, el primer cuerpo experimenta una fuerza que es igual en magnitud y opuesta en dirección a la fuerza que ejerce”.

La Figura 5 muestra como cuando una nadadora aplica la fuerza sobre la pared y se produce una aceleración en dirección oponente; en otros términos, que la fuerza externa total en la chica está en la dirección contraria a la fuerza de la pared en los pies. El sistema de interés

se muestra en la línea alrededor de la mujer nadadora. El diagrama de cuerpo libre muestra solo la fuerza de la pared en la palma de los pies, la fuerza gravitatoria y fuerza de flote del agua que sustenta el peso de la chica (BF).

Figura 5

Tercera Ley de Newton



Fuente: (Rivera Berrío, 2022)

2.6. Ángulo de Ataque

Ángulo de ataque es de aquellos fundamentos mayormente utilizados e influyentes de la aerodinámica, dado que varios de los datos críticos relacionados al rendimiento de un cuerpo se relacionan al ángulo de ataque, tales como:

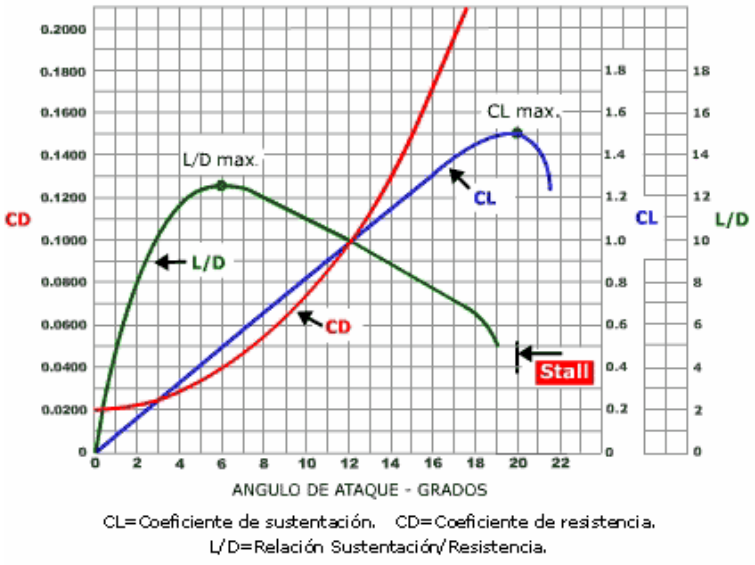
- La falta de flujo se ocasiona con el ángulo de ataque específico.
- El dominante ángulo de ascenso se relaciona con el ángulo de ataque.
- La velocidad de ascenso se genera con el ángulo de ataque específico.
- El índice de descenso más bajo se produce con el ángulo de ataque específico.

Dependiendo del ángulo de ataque se podría controlar la velocidad, sustentación, resistencia, entre otros, debido a que controla directamente la distribución de presiones abajo y arriba.

En la Figura 6 se representa un modelo de la variación del coeficiente de resistencia y sustentación en aplicación del ángulo de ataque.

Figura 6

Ángulo de Ataque



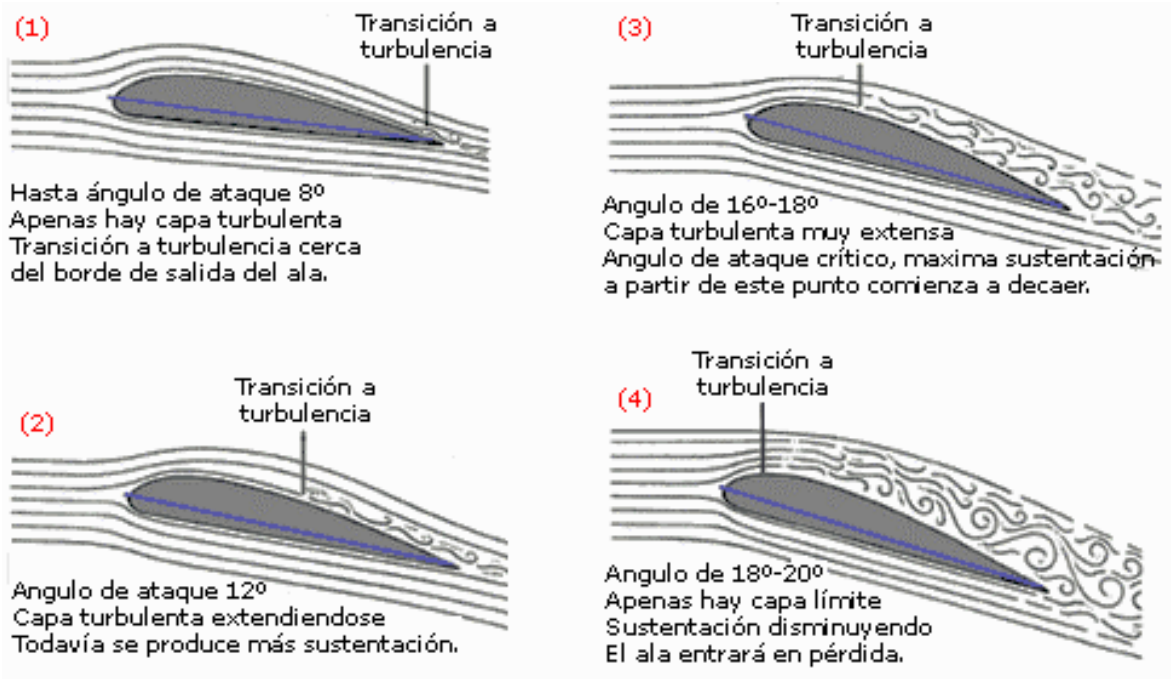
Fuente: (Grupo One Air, s.f)

2.7. Tipos de Flujos

Dependiendo las características del flujo se clasifican de acuerdo con los siguientes criterios:

Figura 7

Transición a Turbulencia



Fuente: (Grupo One Air, s.f)

- Rotacional: el componente del fluido en un sitio determinado dispone una velocidad angular total alrededor de ese sitio.
- Irrotacional: el elemento del fluido en un sitio determinado no dispone una velocidad angular total alrededor de ese sitio.
- No estacionario: si la densidad y velocidad del flujo en un determinado punto dependen del tiempo.
- Estacionario: cuando la densidad y la velocidad del flujo en un determinado punto no dependen del tiempo.
- Incompresible: si la densidad mínimamente varía. Aplica en el caso los fluidos líquidos.
- Compresible: cuando la densidad en el mismo varia. Aplica en el caso de los gases.
- No viscoso cuando las fuerzas de rozamiento entre las capas de fluido son muy pequeñas o bien no se tienen en cuenta.
- Viscoso: si aparecen en el fluido significativa fuerza de rozamiento que no se podrían discriminar.
- Turbulento: el flujo fluye en forma desorganizada, tanto en su velocidad como en su dirección.
- Laminar: cuando el fluido se lo considera que se desplaza en capas uniformes llamadas láminas.

Estas dos últimas son las que se aplican para cuerpos sólidos, debido que el flujo de laminar pasa a turbulento cuando:

- Alteraciones del mismo flujo.
- Hay cambios en la velocidad de flujo.
- Si la presión estática baja en el recorrido a través del flujo por ende las variaciones en el flujo se atenúan generando un aumento de presión
- Rugosidad de la superficie en la que fluye.

2.8. Fuerza de Arrastre (F_d)

(Connor, 2019) menciona que "depende de la densidad del fluido, la velocidad hacia arriba y el tamaño, la forma y la orientación del cuerpo, entre otras". De igual manera que la fricción, F_d es opositora al desplazamiento de un cuerpo, y es proporcionalmente a cualquier función de las velocidades del cuerpo en los fluidos, pero esta función es difícil y dependen de la geometría del elemento, forma, fluido y su propia velocidad en el que se halla. Para la mayor parte de cuerpos grandes por ejemplo un ciclista, automóviles y pelota de béisbol que no se desplazan demasiado lento, la magnitud de la fuerza de arrastre es proporcionados al cuadrado de la velocidad del cuerpo. Ver Ecuación 3.

Ecuación 3

Fuerza de Arrastre (F_D)

$$F_D = \frac{1}{2} C_d p A v^2$$

Donde:

F_D = fuerza de arrastre

p = densidad del fluido

A = área del objeto que está frente al fluido

C_d = coeficiente de arrastre

Los fabricantes de vehículos buscan bajar la F_D para poder bajar tiempos de carrera.

La forma de la aerodinámica del vehículo puede bajar la F_D y así disminuir el consumo de combustible de un vehículo. En la Tabla 1 se muestra valores típicos del coeficiente de arrastre (C_d).

Tabla 1

Valores Típicos del Coeficiente de Arrastre (C_d*)*

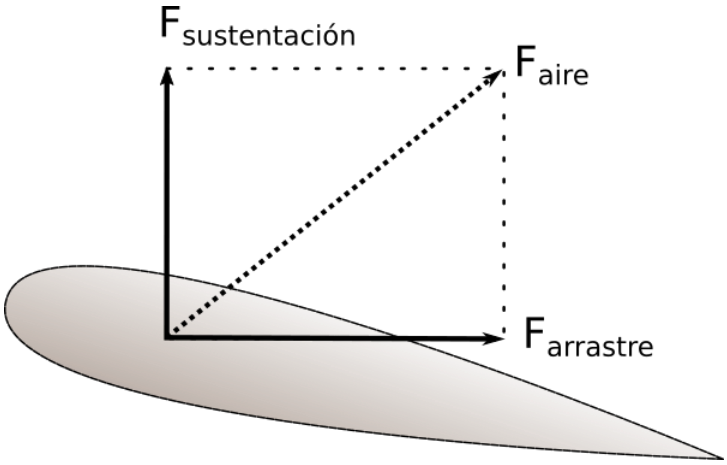
Objeto	**C_d**
Superficie aerodinámica	0.05
Honda Civic	0.36
Ford Focus	0.32
Hummer H2 SUV	0.64
Ferrari Testarossa	0.37
Esfera	0.45
Bicicleta	0.90
Toyota Camry	0.28
Dodge Ram Pickup	0.43
Plato plano circular	1.12

Fuente: (Rivera Berrío, 2022)

En la Figura 8 se muestra una representación de una prueba de fuerza de arrastre en un avión.

Figura 8

Representación de la Fuerza de Arrastre



Fuente: (Rivera Berrío, 2022)

2.9. Módulo de Young

Es también llamado módulo de elasticidad o módulo de elasticidad longitudinal, que es la propiedad mecánica de los materiales que muestran su resistencia y rigidez a la deformación

elástica al momento de aplicar una fuerza externa. Se conceptualiza como la correlación entre la deformación unitaria y el esfuerzo en la dirección longitudinal del material. Ver Ecuación 4.

Ecuación 4

Módulo de Young

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

Donde:

ε = deformación unitaria

σ = esfuerzo en Pa

E = módulo de Young en Pascales (Pa)

2.10. Modelo de Turbulencia Shear Stress Transport (SST)

(An y Fung, 2018) indican que el SST es un modelo de turbulencia de viscosidad de Foucault de ecuaciones que une los méritos de ambos el k – omega (k – ω) y k – *epsilon* (k – ε), que varían formulando fuera de la capa límite por medio de funciones de fusión, dependiendo de la escala de longitud de turbulencia. La adopción de un k – ε en los regímenes externos elimina la desventaja de la sensibilidad a las propiedades de turbulencia de la corriente libre de entrada, mientras que la adopción de capa k – ω en los regímenes internos de una capa límite permite aplicar de forma directa el modelo hasta la pared. (Brecht et al., 2018) mencionan que el modelo SST para evitar la difusión de las ondas de alta inclinación generan un amortiguamiento importante de las olas, dicha amortiguación es provocada por el aumento de la viscosidad turbulenta alrededor del agua y el aire.

2.11. Software de Ingeniería Mecánica y Diseño Asistido por Computadora (CAD)

Se ha innovado las ciencias aplicadas en la ingeniería y campo de la mecánica permitiendo que el CAD produzca la visualización previa, el estudio, comunicación y análisis previo a la producción y fabricación de un componente físico real. El CAD tiene en su haber un uso ampliado de varios instrumentos de computación que los profesionales de gráficos

operan en el desarrollo de su trabajo sea para la ingeniería, diseño gráfico, arquitectura, entre otras. Ver Figura 9.

Figura 9

Pantalla del Software AutoCAD 2023

Fuente: (Frausto-Robledo, 2022)

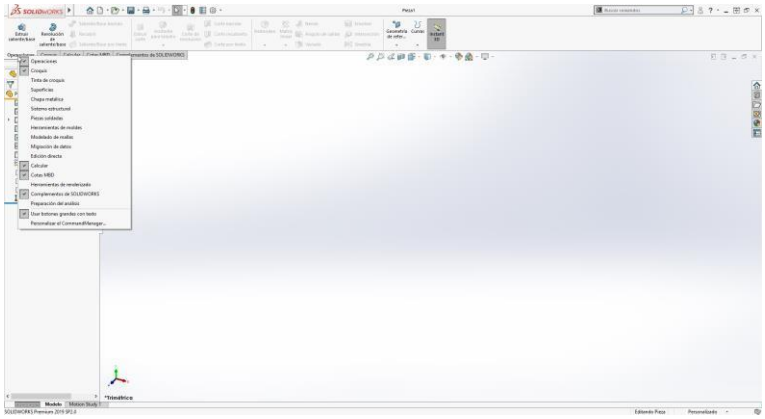
2.11.1. SolidWorks

El Software SolidWorks (ver Figura 10) tienen en su haber un conjunto de herramientas profesionales para el diseño arquitectónico, mecánico, de ingeniería, estructural, entre otros, de igual forma permite la visualización, comparación, documentación y simulación de componentes en 3D. De forma que permiten integrar los datos en 3D y 2D en un medio único, permitiendo el generar una figuración virtual del elemento terminado que permita analizar el ajuste, la forma, diseño paramétrico y puesta en marcha del componente generado, previo a su producción, con lo cual se genera componentes acabados mejores y reducción de los costos de fabricación. A través de la biblioteca virtual se permite escoger componentes estándar de contenido personalizable como engranaje, acero, conexión por perno, tubos, levas, tornillería,

entre otros. Por cuanto, se determina que el software en evocación es ajustable al proyecto en mención porque contribuye a que se realice una simulación de entorno y numérica aplicado en retrovisores, en otras palabras, antecedentemente al diseño 3D en el software se puede realizar el boceto en 2D, las valoraciones bajo método de elemento finito, turbulencias, evaluación de flujo, aerodinámica, entre otras. Y con ello determinación de cuál retrovisor es aplicable a vehículos M1.

Figura 10

Pantalla Principal del Software SolidWorks 2021



Fuente: (Vera, 2017)

Capítulo III

Metodología

3.1. Métodos

Los métodos de investigación para el análisis comparativo de los retrovisores involucran la aplicación de simulación por elemento finito en observación del diseño de estructura y puntos críticos. Una simulación basada está basada en ecuaciones rectoras que exploran configuraciones geométricas eficientes, minimizando el peso del elemento y resistencia a la corriente de aire. Estos métodos combinan el diseño estructural y una simulación exacta con enfoque algorítmico con obtención de un diseño idóneo, seguro y aplicable a vehículos M1.

3.2. Tipo de Estudio

El estudio se desglosa como la investigativa analítica, experimental y aplicada; utilizando la simulación de la aerodinámica, flujos de aire, densidad, resistencia y velocidad. El análisis comparativo se fundamenta en la atención de técnica de ingenieril mecánica en el argumento físico, con el fin de hallar el tipo de retrovisor que aplique para vehículos M1, contribuya a una mejora del rendimiento del vehículo, seguridad de este y bajo consumo de combustible al momento variar las velocidades de desplazamiento. Se utilizan fundamentos de datos y resultado de simulación para las recomendaciones y conclusiones.

3.2.1. Investigación Descriptiva

En la investigación descriptiva se fundamenta por una manipulación deliberada y de forma controlada la variable en el medio y así entender los efectos y relación causal. En esta visión, se modela experimentos con conjuntos de análisis y control, y se archivan y caracterizan fundamentos cuantitativos. El fin es la investigación y validación de la hipótesis científica, indagar relación de efecto y causa, y establecimiento de conclusiones fundamentadas en certidumbre experimental.

3.2.2. Método Descriptivo

Al usar esta metodología se puede analizar, comparar y concluir que por medio del propuesto proceso se podrá llegar a un adecuado análisis numérico y experimental, así como también el análisis geométrico y de estructura con la que se conseguirán valores para caracterizar y razonar cada juicio y alcanzar una resolutiva.

3.3. Materiales

El enfoque sistemático y de los procesos a seguir aporta a elaborar el presente análisis de comparación con análisis del flujo de aire y simulación numérica de dos retrovisores, con el desarrollo, evolución, modelado y simulación de la estructura por medio de la creación de un túnel de viento virtual para obtener los resultados aerodinámicos requeridos.

Así también se implementa ecuaciones de optimización a través de software de diseño asistido por computadora, y así determinar el modelo de retrovisor más aplicable en vehículos M1.

Las resultantes obtenidas se canalizan a analizar y comparar mediante los fundamentos de la aerodinámica presente, como también el diseño estructural ideal a obtener, seguridad del y para el prototipo en que se aplique y seguridad de este.

Cada uno de estos parámetros metodológicos se presenta a continuación:

- Modelado y análisis de la geometría de los retrovisores.
- Proceso de análisis aerodinámico mediante dinámica de fluidos computacional (DFC).
- Análisis estático.
- Interpretación, evaluación de resultados y determinación del modelo óptimo.

3.4. Modelado y Análisis de Retrovisores Mediante SolidWorks

Se establece dos modelos de retrovisores de geometrías de diseño diferente (plano y curvo), que se diseñaran mediante SolidWorks a escala real para obtener resultados no

aproximados y si contundentes para cumplir con el objetivo del proyecto. Previo a ello se dispone del bosquejo del diseño en 2D para poder pasarlo a un diseño 3D. Ver Figura 11.

Figura 11

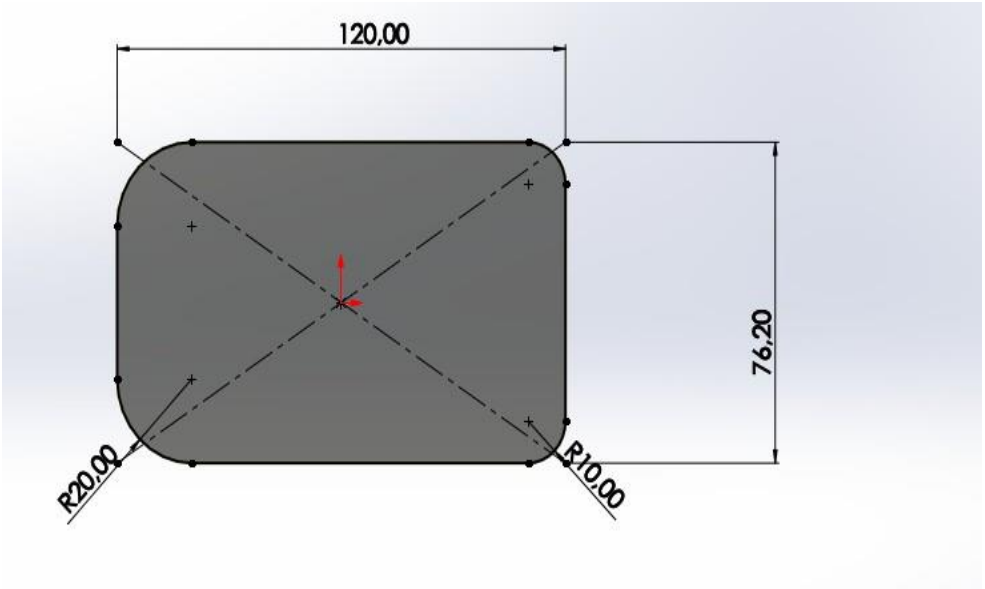
Imagen de los Retrovisores a Comparar

Para el diseño en el software se debe considerar el grosor de cada retrovisor para poder valorar sus datos reales.

En la Figura 12 se muestra el plano del diseño del retrovisor de base plana.

Figura 12

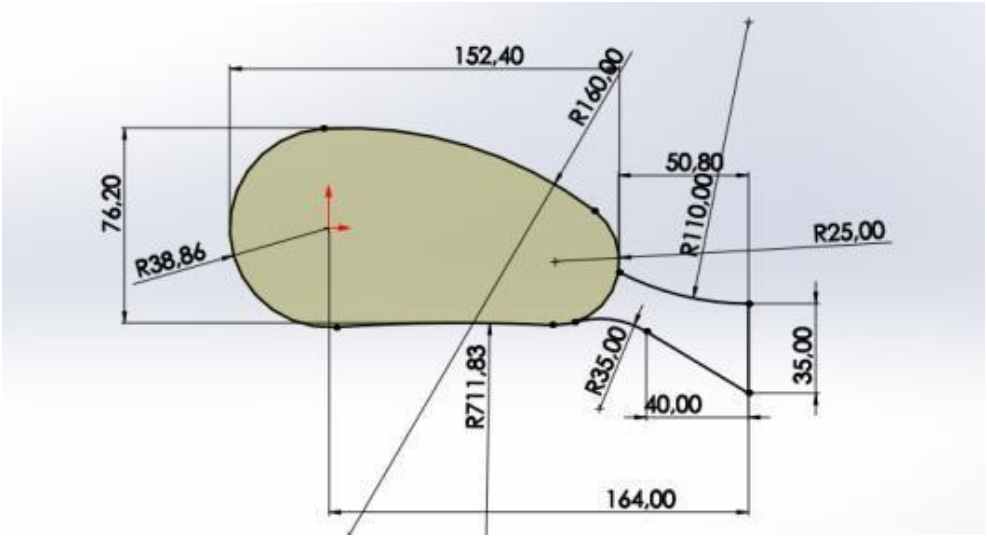
Plano del Retrovisor de Base Plana a Elaborar en 2D



En la Figura 13 se muestra el plano del diseño del retrovisor de base curva.

Figura 13

Plano del Retrovisor de Base Curva a Elaborar en 2D

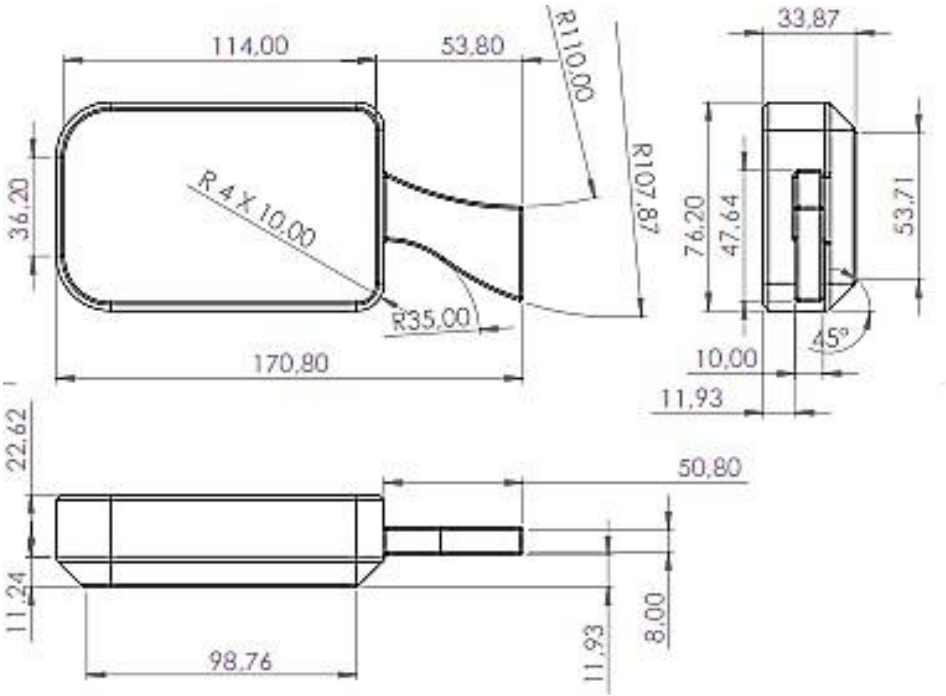


En el proceso siguiente se realiza la extrusión para trasladar el modelo 2D a 3D para cada retrovisor a diseñar de la siguiente manera:

- Para el retrovisor de base plana (ver Figura 14) donde las líneas planas se estiran a la medida requerida en el plano XY según el diseño del plano que previamente se dibuja en borrador.

Figura 14

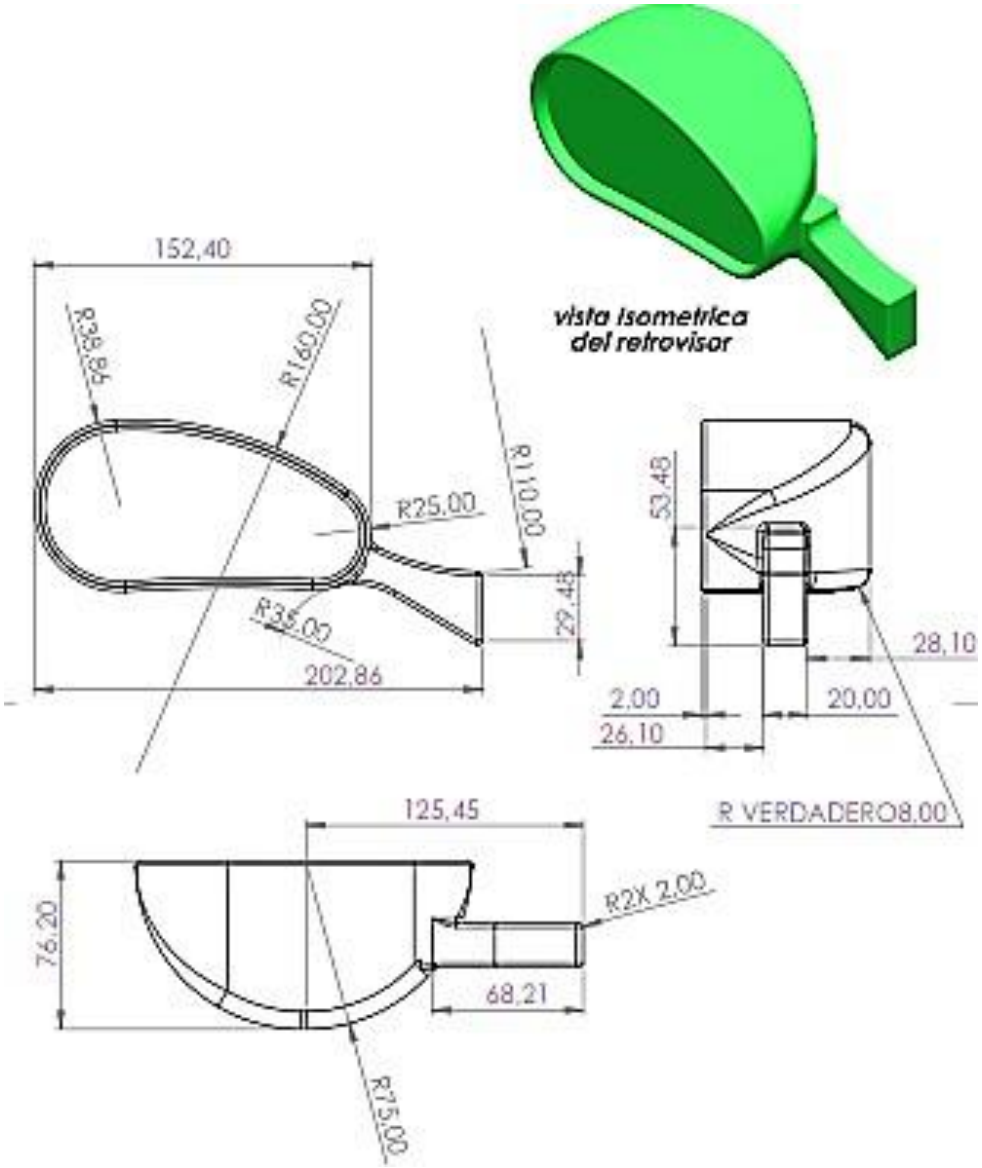
Plano del Retrovisor de Cara Plana a Elaborar en 3D



- Para el retrovisor de base curva (ver Figura 15) de igual manera las líneas planas se estiran a la medida requerida en el plano XY según el diseño del plano que previamente se dibuja en borrador.

Figura 15

Plano del Retrovisor de Base Curva a Elaborar en 3D

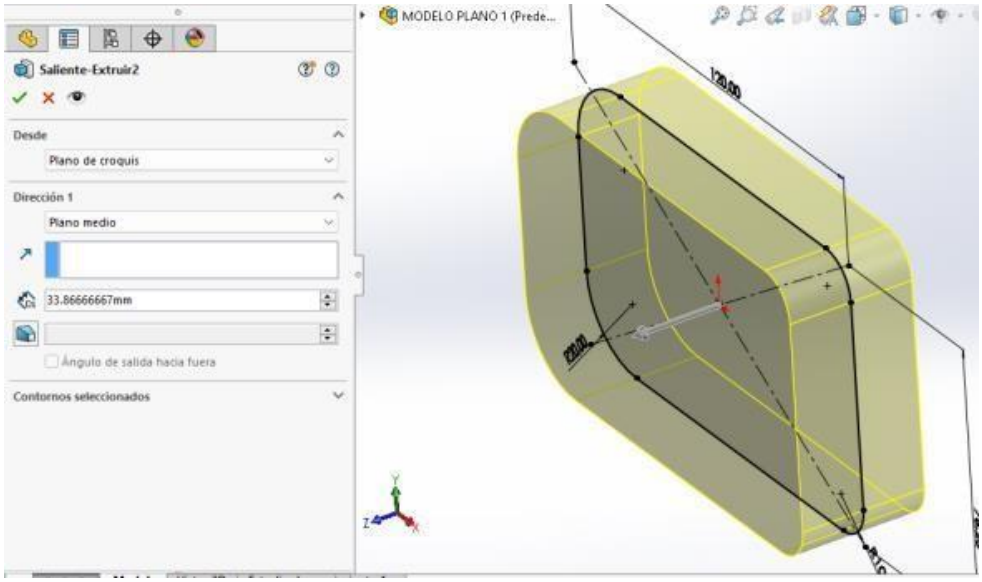


Se procede a concebir el perfilado de los ángulos internos y externos, así también de los espesores de la siguiente manera:

- Para el retrovisor de base plana: en la Figura 16 se muestra el modelado para la obtención final del retrovisor indicando las zonas que se realizaron la obstrucción para obtener el diseño 3D y poder analizar.

Figura 16

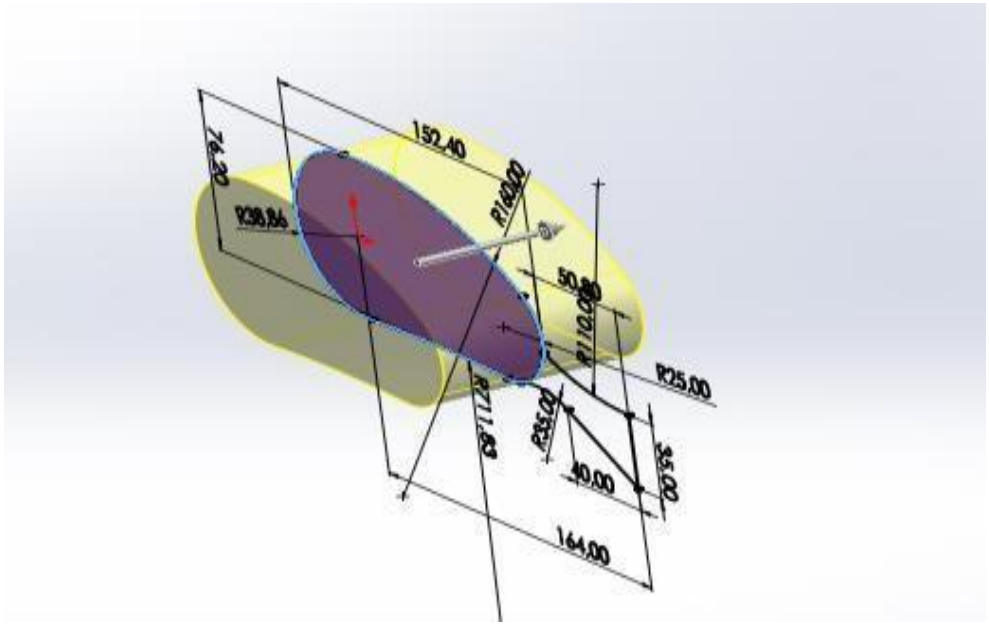
Modelado para la Obtención Final del Retrovisor de Base Plana



- Para el retrovisor de base curva: ver Figura 17.

Figura 17

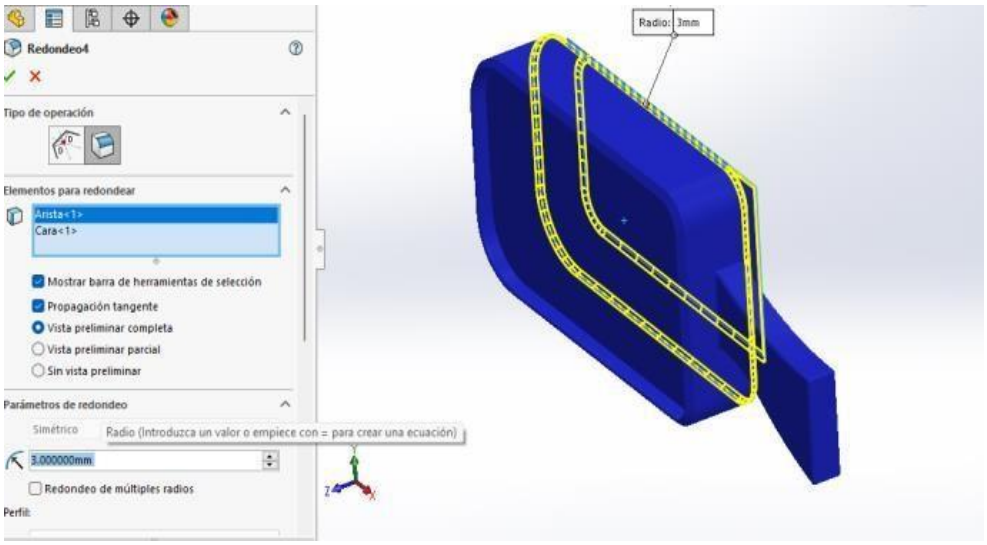
Modelado para la Obtención Final del Retrovisor de Base Curva



En la Figura 18 se observa la vista en el plano XY del retrovisor de base plana ya terminado, y consecuentemente definida la zona de importancia de análisis.

Figura 18

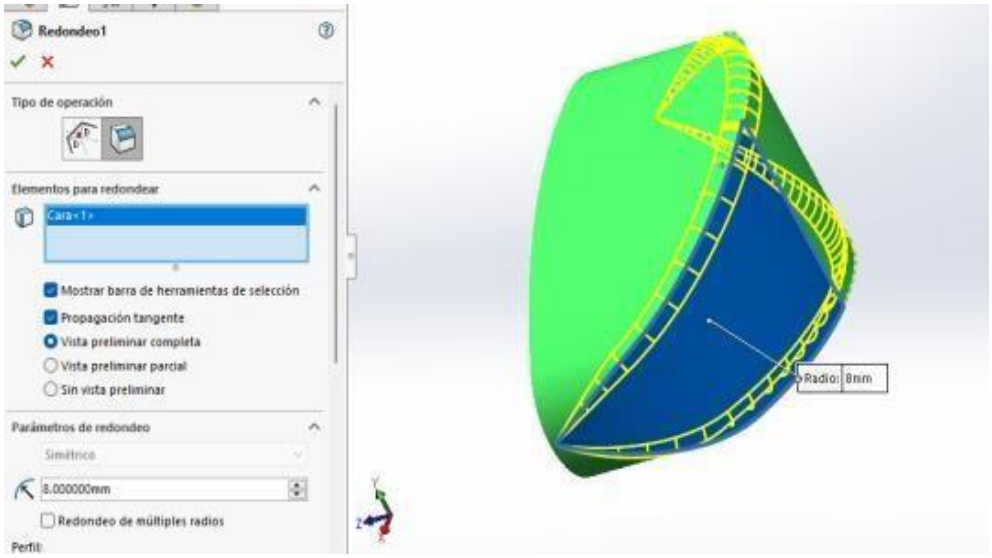
Vista del Plano XY del Retrovisor de Base Plana



En la Figura 19 se observa la vista en el plano YZ del retrovisor de base curva ya terminado.

Figura 19

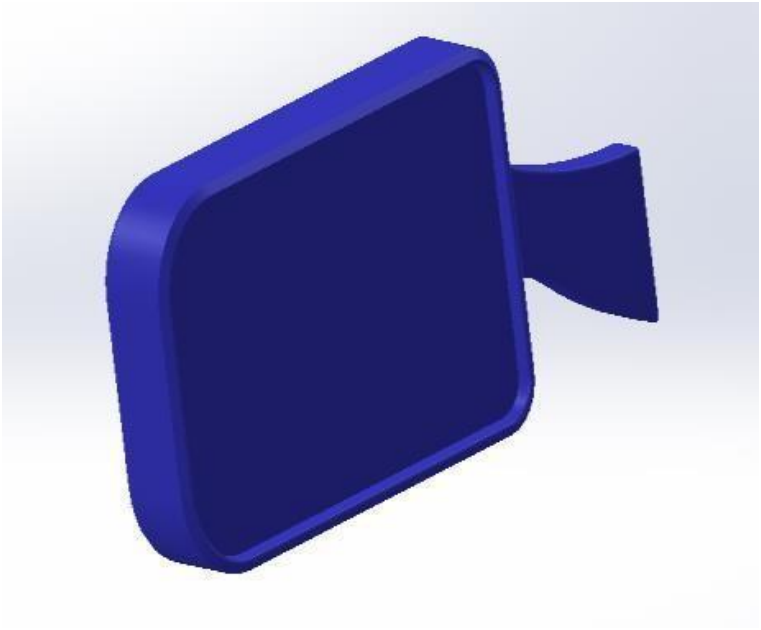
Vista del Plano YZ del Retrovisor de Base Curva



En la Figura 20 se presenta el diseño 3D resultante del retrovisor de base plana con su forma final donde ya se puede visualizar las áreas con curvatura y las zonas de perfilamiento.

Figura 20

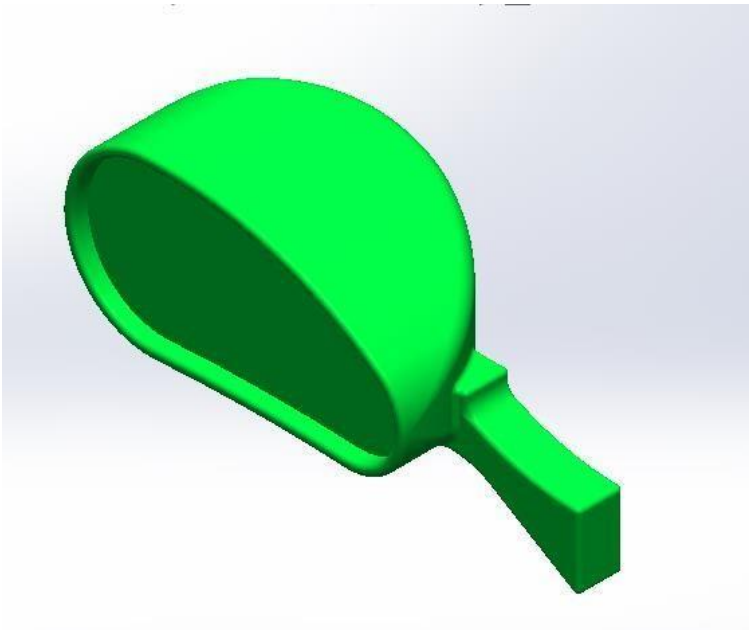
Modelado 3D Final del Retrovisor de Base Plana



En la Figura 21 se presenta el diseño 3D resultante del retrovisor de base curva.

Figura 21

Modelado 3D Final del Retrovisor de Base Plana



3.5. Proceso de Análisis Aerodinámico Mediante Dinámica de Fluidos Computacional (DFC)

3.5.1. Consideraciones Iniciales

En la Tabla 2 se muestra las condiciones externas ambientales a las cuales se someten los retrovisores considerando que la presión atmosférica es 1 (atm) y la densidad (d) puede variar dependiendo la temperatura.

Tabla 2

Propiedades del Aire a 1 atm

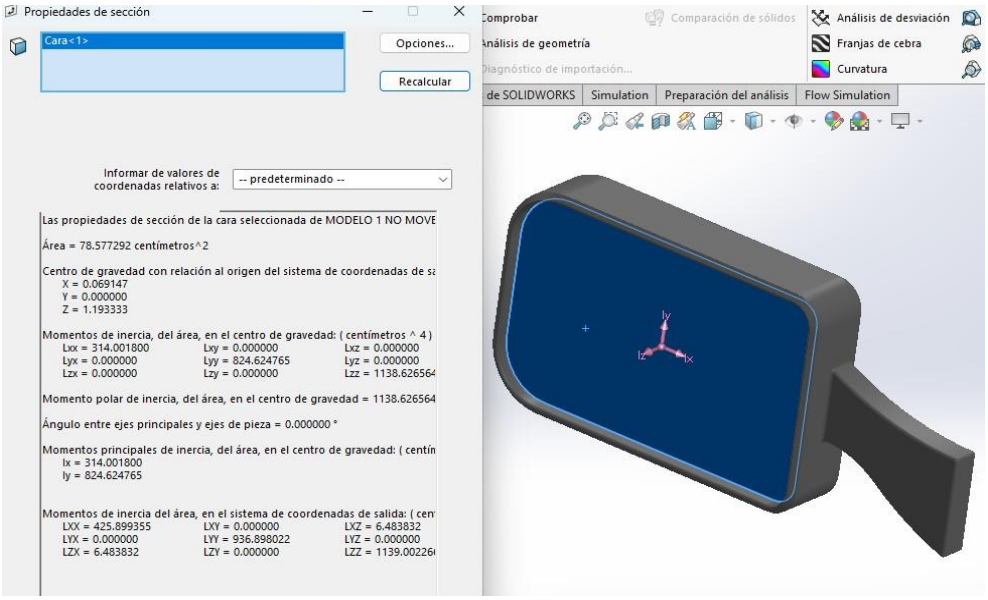
Condición ambiental variable	**Valor**
Presión (P)	1 atm
Velocidad (v)	120 km/h
Temperatura (T)	25 °C
Densidad del aire (p)	1.1849 kg/m^3

Fuente: (Cengel y Cimbala, 2012)

Para el caso del retrovisor de base plana se define el área de proyección para después realizar una comparativa aerodinámica. Ver Figura 22.

Figura 22

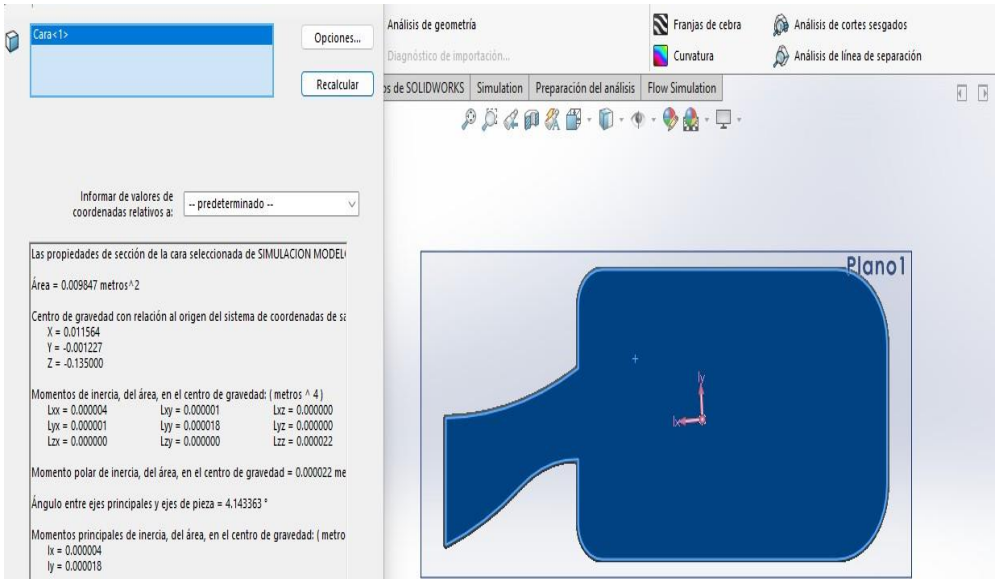
Consideraciones Iniciales del Retrovisor de Base Plana para la Simulación Aerodinámica



En la Figura 23 se muestra el área proyecta del retrovisor de base plana.

Figura 23

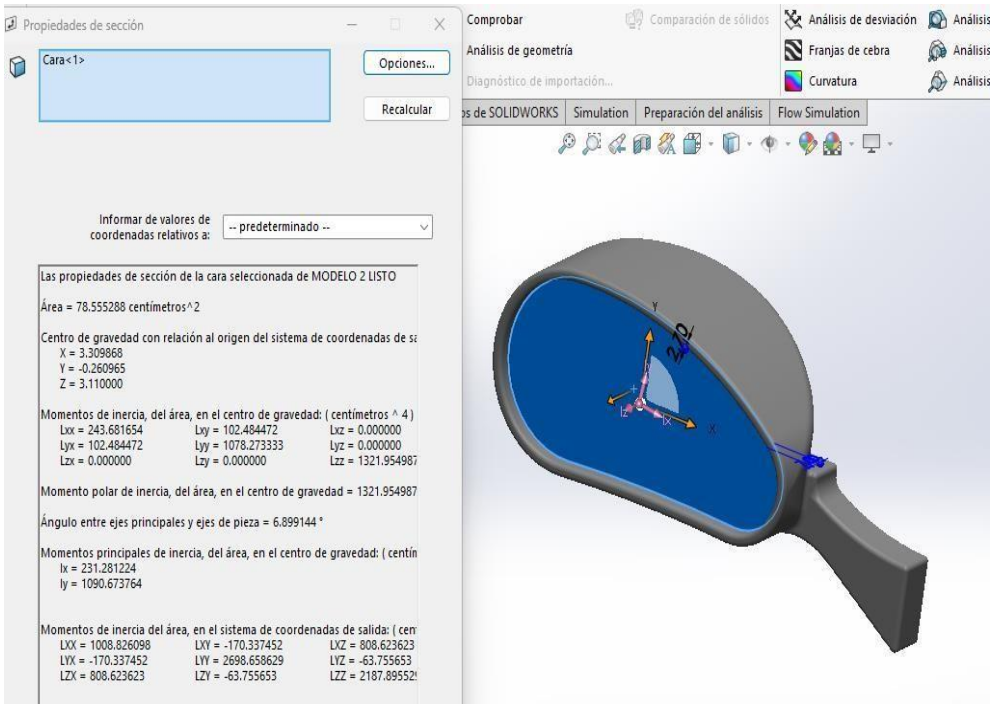
Área de Proyección del Retrovisor de Base Plana para la Simulación Aerodinámica



Para el caso del retrovisor de base curva se define el área de proyección para después realizar una comparativa aerodinámica. Ver Figura 24.

Figura 24

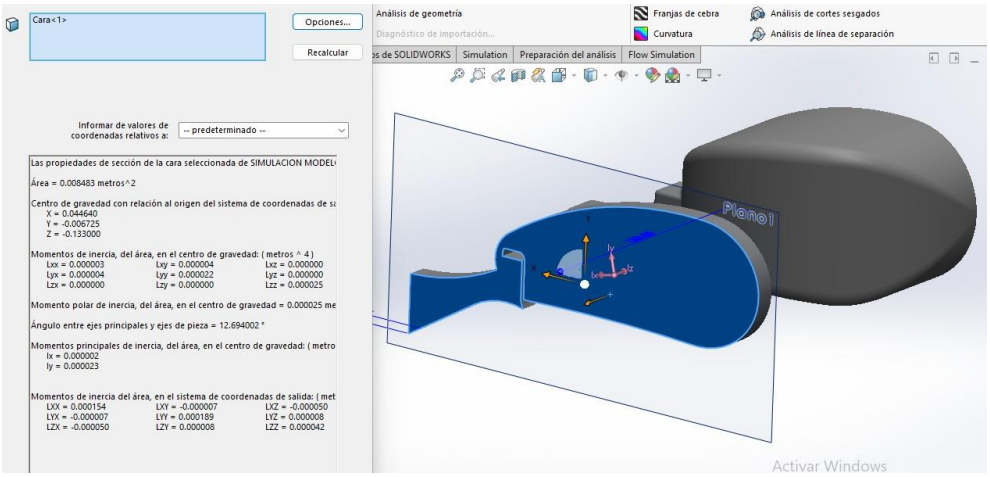
Consideraciones Iniciales del Retrovisor de Base Curva para la Simulación Aerodinámica



En la Figura 25 se muestra el área proyecta del retrovisor de base curva.

Figura 25

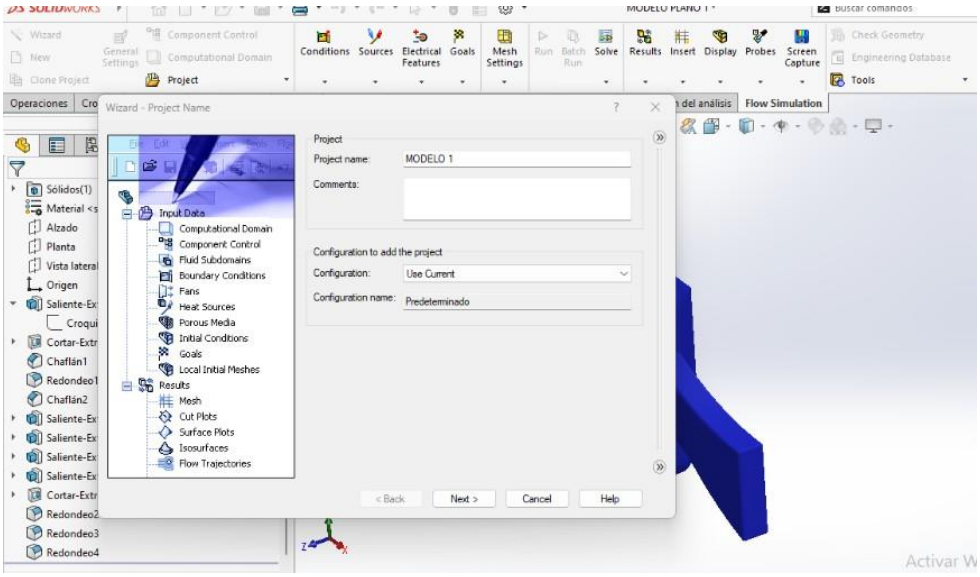
Área de Proyección del Retrovisor de Base Curva para la Simulación Aerodinámica



Una vez determinado los valores con que se va a trabajar para la simulación aerodinámica, se procede a utilizar el módulo de SolidWorks para análisis de flujo computacional llamado *Computational Fluid Dynamics* (CFD). Una vez que se ingresa a CFD se selecciona crear “New Proyect” y se le asigna un nombre a cada modelo de retrovisor como se presenta en la Figura 26.

Figura 26

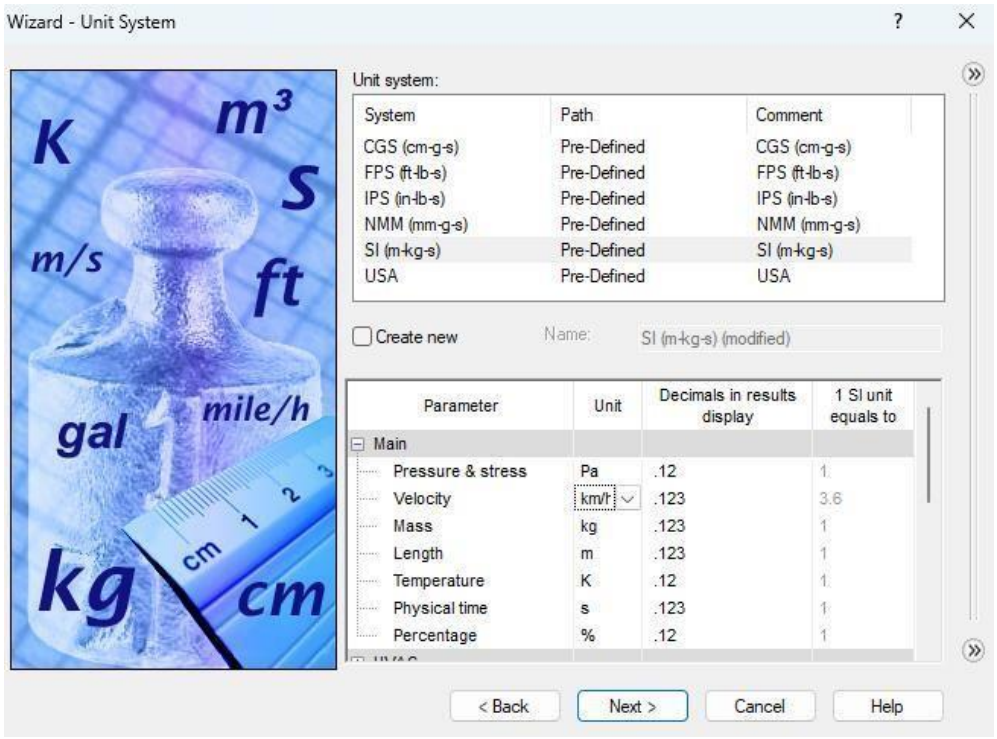
Creación de Proyecto para la Simulación Aerodinámica



Se selecciona las medidas en la unidad del Sistema Internacional (SI) como se presenta en la Figura 27.

Figura 27

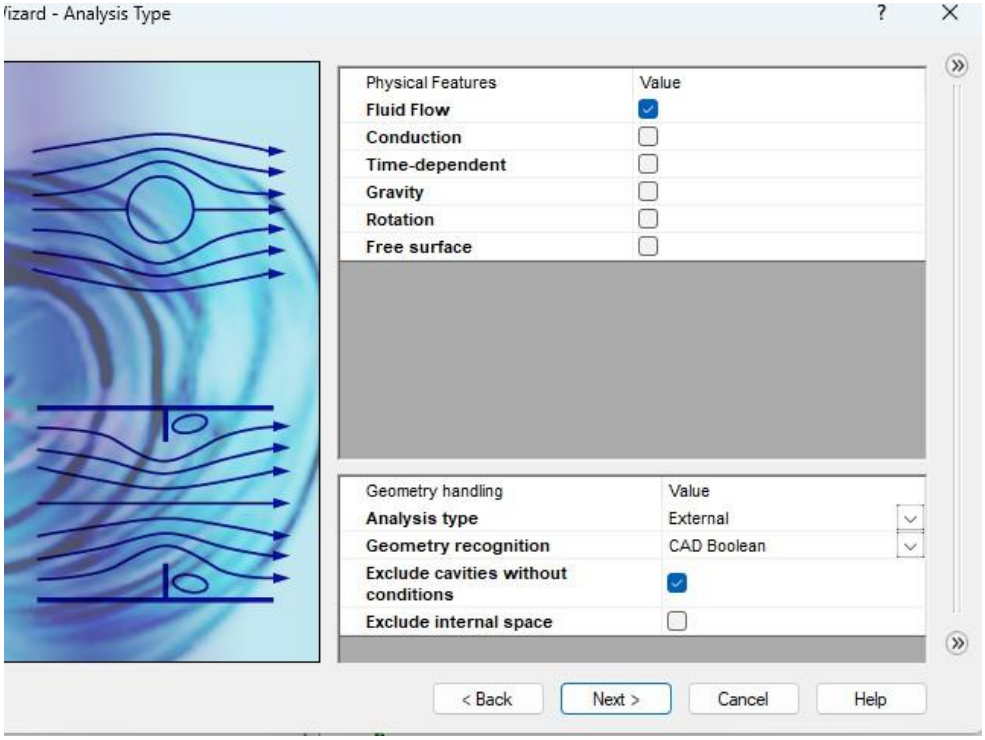
Selección de Medidas en el SI



A continuación en las condiciones de frontera se selecciona el tipo de análisis como flujo externo y las demás condiciones se deben mantener por defecto. Ver Figura 28.

Figura 28

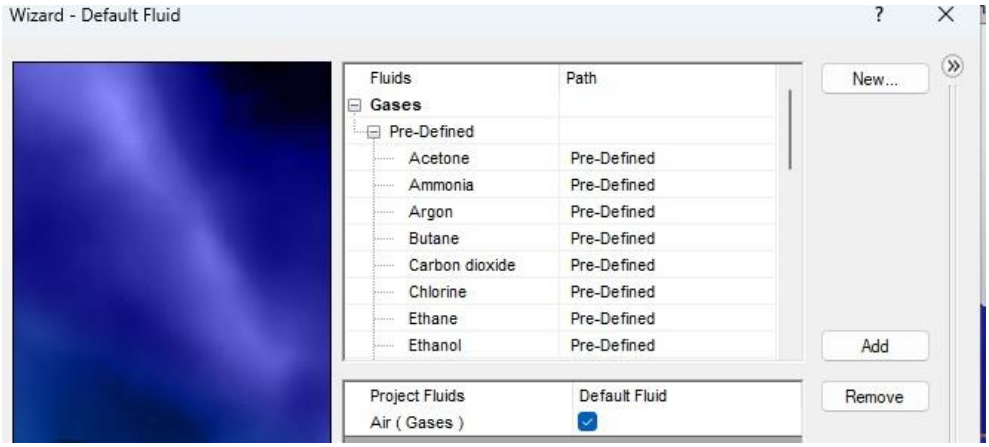
Condiciones de Frontera



Se continúa con la selección del tipo de fluido a analizar, siendo para este caso: el aire, debido a que va a estar sometidos a condiciones ambientales los retrovisores. Ver Figura 29.

Figura 29

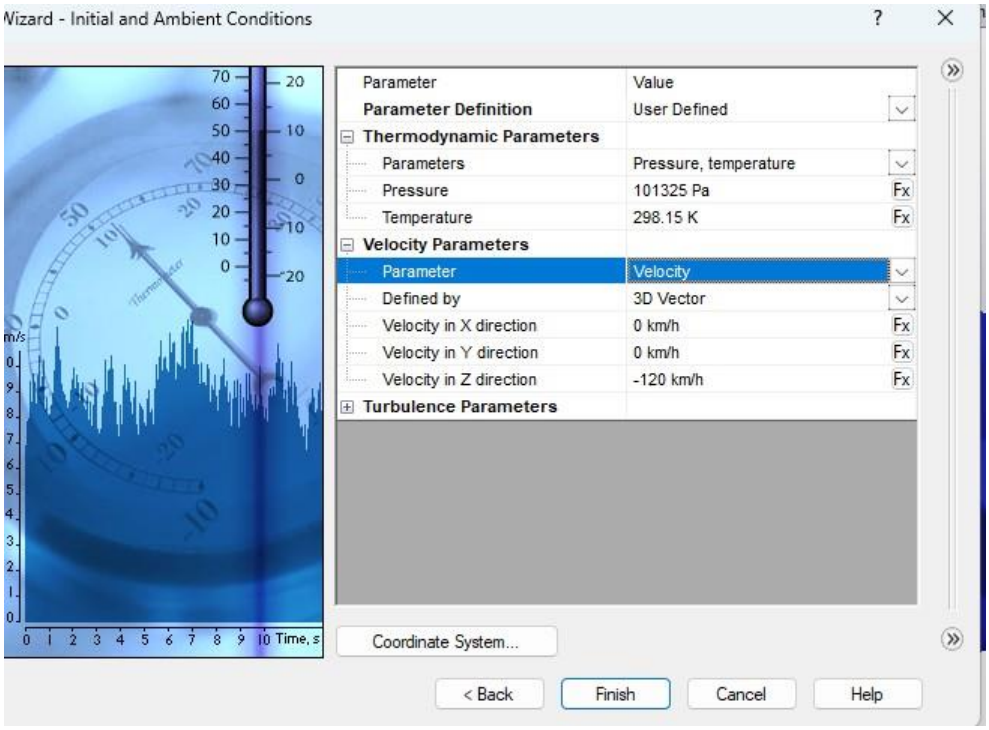
Selección del Fluido



En la ventana de "Initial and Ambient Conditions" se selecciona la velocidad del flujo de aire a la presión y la temperatura que se va a analizar. Para este proyecto se debe tener en cuenta que este tipo de análisis correspondería a las condiciones finales. Ver Figura 30.

Figura 30

Selección de la Velocidad de Flujo de Aire



3.5.2. Creación de Túnel de Viento Virtual para el Retrovisor de Cara Plana

Una vez se obtiene el modelo de cada retrovisor se importa el modelado al módulo de *Fluent Ansys Worbench* para que se genere el túnel de viento virtual por cada uno manteniendo la dimensión del túnel para cada retrovisor. Ver Figura 31.

Figura 31

Dimensiones del Túnel de Viento Virtual

Details of Enclosure1	
Enclosure	Enclosure1
Shape	Box
Number of Planes	0
Cushion	Non-Uniform
FD1, Cushion +X value (>0)	150 mm
FD2, Cushion +Y value (>0)	150 mm
FD3, Cushion +Z value (>0)	500 mm
FD4, Cushion -X value (>0)	5 mm
FD5, Cushion -Y value (>0)	150 mm
FD6, Cushion -Z value (>0)	225 mm
Target Bodies	All Bodies
Export Enclosure	Yes

La base en el túnel del viento virtual por el cual ingrese el aire con unas determinadas velocidades en m/s se denomina “inlet-velocity”, el área de rendimiento “pressure-outlet” viene a ser la presión de rendimiento constante equivalente a presión del aire, la base cercana a la cara del retrovisor “wall” y posterior el restante de las bases como “sym”.

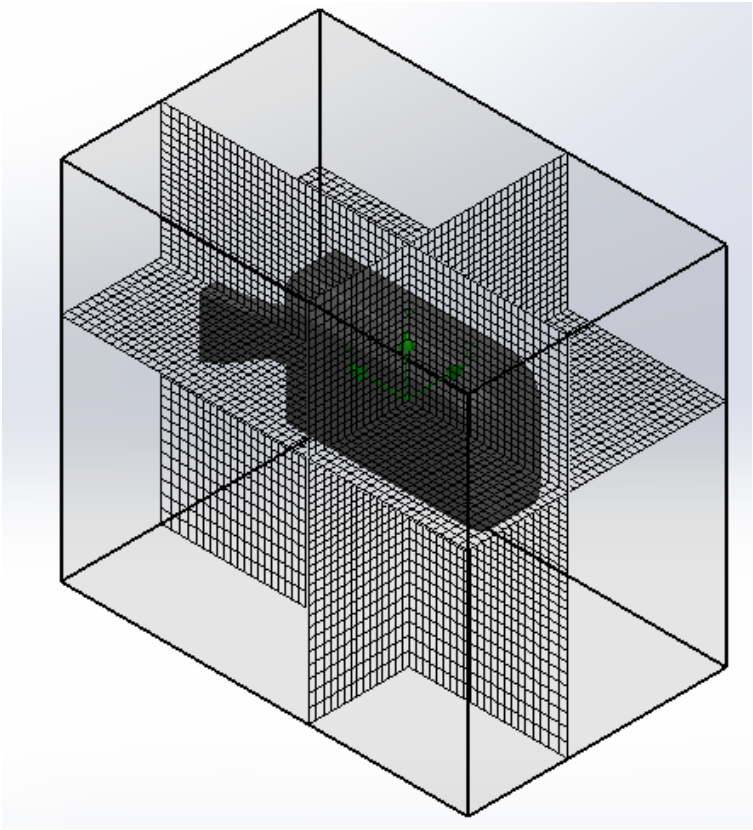
3.5.3. Creación de Malla

La creación de malla se relaciona proporcionalmente con la precisión de resultantes, para este caso se utiliza la metodología del tetraedro en la reproducción de malla.

De igual manera para alcanzar un mallado óptimo se ejecuta el refinado cerca de cada retrovisor con una dimensión de 15 mm y para el cuerpo del retrovisor un refinamiento de 2 mm. Se debe mencionar que estas atenciones se utilizan para generación del mallado de MOD_1 y MOD_2. En la Figura 32 se muestra el mallado del retrovisor de base plana en el túnel de viento.

Figura 32

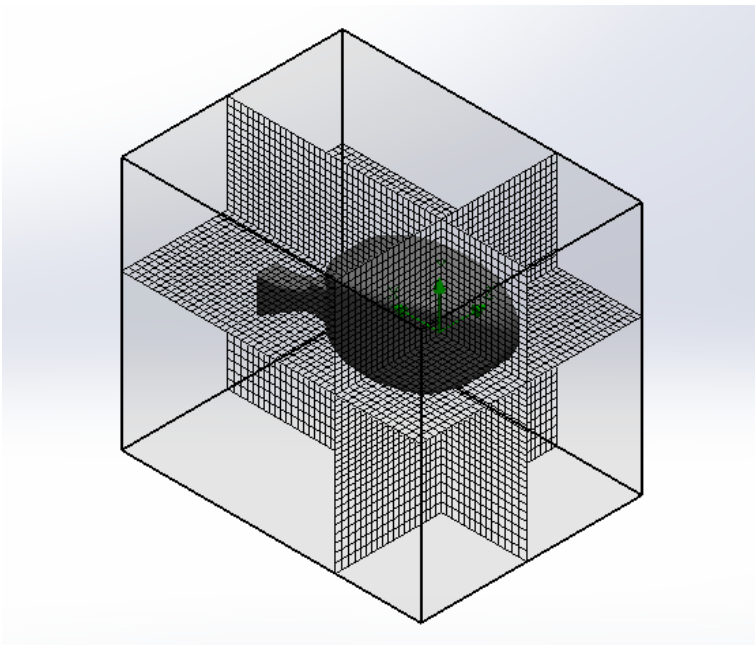
Mallado del Retrovisor de Base Plana en el Túnel de Viento



En la Figura 33 se presenta el mallado del retrovisor de base curva en el túnel de viento.

Figura 33

Mallado del Retrovisor de Base Curva en el Túnel de Viento



3.5.4. Validación de Malla

La calidad de malla en el análisis aerodinámico se valida con el criterio de *Skewness*, donde los valores menores a 0.95 indican que la malla es aceptable (Ver Figura 34).

Figura 34

Escala del Criterio de Malla Skewness

Excellent	Very good	Good	Acceptable	Bad	Unacceptable
0-0.25	0.25-0.50	0.50-0.80	0.80-0.94	0.95-0.97	0.98-1.00

Fuente: (Loza Chávez y Pila Espinosa, 2017)

Adicional se utiliza el criterio de *Orthogonal Quality* donde debe ser mayor a 0.15 (Ver Figura 35).

Figura 35

Escala del Criterio de Malla Orthogonal Quality

Unacceptable	Bad	Acceptable	Good	Very good	Excellent
0-0.001	0.001-0.14	0.15-0.20	0.20-0.69	0.70-0.95	0.95-1.00

Fuente: (Loza Chávez y Pila Espinosa, 2017)

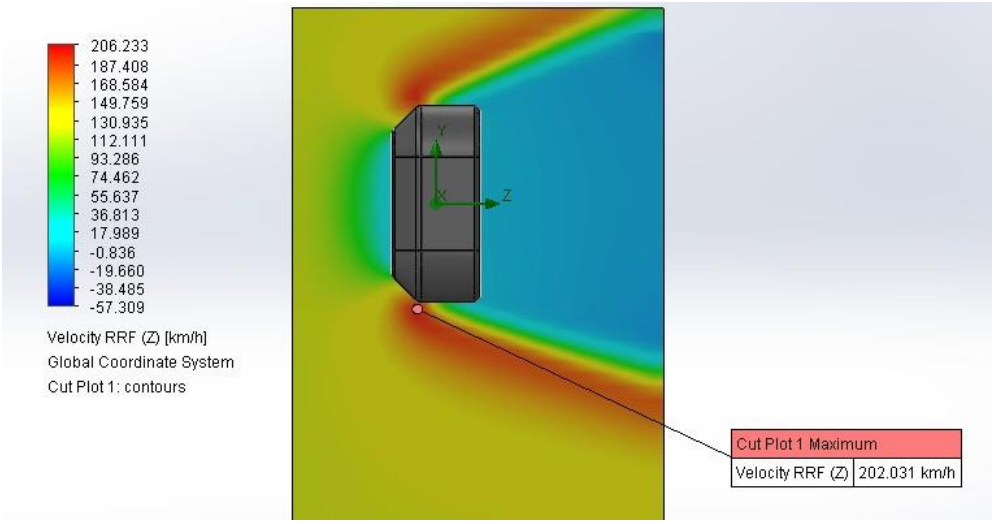
3.5.5. Simulación de Velocidad

Los elementos de estudio se someten a una simulación que aplica presión en la cara del retrovisor y en sus bordes extremos para evaluar el comportamiento del flujo de aire. Esta simulación busca determinar cómo varía la velocidad del aire en el Sistema de Referencia de Rotación (Rotating Reference Frame – RRF). Los resultados obtenidos revelan cómo la presión afecta la distribución del flujo y la velocidad del aire alrededor del retrovisor, proporcionando información valiosa para optimizar el diseño aerodinámico y mejorar la eficiencia del vehículo.

En la Figura 36 se muestra la simulación de presión en retrovisor de base plana.

Figura 36

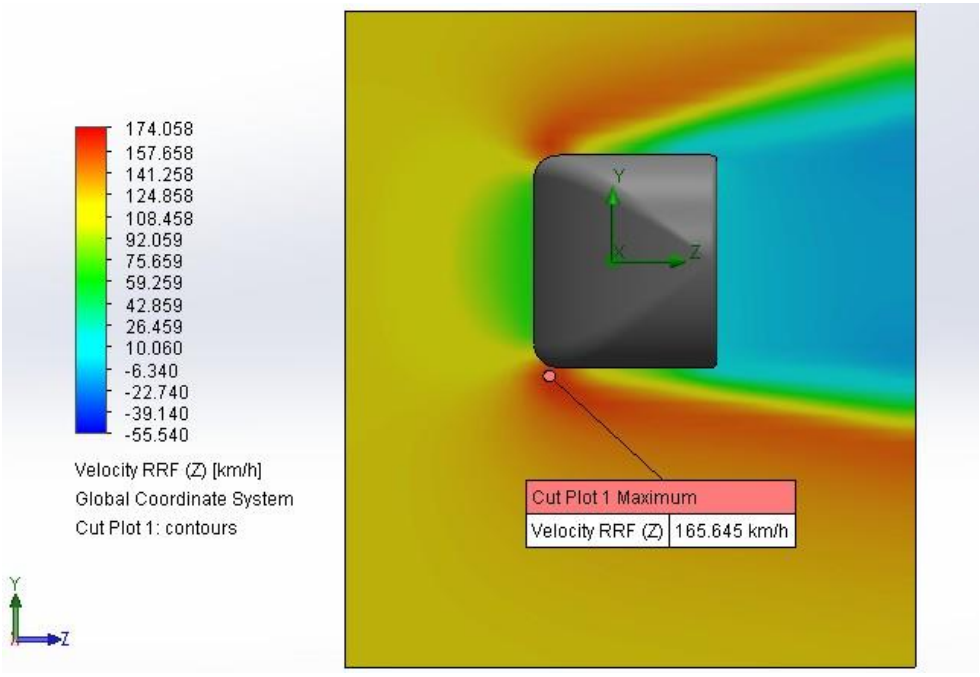
Simulación de Presión en Retrovisor de Base Plana



En la Figura 37 se muestra la simulación de presión en retrovisor de base curva.

Figura 37

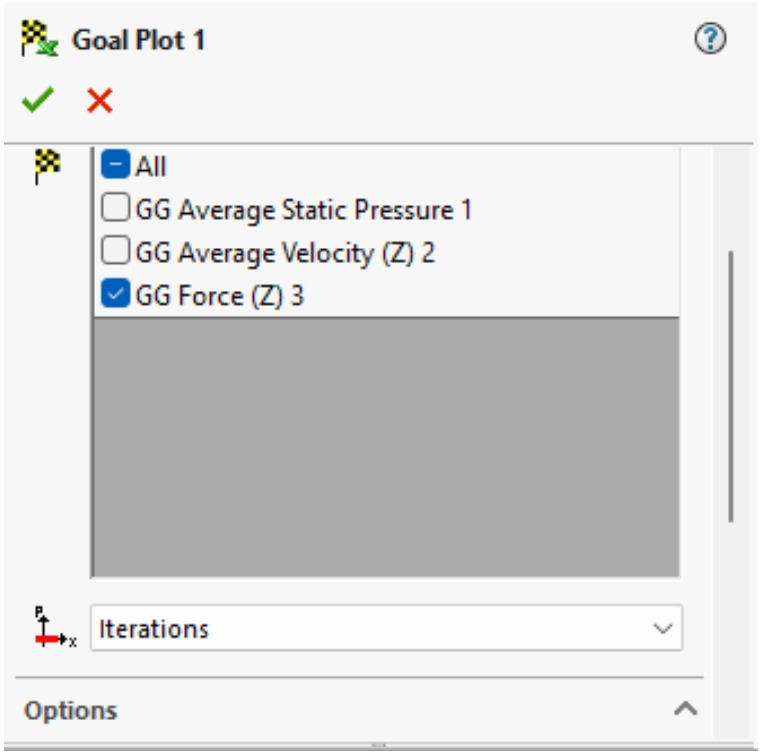
Simulación de Presión en Retrovisor de Base Curva



Se procede a determinar los criterios para representar las líneas de corriente, dichas líneas de corriente son el comportamiento del fluido a través del área proyectada de cómo está influida la corriente para la velocidad y las líneas de corriente en la presión ejercida se definen como pequeños vórtices que se genera en el retrovisor. Ver Figura 38.

Figura 38

Criterios para Simulación de Comportamiento del Fluido



3.6. Análisis Estático

El análisis estático sirve para analizar el esfuerzo máximo, deformación total y factor de seguridad, una vez obtenida la presión máxima aplicada sobre la superficie de cada retrovisor. Para ello se procede con el uso del módulo *Static Structural* de *Ansys Workbench*. Mediante el módulo de *Fluent* (que es anexado con el módulo *Static Structural*), se procede al análisis de:

- Definición del material: debido a que el material con que se fabrica los retrovisores son compuestos se es fundamental generarlo en *Ansys Workbench* en el anexado de *Engineering Data*.
- Densidad del material fabricado: se calcula mediante gravimetría que se basa en la utilización del tubo de 251 centímetros cúbicos (cc), la cual se coloca a temperatura ambiente con agua en una cantidad de 201 cc y consecutivamente se coloca el tubo de flexión hasta que se sumerge en su totalidad. Con ello se observa el cambio del volumen

inicial depositado en el tubo y determinar que la masa en la actual mediante una balanza digital y así obtener la densidad en el material.

- Coeficiente de Poisson.
- Módulo de Young del material compuesto.
- Definición de mallado: aplicación de método de elementos finitos.
- Definición de restricción y cargas

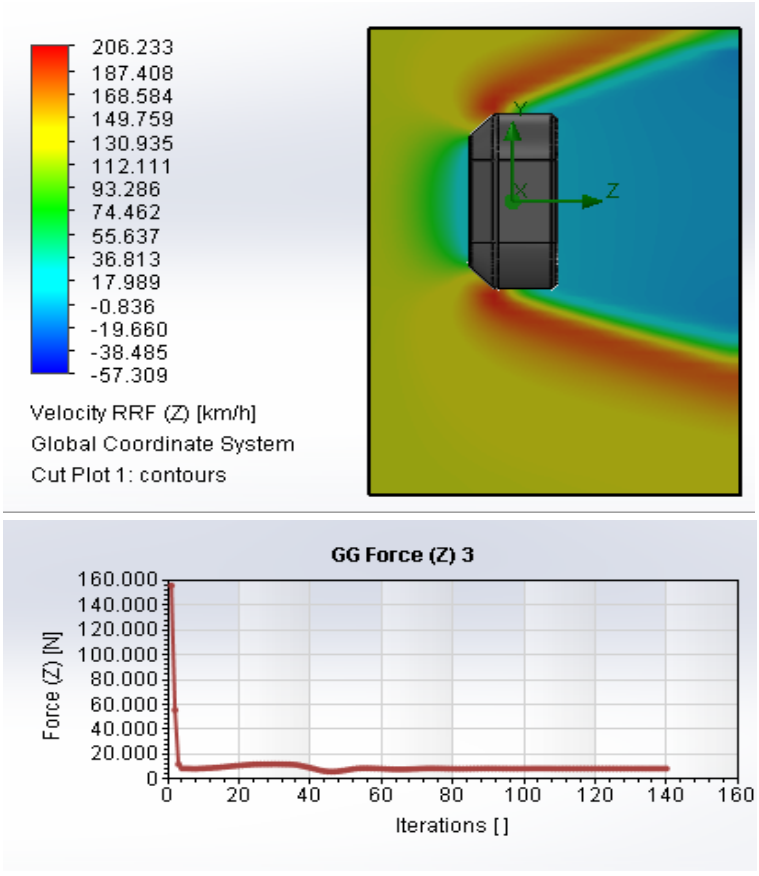
El software internamente realiza el proceso de la resolutiva del problema planteado, por medio de ecuaciones y matrices, usando como referencia la carga y restricción física.

3.6.1. Análisis Estático del Retrovisor de Base Plana

Determinada la fuerza que actúa en el plano frontal del retrovisor de base plana (8.34 N), se procede a simular los esfuerzos y deformaciones que existe en el mismo. Ver Figura 39.

Figura 39

Criterios para Simulación de Análisis Estático del Retrovisor de Base Plana

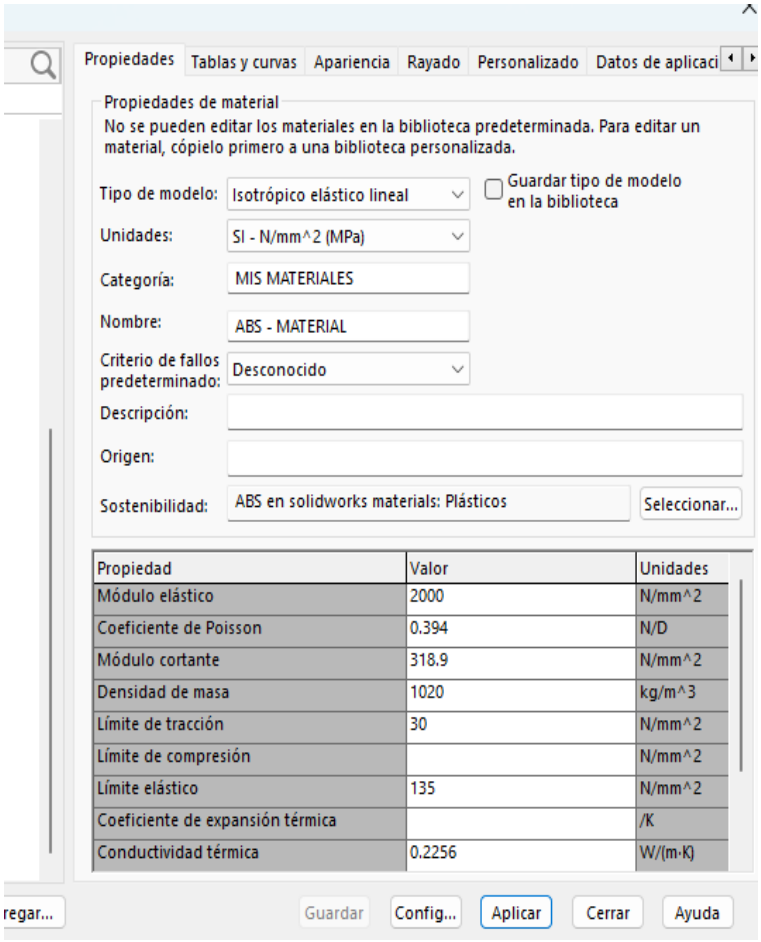


El proceso para seguir en el análisis estático del retrovisor de base plana es:

- Selección de material: en la Figura 40 se muestra la selección de material que representara la simulación estática del modelo con las propiedades mecánicas.

Figura 40

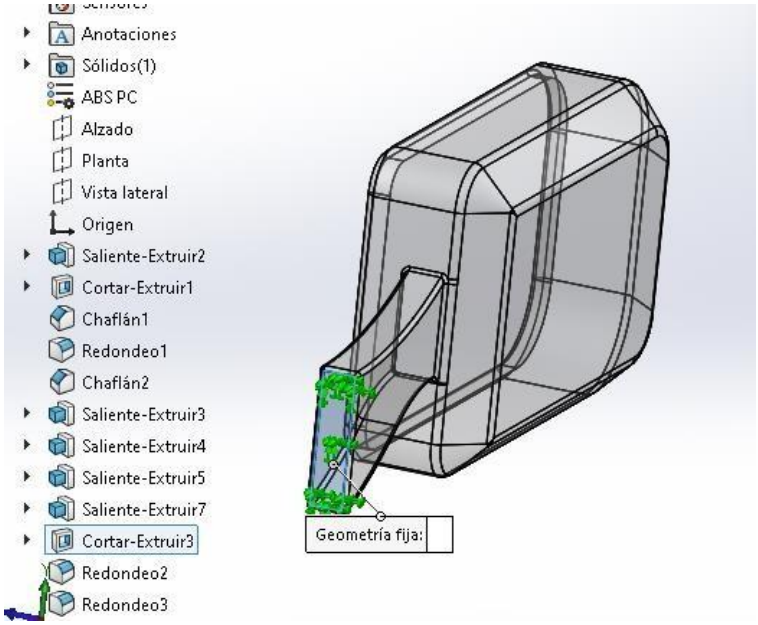
Selección de Material para Simulación de Análisis Estático del Retrovisor de Base Plana



- Fijación de la geometría: en la Figura 41 se muestra el procedimiento para fijar la geometría, donde el borde interno que, si fijará a la carrocería del vehículo, será el punto de análisis.

Figura 41

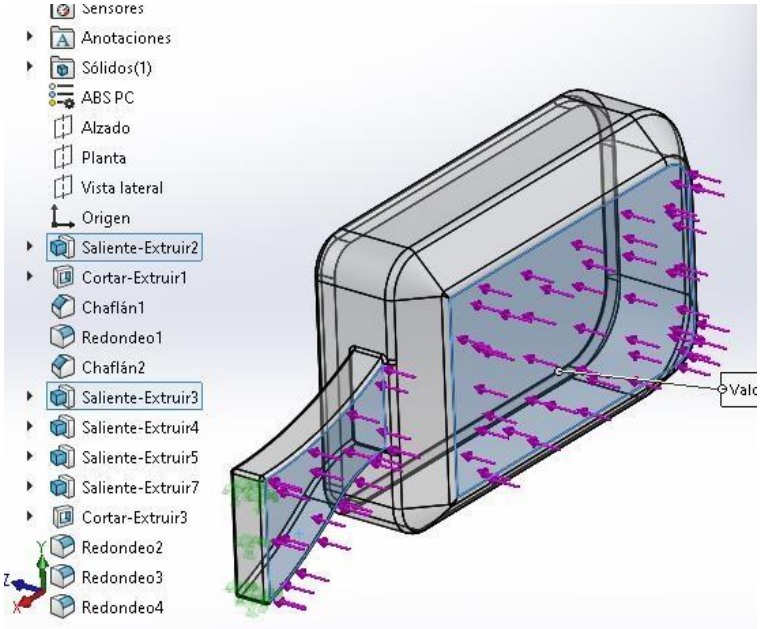
Fijación de la Geometría para Simulación de Análisis Estático del Retrovisor de Base Plana



- Aplicación de la fuerza: la fuerza se aplica a las caras donde el valor de la fuerza promedio de arrastre está actuando, de tal forma que represente un valor de fuerza promedio para el análisis. Ver Figura 42

Figura 42

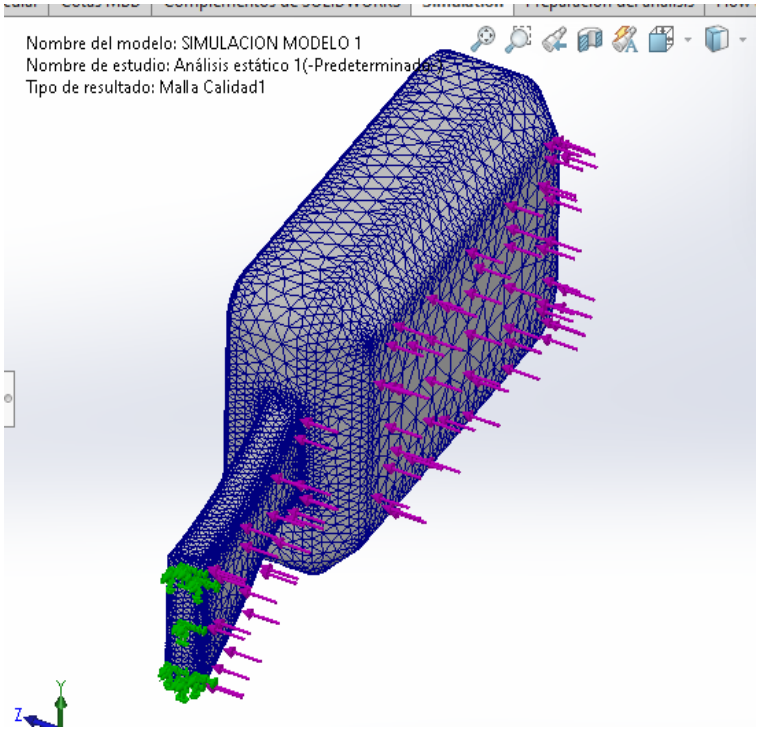
Aplicación de la fuerza para Simulación de Análisis Estático del Retrovisor de Base Plana



- Creación de mallado: se crea la malla para obtener un mejor resultado. Ver Figura 43.

Figura 43

Creación de mallado para Simulación de Análisis Estático del Retrovisor de Base Plana



3.6.2. Análisis Estático del Retrovisor de Base Curva

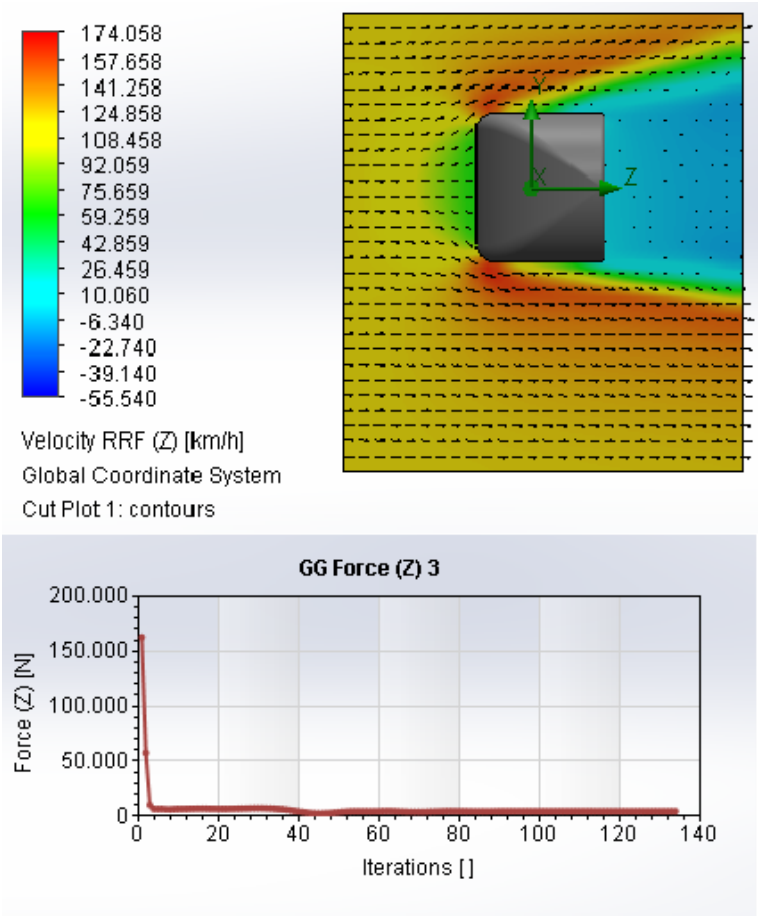
Aquí tienes una versión ampliada de la frase para describir los resultados obtenidos de la simulación del análisis del comportamiento del flujo de aire en el retrovisor de base curva:

Una vez determinada la fuerza que actúa en el plano frontal del retrovisor de base curva, que se cuantificó en 4.24 N, se realizó una simulación detallada para analizar los esfuerzos y deformaciones resultantes en la estructura del retrovisor.

La simulación reveló cómo esta fuerza impacta tanto en la integridad estructural del retrovisor como en su capacidad para resistir deformaciones bajo la acción del flujo de aire. Se observaron concentraciones de esfuerzo en zonas críticas, lo que permitió identificar posibles áreas de mejora en el diseño para optimizar su rendimiento aerodinámico y durabilidad. Ver Figura 44.

Figura 44

Criterios para Simulación de Análisis Estático del Retrovisor de Base Curva

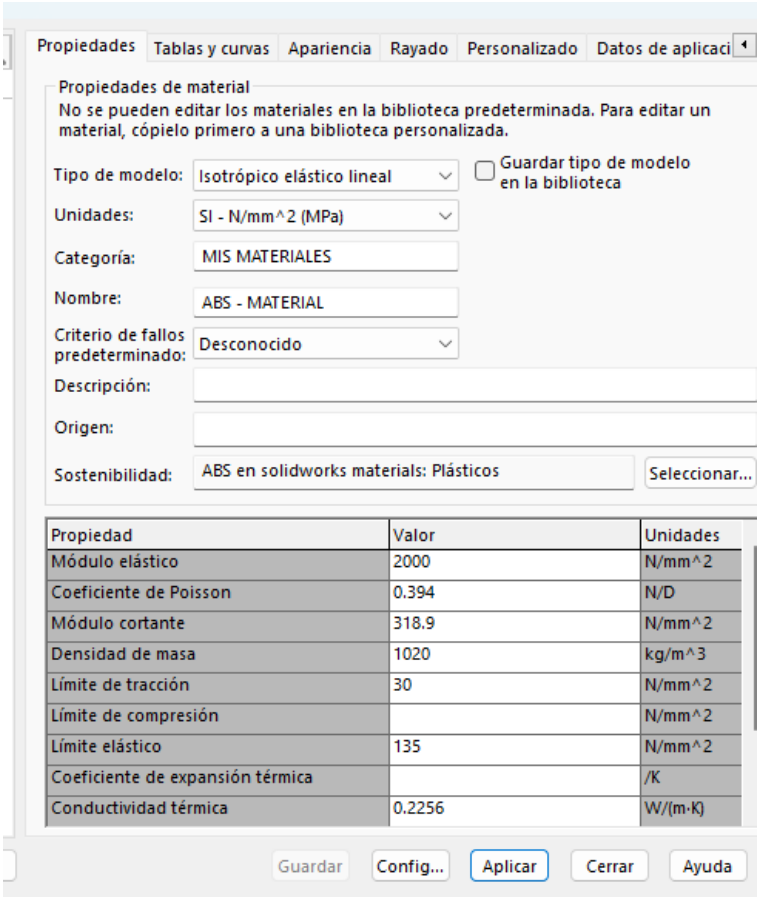


El proceso para seguir en el análisis estático del retrovisor de base curva es:

- La Figura 45 muestra la selección de material utilizada en la simulación estática del modelo, donde se especifican las propiedades mecánicas clave, como la densidad, el módulo de elasticidad y la resistencia a la tracción. Esta selección es crucial para garantizar que el comportamiento del flujo de aire refleje con precisión las condiciones reales, permitiendo una simulación fiel de las tensiones y deformaciones en el material durante el proceso.

Figura 45

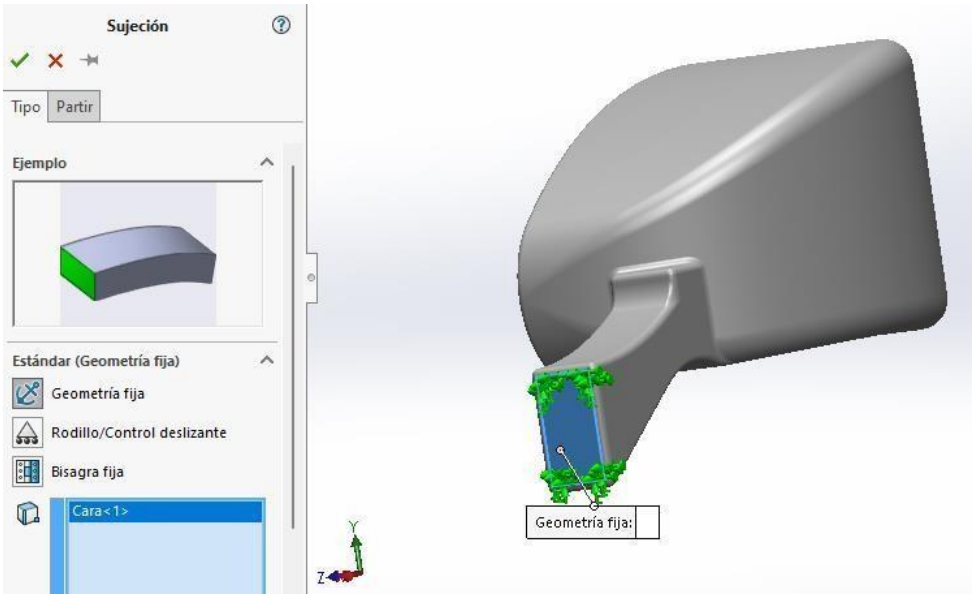
Selección de Material para Simulación de Análisis Estático del Retrovisor de Base Curva



- La fijación de la geometría es un paso crucial en el análisis del comportamiento del flujo de aire, ya que determina las condiciones bajo las cuales se evaluará la aerodinámica del vehículo. En la Figura 46, se detalla el procedimiento para fijar la geometría, destacando la importancia de asegurar que el borde interno esté correctamente alineado con la carrocería. Este borde actúa como el punto de referencia principal para el análisis, permitiendo evaluar cómo el flujo de aire interactúa con la superficie del vehículo. Esta fijación precisa garantiza que los resultados de la simulación sean representativos de las condiciones reales, proporcionando datos fiables para optimizar el diseño aerodinámico.

Figura 46

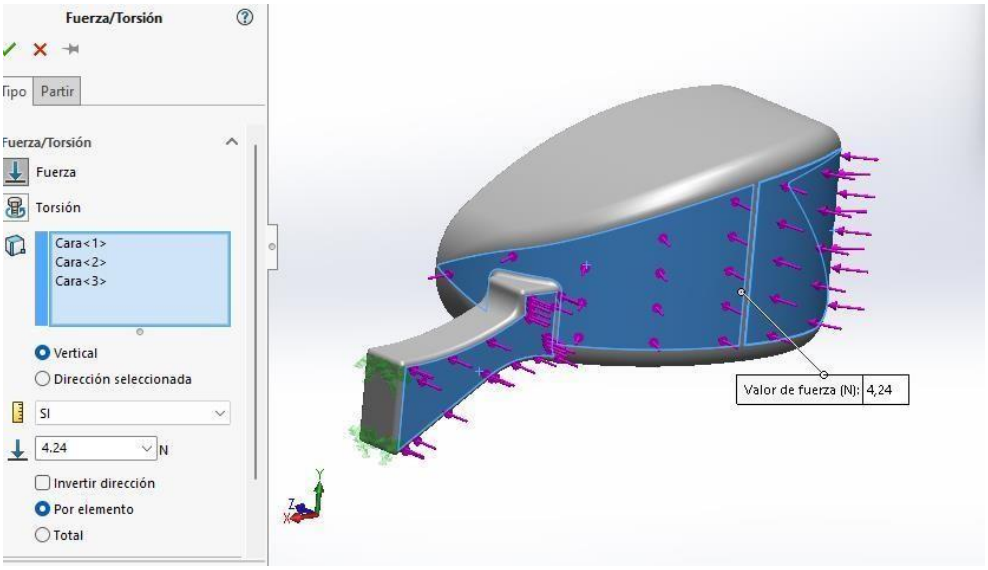
Fijación de la Geometría para Simulación de Análisis Estático del Retrovisor de Base Curva



- Aplicación de la fuerza: la fuerza se aplica a las caras donde el valor de la fuerza promedio de arrastre está actuando, de tal forma que represente un valor de fuerza promedio para el análisis. Ver Figura 47.

Figura 47

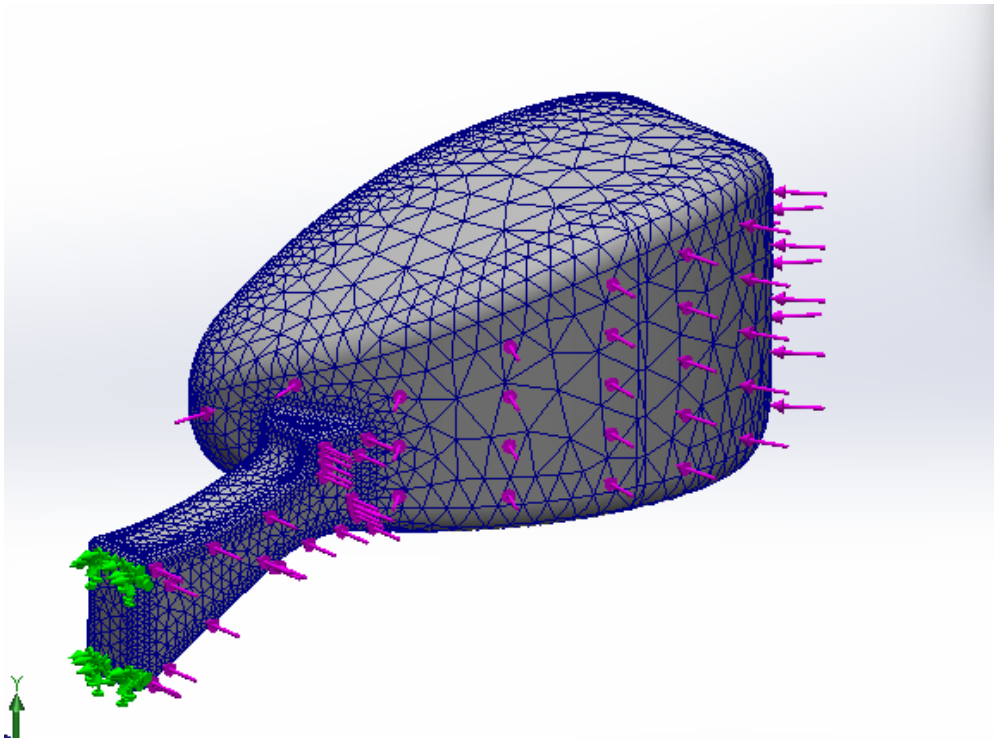
Aplicación de la fuerza para Simulación de Análisis Estático del Retrovisor de Base Curva



- Creación de mallado: se crea la malla para obtener un mejor resultado .Ver Figura 48.

Figura 48

Creación de mallado para Simulación de Análisis Estático del Retrovisor de Base Curva



3.7. Factores de Seguridad

Según (Riddell & Hidalgo, 1997) señala que "… se entiende por seguridad el evitar que un elemento sobrepase o alcance un estado límite hasta el cual se considere que el comportamiento del elemento es aceptable".

De igual manera, el factor de seguridad es tan solo una directriz base en diseño e ingeniería mediante el cual se evalúa la capacitancia del elemento para resistir la fuerza sin que alcance al punto de ruptura y fallas. A la par figura como la relación entre cargas máximas que un componente puede aguantar antes de que este se fragmente y las cargas reales que se espera que actúen en ésta. En resolutiva, los factores de seguridad presentan cual es la arista de resistencias que dispone un componente en relación con la condición real de labor.

El factor de seguridad se calcula a través de la división de las cargas de falla o carga de colapso a alcanzar por las cargas reales que actúa sobre el componente en estudio. En el juicio de que un factor de seguridad sea un valor igual a 1 el componente está laborando al límite de

resistencias y de presentarse cualquier factor que suba la carga puede conllevar a la ruptura. En el juicio de que el factor de seguridades sea > 1, dictamina que el componente es suficiente de sobrellevar la carga a pesar de que esté vigente una ruptura y por la cual existirá un rango de seguridad. En cambio, si el factor de seguridad es menor a 1 el componente es absolutamente inseguro y es incapaz de aguantar la carga en aplicación.

El valor de factor de seguridades dependerá de otros elementos los cuales se desglosan en:

- Propiedades de materiales
- Naturaleza del elemento
- Importancia de aplicación
- Incertidumbre en las cargas

En aplicación crítica, se es fundamental un factor de seguridades > 1, lo cual garantice un nivel alto de seguridad del componente y confianza.

Es fundamental tomar en consideración que un factor de seguridades no es inmutable; el mismo podría cambiar acorde al cambio de ambiente operacional, condiciones de carga y la incertidumbre en la propiedad del material intervinientes.

El cómputo del factor de seguridades es fundamental para aseverar que los componentes sean lo competentemente resistente y seguros para la utilidad, favoreciendo la confianza del componente ingenieril y la integridad.

Capítulo IV

Análisis de Resultados

4.1. Análisis de Datos Obtenidos

Mediante el módulo del software SolidWorks para análisis de flujo computacional llamado *Computational Fluid Dynamics* (CFD) en el módulo de *Fluent Ansys Worbenchse (FAW)*, podrá obtenerse el contorno de presión, contorno de velocidad y desplazamiento de la velocidad del análisis y simulación de la aerodinámica resultante en MOD_1 y MOD_2. Así también la presión ejercida sobre el retrovisor.

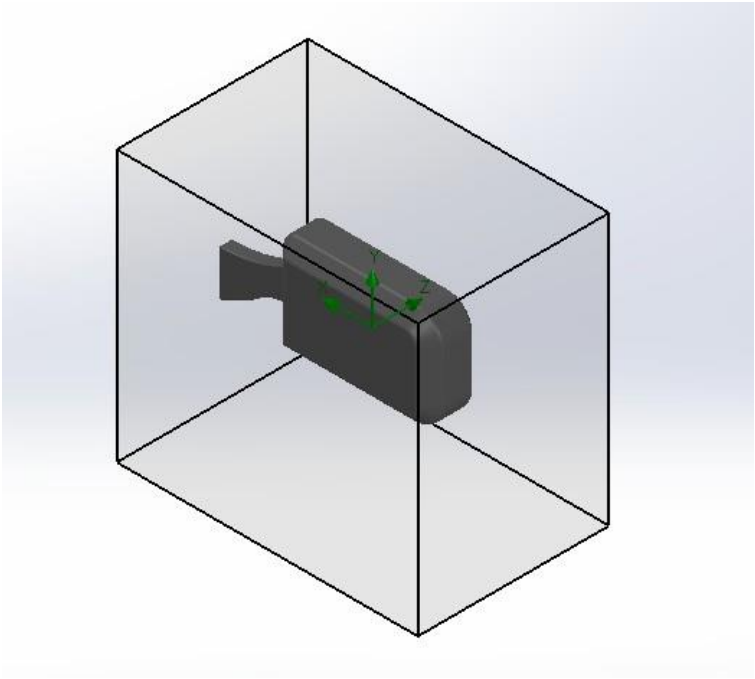
Para obtener datos reales y de análisis objetivo, se procede a tomar como referencia lecturas de: presión, temperaturas y altitud en Guayaquil, en la Escuela de Ingeniería Automotriz de la UIDE, con un anemómetro del tipo digital de tolerancia igual al 2%. Cuando el instrumento está apagado los valores se guardan entre 3 y 6 seg, con lo obtenido los datos se promedian tales como la temperatura, altura, y presión, siendo resultados a tomar como parámetros de entrada en el software. Para la metodología de solución se utiliza K-Epsilion con cien iteraciones.

4.1.1. Análisis de Proyección Retrovisor Base Plana

En el caso del retrovisor de base plana, el análisis del comportamiento del flujo de aire revela que el área proyectada en la zona donde se ubica el espejo es de 78.57 cm^2. Esto indica que esta superficie será la principal responsable de interactuar con el flujo de aire. La Figura 49 ilustra claramente esta área proyectada, destacando las regiones donde el flujo de aire tendrá mayor impacto. Este valor de área proyectada, que corresponde a 0.009847 m^2, es crucial para el cálculo del coeficiente de arrastre (Cd). El coeficiente de arrastre, que se deriva de este área, proporciona una medida de la resistencia que el aire ejercerá sobre el retrovisor, afectando así la eficiencia aerodinámica del vehículo.

Figura 49

Área Proyectada



4.1.2. Análisis de Proyección Retrovisor Base Curva

En el retrovisor de base curva, se determinó que el área proyectada donde se ubicará el espejo es de 78.55 cm². En la Figura 50 se observa el área proyectada específica a través de la cual el flujo de aire será predominante, lo que resulta crucial para el análisis aerodinámico.

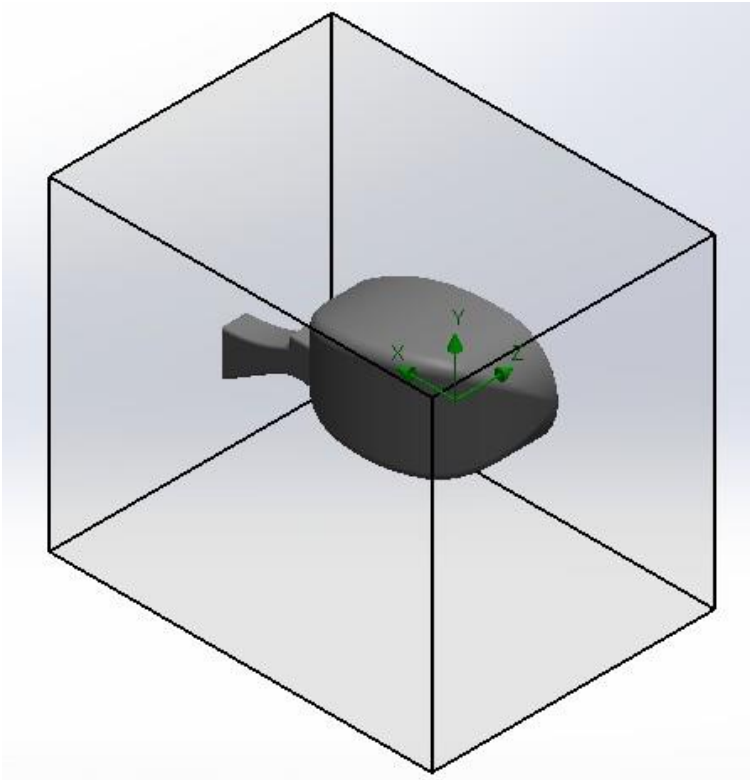
Este valor es fundamental para calcular el coeficiente de arrastre (Cd), ya que influye directamente en la resistencia al avance del vehículo.

El área proyectada calculada es de 0.008483 m², y esta medida será empleada para afinar el diseño y optimizar el comportamiento aerodinámico, minimizando las turbulencias y mejorando la eficiencia general del vehículo.

Estos resultados son esenciales para validar el diseño y asegurar su rendimiento óptimo en condiciones reales.

Figura 50

Área Proyectada

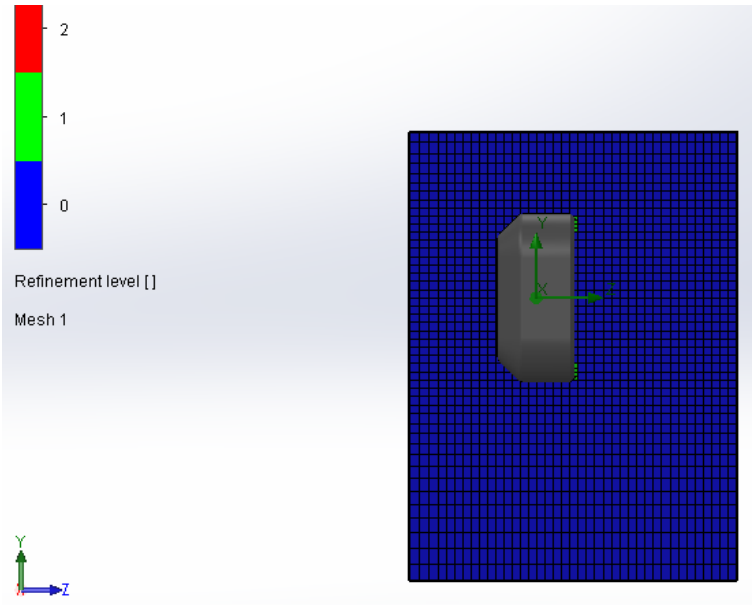


4.1.3. Análisis de Mallado Retrovisor Base Plana

Para el retrovisor de base plana se malla mediante refinación de los lugares donde el flujo de aire está más presente ya lograr obtener buenos resultados. Ver Figura 51.

Figura 51

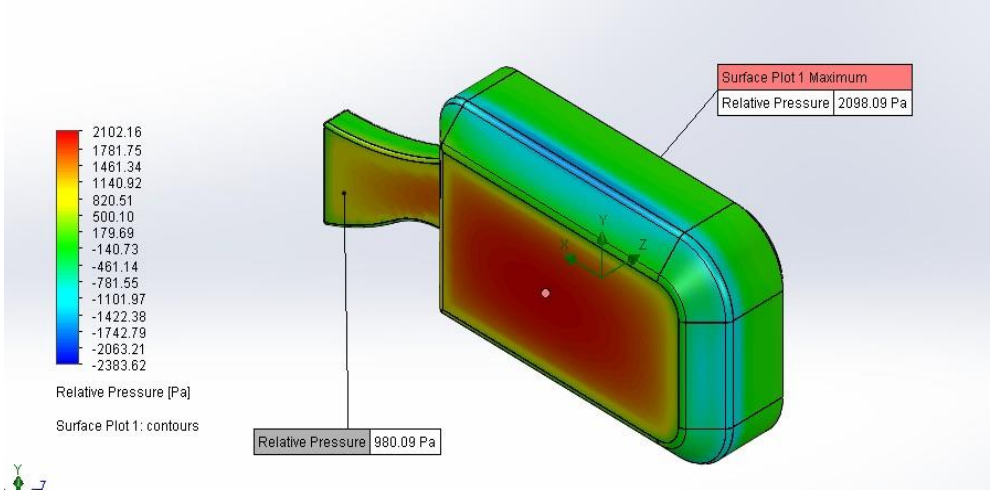
Refinamiento de Mallado Retrovisor Base Plana



A través del software se visualiza los valores en una escala de colores que van del rojo (no aceptable) a color azul (excelente). En la Figura 52 se muestra los resultados con *Criterio de Skewness* en el caso del retrovisor de base plana.

Figura 52

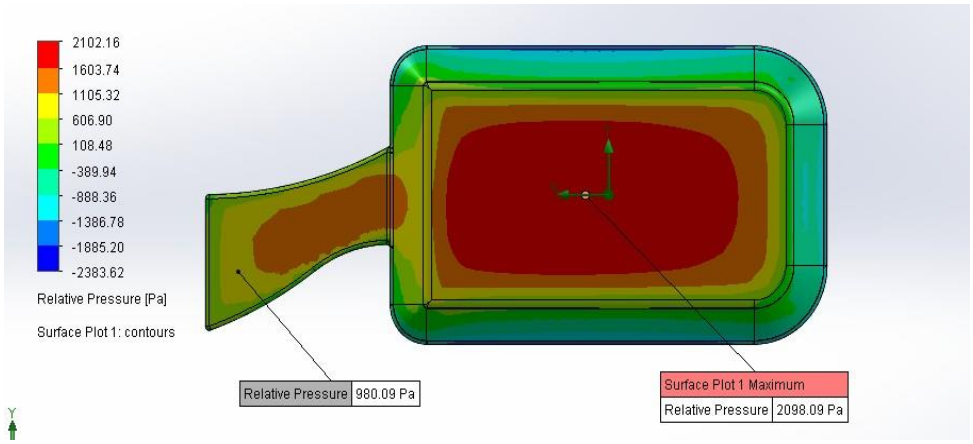
Escala de Colores con Criterio de Skewness en Retrovisor Base Plana



En la Figura 53 se muestra los resultados con criterios de Orthogonal Quality en el caso del retrovisor de base plana.

Figura 53

Escala de Colores con Criterio de Orthogonal Quality en Retrovisor Base Plana

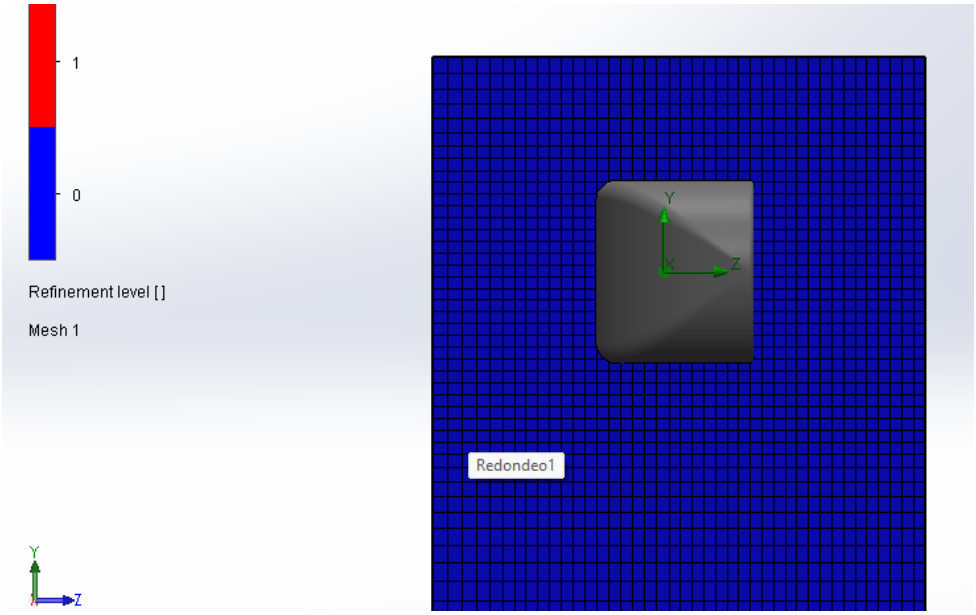


4.1.4. Análisis de Mallado Retrovisor Base Curva

Para el retrovisor de base curva se malla mediante refinación de los lugares donde el flujo de aire está más presente ya lograr obtener buenos resultados. Ver Figura 54.

Figura 54

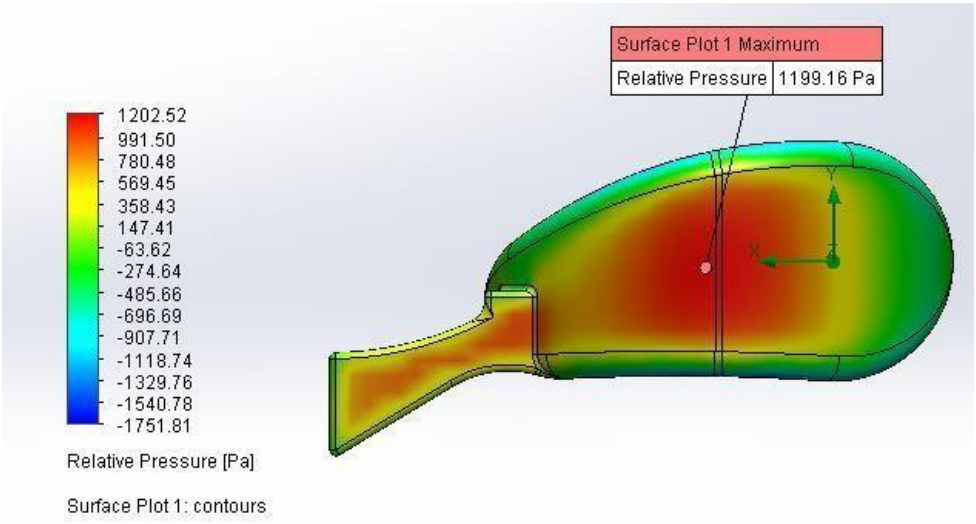
Refinamiento de Mallado Retrovisor Base Curva



A través del software se visualiza los valores en una escala de colores que van del rojo (no aceptable) a color azul (excelente). En la Figura 55 se muestra los resultados con *Criterio de Skewness* en el caso del retrovisor de base curva.

Figura 55

Escala de Colores con Criterio de Skewness en Retrovisor Base Curva

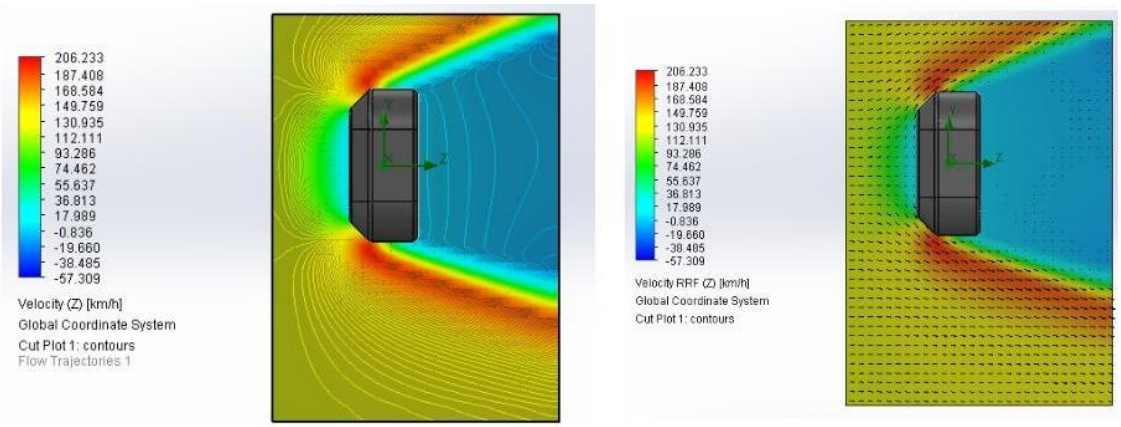


4.1.5. Análisis de Velocidad Retrovisor Base Plana

En la Figura 56 se representa la vista de sección en un plano de como la velocidad resultante en el eje YZ está actuando y las líneas de corriente de esta forma permiten interpretar el flujo externo del aire a la velocidad seleccionada para el análisis.

Figura 56

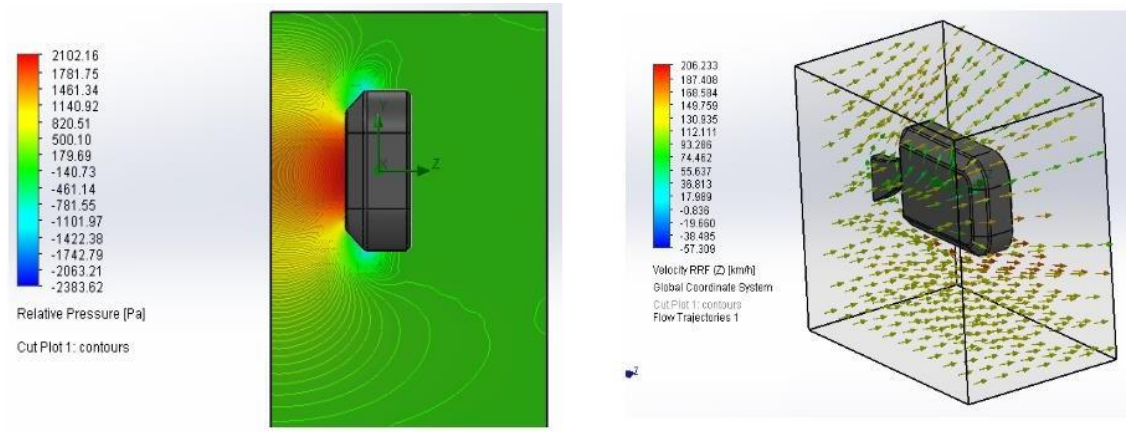
Contorno de Velocidad del Análisis y Simulación Aerodinámica en Retrovisor Base Plana



En la Figura 57 se representa la trayectoria de velocidad del análisis y simulación aerodinámica.

Figura 57

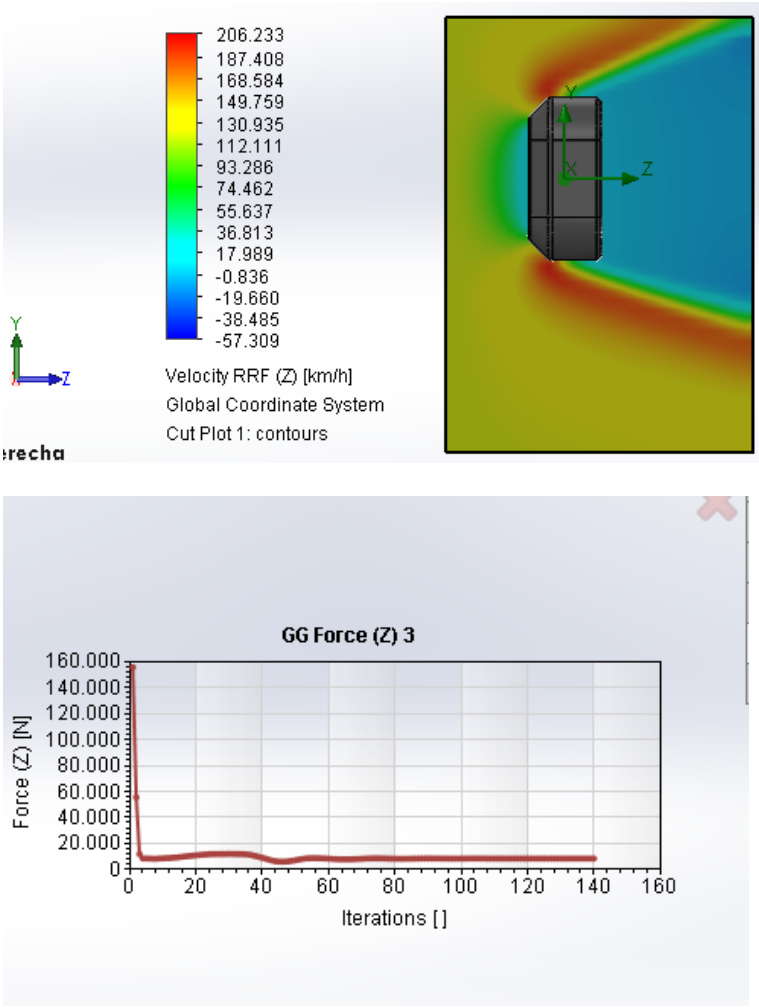
Trayectoria de Velocidad del Análisis y Simulación Aerodinámica en Retrovisor Base Plana



Determinado los criterios de las líneas de corriente se observa el comportamiento del fluido a través del área proyectada de cómo está influida la corriente para la velocidad y las líneas de corriente en la presión ejercida muestran los pequeños vórtices que se genera en el retrovisor. Ver Figura 58.

Figura 58

Representación de la Simulación de Comportamiento del Fluido en Retrovisor Base Plana



En la Figura 59 se muestra en resumen los valores de las líneas de corriente.

Figura 59

Representación de la Simulación de Comportamiento del Fluido en Retrovisor Base Plana

Summary

Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]	Use In Convergence	Delta	Criteria
GG Force (Z) 3	[N]	8.345	8.340	8.275	8.373	100	Yes	0.098	0.181

La fuerza de arrastre inducida que actúa sobre el plano de fuerza que en este caso son mínima, máxima y promedio para este caso, el valor que se utilizará es el valor promedio de la fuerza de 8.34 N. En la Tabla 2 del Capítulo III literal 3.5.1 Consideraciones Iniciales se muestra los valores para el cálculo del (C_d), con ellos se procede a aplicar la Ecuación 3 del

Capítulo II literal 2.8. Fuerza de Arrastre (F_d), despejando en dicha fórmula la que se requiere para obtener el Coeficiente de Arrastre (C_d) para el retrovisor base plana.

Ecuación 5

Cálculo del Coeficiente de Arrastre (C_d) para el Retrovisor Base Plana

$$C_d = \frac{2 \ + \ F_D}{p \ * \ v^2 \ * \ A}$$

$$C_d = \frac{2 \ + \ 8{,}34\ N}{(1{,}1849\ kg/m^3) \ * \ (33{,}33\ m/seg)^2 \ * \ (0{,}009847\ m^3)}$$

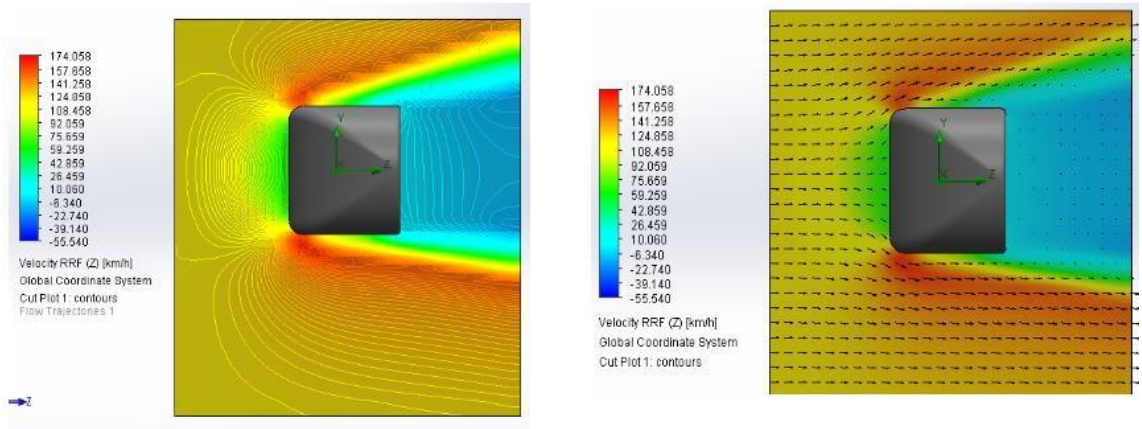
$$C_d = 1{,}29$$

4.1.6. Análisis de Velocidad Retrovisor Base Curva

En la Figura 60 se representa la vista de sección en un plano de como la velocidad resultante en el eje YZ está actuando y las líneas de corriente de esta forma permiten interpretar el flujo externo del aire a la velocidad seleccionada para el análisis.

Figura 60

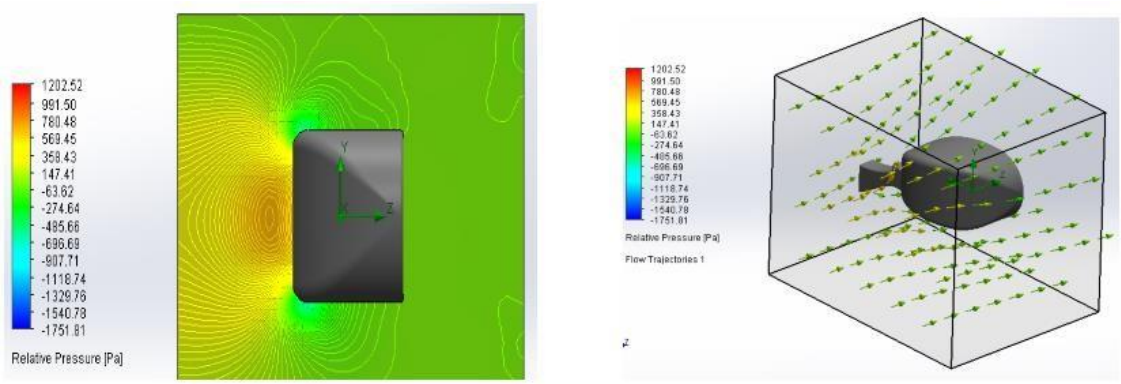
Contorno de Velocidad del Análisis y Simulación Aerodinámica en Retrovisor Base Curva



En la Figura 61 se representa la trayectoria de velocidad de la simulación y del análisis aerodinámico.

Figura 61

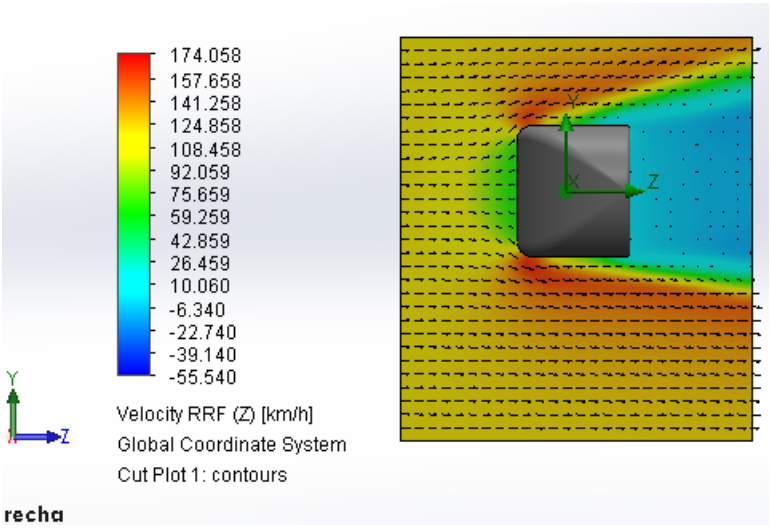
Trayectoria de Velocidad del Análisis y Simulación Aerodinámica en Retrovisor Base Curva

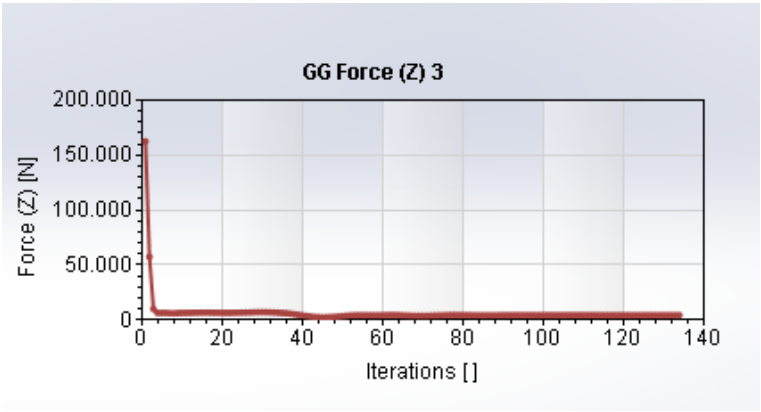


Determinado los criterios de las líneas de corriente se observa el comportamiento del fluido a través del área proyectada de cómo está influida la corriente para la velocidad y las líneas de corriente en la presión ejercida muestran los pequeños vórtices que se genera en el retrovisor. Ver Figura 62.

Figura 62

Representación de la Simulación de Comportamiento del Fluido en Retrovisor Base Curva

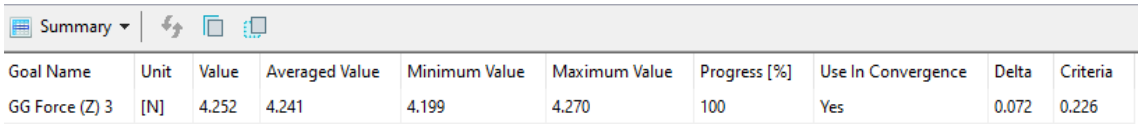




En la Figura 63 se muestra en resumen los valores de las líneas de corriente.

Figura 63

Representación de la Simulación de Comportamiento del Fluido en Retrovisor Base Curva



Summary

Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]	Use In Convergence	Delta	Criteria
GG Force (Z) 3	[N]	4.252	4.241	4.199	4.270	100	Yes	0.072	0.226

La fuerza de arrastre inducida que actúa sobre el plano de fuerza que en este caso son mínima, máxima y promedio para este caso, el valor que se utilizará es el valor promedio de la fuerza de 8.34 N. En la Tabla 2 del Capítulo III literal 3.5.1 Consideraciones Iniciales se muestra los valores para el cálculo del coeficiente de arrastre (C_d), con ellos se procede a aplicar la Ecuación 3 del Capítulo II literal 2.8. Fuerza de Arrastre (F_d), despejando en dicha fórmula la que se requiere para obtener el Coeficiente de Arrastre (C_d) para el retrovisor base curva.

Ecuación 6

Cálculo del Coeficiente de Arrastre (C_d) para Retrovisor Base Curva

$$C_d = \frac{2 \quad + \quad F_D}{p \quad * \quad v^2 \quad * \quad A}$$

$$C_d = \frac{2 \quad + \quad 8{,}34\ N}{(1{,}1849\ kg/m^3) \quad * \quad (33{,}33\ m/seg)^2 \quad * \quad (0{,}008483\ m^3)}$$

$$C_d = 0{,}76$$

4.1.7. Resultados Obtenidos con el Análisis Estático en el Retrovisor Base Plana

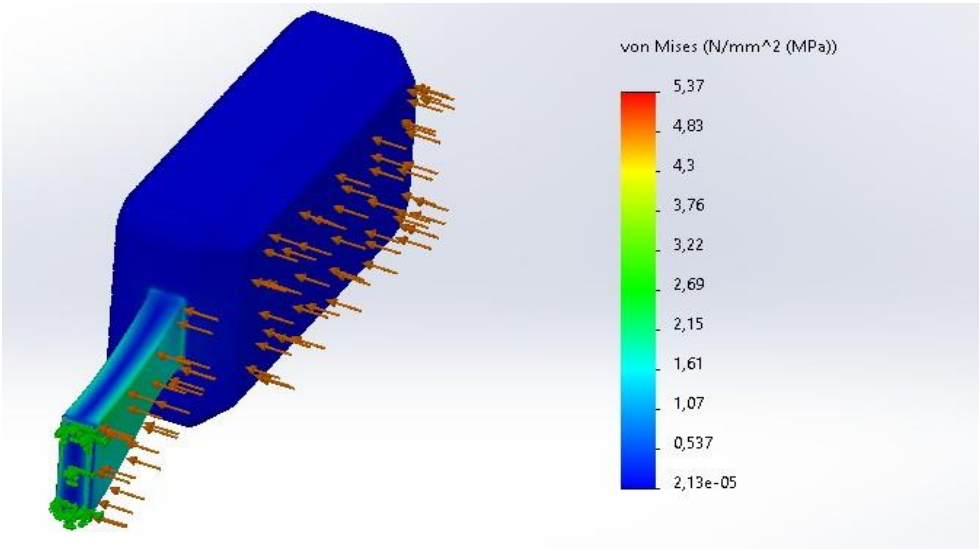
En el análisis estático para el retrovisor base plana se obtuvo los siguientes resultados:

- El análisis del esfuerzo principal de tensión Von Mises, representado en la Figura 64, revela cómo los esfuerzos predominantes se concentran en el borde de sujeción del brazo de palanca. Estos esfuerzos generan un momento significativo en dicha área, lo que indica una alta concentración de tensiones en ese punto crítico. La escala de colores utilizada en la representación visual permite identificar las zonas de mayor y menor esfuerzo, destacando el valor máximo alcanzado de 5.37 MPa. Esta concentración de

esfuerzos sugiere la necesidad de un diseño robusto en esa región para evitar fallos estructurales, garantizando así la integridad del sistema bajo las condiciones operativas simuladas.

Figura 64

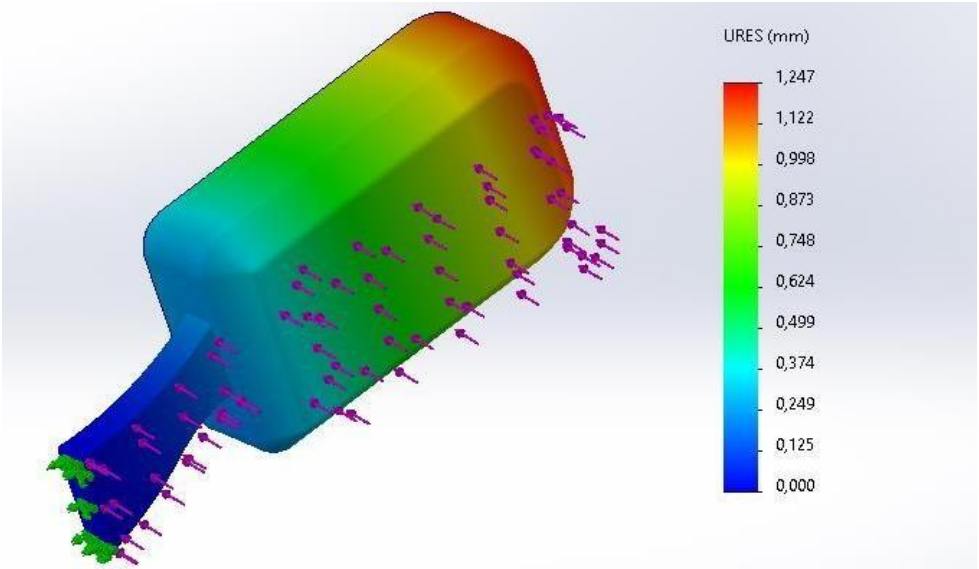
Esfuerzo Principal Tensión Von Mises en Retrovisor Base Plana



- Desplazamiento: en la Figura 65 se observa que los desplazamientos obtenidos son de un máximo de 1.25 mm en la parte más alejada del borde.

Figura 65

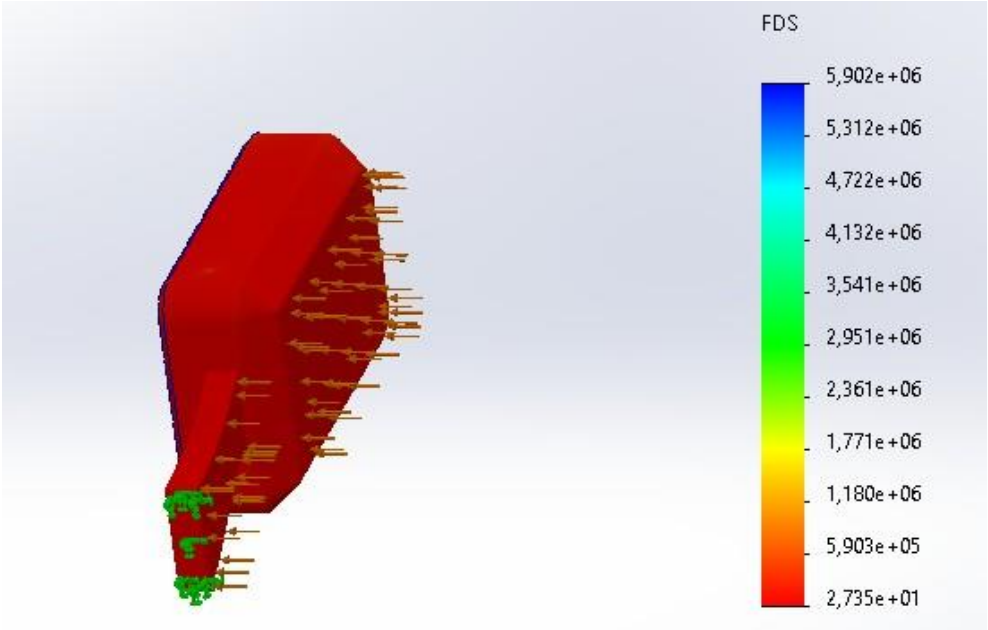
Desplazamiento en Retrovisor Base Plana



- Factor de seguridad: en la Figura 66 se representa el factor de seguridad que se encuentra en un rango > 1.

Figura 66

Factor de Seguridad en Retrovisor Base Plana



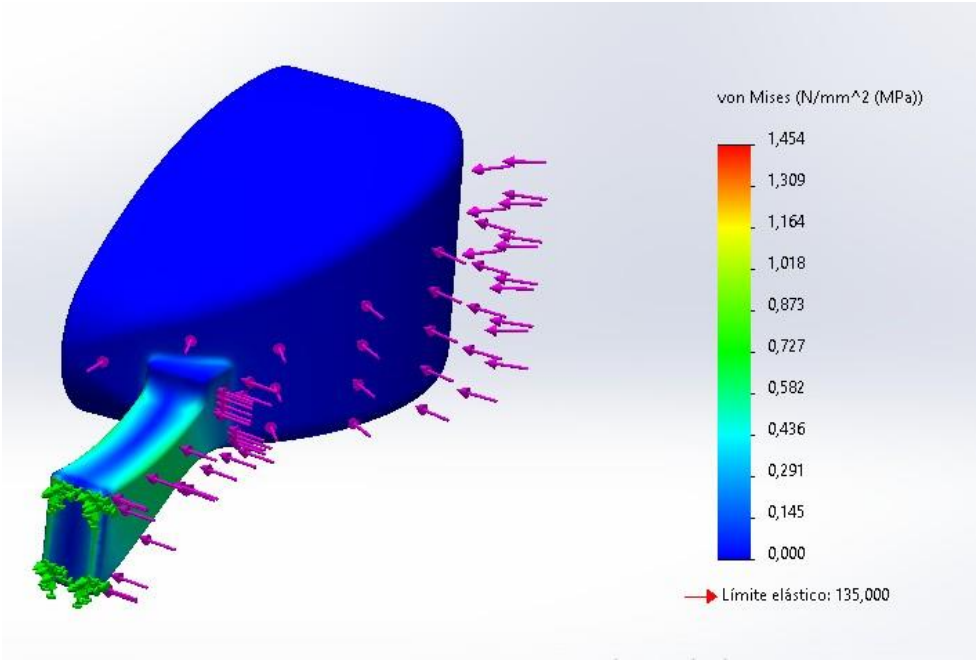
4.1.8. Resultados Obtenidos con el Análisis Estático en el Retrovisor Base Curva

En el análisis estático para el retrovisor base curva se obtuvo los siguientes resultados:

- El esfuerzo principal de tensión Von Mises es un parámetro crítico que permite evaluar la resistencia del material ante las cargas aplicadas.
- En la Figura 67, se observa cómo los esfuerzos se concentran principalmente en el borde de la sujeción del brazo de palanca, donde el material está sometido a las mayores tensiones. Este comportamiento indica la presencia de un momento significativo en esa zona, lo que podría ser un punto crítico de fallo si no se refuerza adecuadamente. La escala de colores utilizada en la figura ilustra la distribución de los esfuerzos, con un valor máximo de 1.45 MPa, lo que permite identificar claramente las áreas de mayor riesgo y planificar intervenciones para mejorar la integridad estructural del componente.

Figura 67

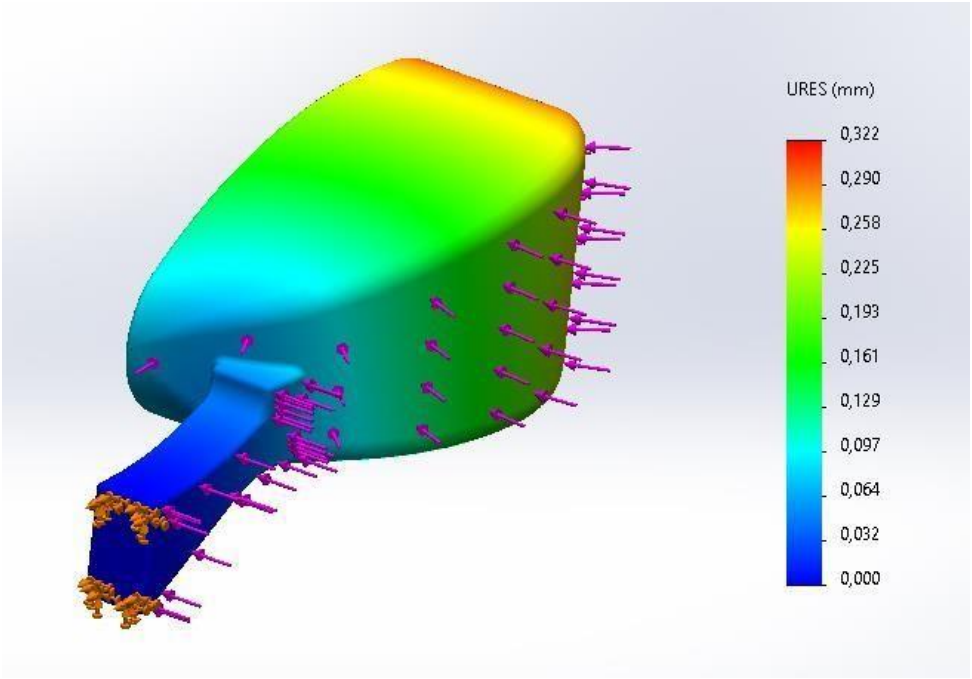
Esfuerzo Principal Tensión Von Mises en Retrovisor Base Curva



- Desplazamiento: en la Figura 68 se observa que los desplazamientos obtenidos son de un máximo de 1 mm en la parte más alejada del borde.

Figura 68

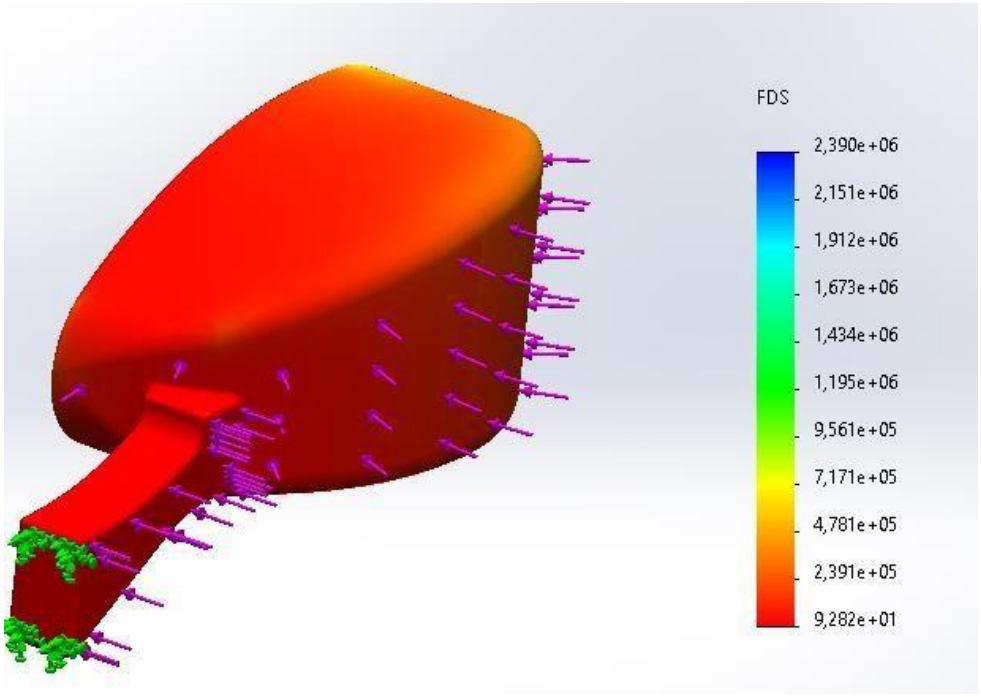
Desplazamiento en Retrovisor Base Curva



- Factor de seguridad: en la Figura 69 se representa el factor de seguridad que se encuentra en un rango > 1.

Figura 69

Factor de Seguridad en Retrovisor Base Curva



4.1.9. Comparativa de Resultados Obtenidos en los Retrovisores

En la Tabla 3 se presenta la relación de resultantes obtenidos en cada retrovisor, base plana y curva, con respecto a la simulación realizada en cada uno.

Tabla 3

Comparativa de Resultados Obtenidos en los Retrovisores

Análisis	**Valor**	
	Base Plana	**Base Curva**
Área proyectada en el espejo del retrovisor	0.007857 m^2	0.007855 m^2
Área proyectada donde el flujo de aire se presenta	0.009847 m^2	0.008483 m^2
Coeficiente de arrastre (C_d) aplicando la fuerza de 8.34 N	1.29	0.76
Esfuerzo principal de tensión Von Mises	5.37 MPa	1.45 MPa
Desplazamiento	0.00125 m	0.001 m
Factor de seguridad	> 1	> 1

Las resultantes de la Tabla 3 presenta que para el caso de un vehículo M1 se debe optar por un retrovisor de base curva porque tiene una menor área de proyección, menor coeficiente de arrastre, un menor esfuerzo y desplazamiento, y el factor de seguridad es > 1, lo que se traduciría en la aplicación real a que el vehículo tendrá menor resistencia al paso de aire, podrá desplazarse sin inconveniente alguno, influirá en que consuma menos combustible (aunque de forma mínima la relación velocidad – consumo – potencia), y las ondas de choque y turbulencia que se generen en la base del retrovisor se desplazan hacia arriba y hacia abajo manteniendo sobre la calzada las ruedas por la resistencia que se aplica.

Conclusiones

Se analizó comparativamente la aerodinámica entre dos modelos de retrovisores de base plana y curva aplicadas a vehículos M1 por medio de simulación en túnel de viento virtual del Software SolidWorks obteniendo que en el retrovisor de base plana ejerciendo la presión en la base y en sus bordes extremos con una velocidad del flujo de aire de 202.031 km/h, hay una presión relativa que va de 980.09 a 2098.09 Pa en aplicación de los criterios de *Skewness* y *Orthogonal Quality*. A diferencia del retrovisor de base curva aplicando los mismos datos de entrada se obtiene un valor máximo 1199.16 Pa lo cual se concluye que es una menor presión ejercida e ideal para vehículos M1

Se realizó una investigación sobre los conceptos aerodinámicos aplicados al sector de la industria automotriz para realizar el análisis de los flujos de aire que pasan por cada retrovisor (plano y curvo) y así conocer su efectividad aplicada en vehículos M1, obteniendo que el retrovisor de base curva resultó ser más aerodinámico en comparación a el retrovisor de base plana por el hecho de presentar mejor características en su lado posterior curvo, y esto hace que el flujo de aire al estar sometido a condiciones externas pueda superar esa fuerza de arrastre de mejor forma.

Se generaron un modelo tridimensional de cada retrovisor, plano y curvo, con su respectiva simulación aerodinámica, obteniendo en el retrovisor de base plana un coeficiente de arrastre de 1.29, a diferencia del retrovisor de base curva que es de 0.76, es decir, que existe una razón de reducción de 41.08%, valor muy significativo al momento de que el vehículo M1 va ser más eficiente y ahorrar combustible por tener menor choque y mayor paso de flujo de aire contra sus retrovisores.

En el análisis estático se obtuvo en el retrovisor de base plana un esfuerzo de tensión de 5.37 Mpa siendo para el límite de fluencia estar por muy por debajo del esfuerzo máximo en comparación del retrovisor de base curva que tiene 1.45 MPa a pesar de que se encuentra por

debajo del límite elástico máximo no representan complicaciones para el componente y por lo cual se considera un rango óptimo de trabajo.

De igual manera el desplazamiento en el retrovisor de base plana el valor de 1.25 mm en la parte más alejada del borde es muy bajo en comparación del retrovisor de base curva que tiene un valor inferior a 1 mm lo cual representa un estado óptimo en aerodinámica del modelo del retrovisor, es decir haciéndolo ideal para uso de vehículos M1.

Recomendaciones

Dado que el retrovisor de base curva presenta una menor presión relativa en comparación con el retrovisor de base plana, se recomienda optar por el retrovisor de base curva para los vehículos M1, ya que su menor presión indica una mejor aerodinámica. Esta elección puede mejorar la eficiencia del vehículo y reducir la resistencia al flujo de aire.

Basado en los resultados que muestran una mejor aerodinámica del retrovisor de base curva, se sugiere que los diseñadores de vehículos M1 consideren incorporar retrovisores con diseño curvo. Este diseño puede mejorar la eficiencia del vehículo al reducir la resistencia al flujo de aire y, por ende, optimizar el rendimiento general.

Aunque ambos retrovisores están por debajo del límite de fluencia, el retrovisor de base curva tiene un esfuerzo de tensión menor (1.45 MPa frente a 5.37 MPa). Se recomienda considerar el retrovisor de base curva para aplicaciones en vehículos M1 debido a su mejor comportamiento bajo esfuerzos estáticos, lo que puede contribuir a una mayor durabilidad y confiabilidad del componente

Finalmente se recomienda desarrollar cursos de manejo de Softwares CAM y CAD para generar diseños planos en diseños 3D, donde se pueda realizar pruebas análisis de materiales, técnicas, cargas, esfuerzos, resistencias, entre otros.

Bibliografía

An, K., y Fung, J. (2018). An improved SST ƙ - ɯ model for pollutant dispersion simulations within an isothermal boundary layer. *ScienceDirect, 179*, 369-384. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jweia.2018.06.010

Ashby, M. F. (2000). *Material Selection in Mechanical Desing. Butterworth Heinemann*. http://www.utc.fr/~hagegebe/UV/MQ12/CORRECTIONS_TD/%5BASHBY99%5D%20-

Autodesk Support. (2023). Como refinar la malla en los nodos seleccionados en robot structural analysis. https://www.autodesk.es/support/technical/article/caas/sfdcarticles/sfdcarticles/ESP/How-to-refine-mesh-in-selected-points-in-Robot-Structural-Analysis.html

Brecht, D., Troch, P., y Rauwoens, P. (2018). Performance of a buoyancy-modified k-ω and k-ω SST turbulence model for simulating wave breaking under regular waves using OpenFOAM. *ScienceDirect, 138*, 49-65. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2018.04.011

Cengel, A. Y., y Boles, A. M. (2011). *Termodinamica.* McGraw-Hill.

Cengel, Y. A., y Cimbala, J. M. (2012). *Mecanica de Fluidos. Fundamentos y aplicaciones* (Segunda ed.). México, México: MCGraw Hill. https://archive.org/details/mecanicadefluidosfundamentoyunusa.cengel/page/n3/mode/2up

Connor, N. (2019). *Qué es el coeficiente de arrastre – Características de arrastre – Definición.* Thermal Engineering: https://www.thermal-engineering.org/es/que-es-el-coeficiente-de-arrastre-caracteristicas-de-arrastre-definicion/

De la Cavada, I. (2022). *Aerodinámica.* Madrid.

Frausto-Robledo, A. (2022). Autodesk AutoCAD 2023 — AI, Upskilling Users and Performance. https://architosh.com/2022/05/autodesk-autocad-2023-ai-upskilling-users-and-performance/

Grupo One Air. (s.f). *One Air*. https://www.oneair.es/que-es-el-efecto-venturi/

Jeep. (2023). *Recambios Originales MOPAR para tu JEEP*. https://www.jeep.es/mopar/recambios/espejos-retrovisores-jeep

Legal Information Institute. (2014). *49 CFR § 571.111 - Norma N.° 111; Visibilidad trasera*. https://www.law.cornell.edu/cfr/text/49/571.111

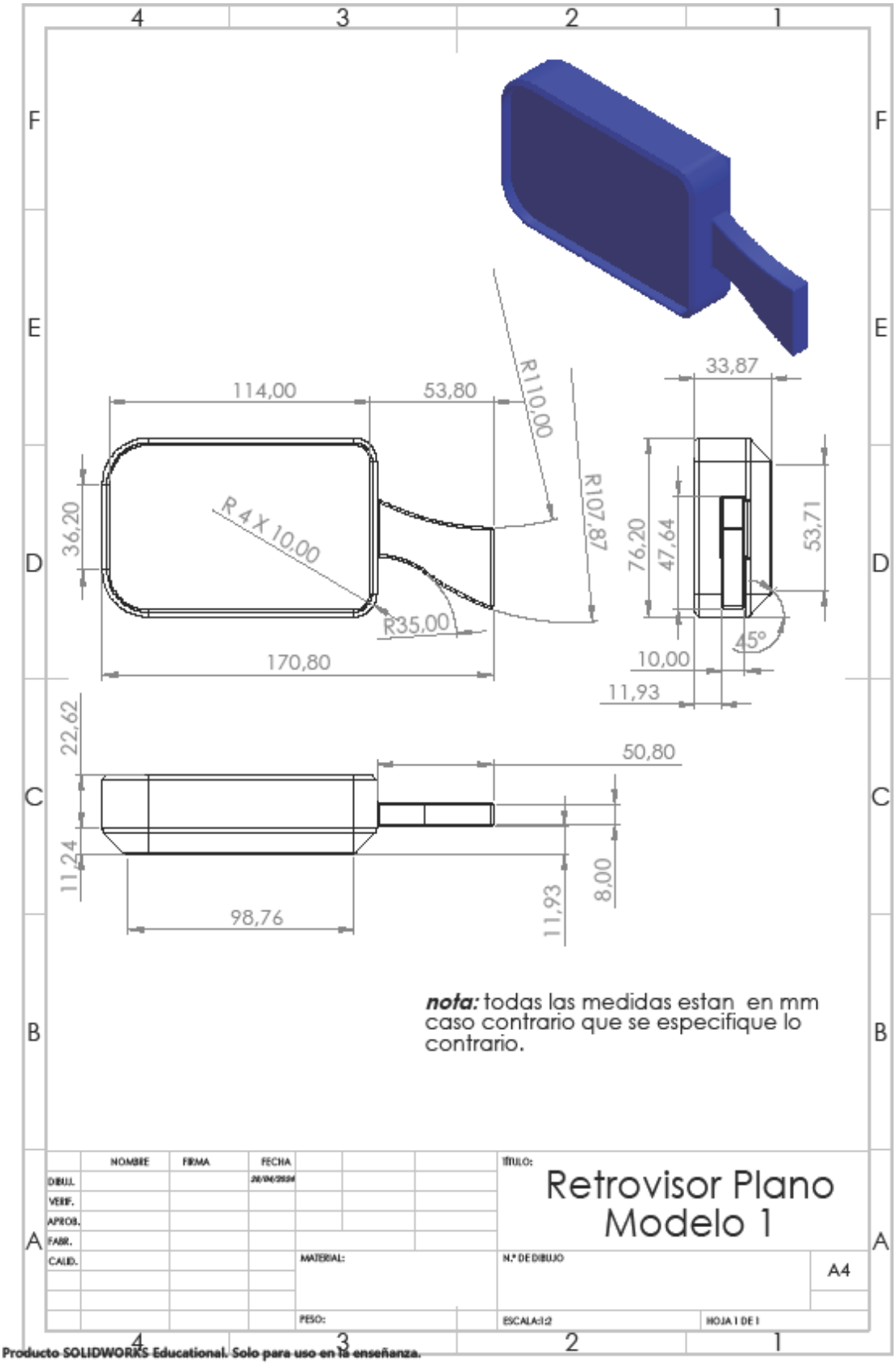
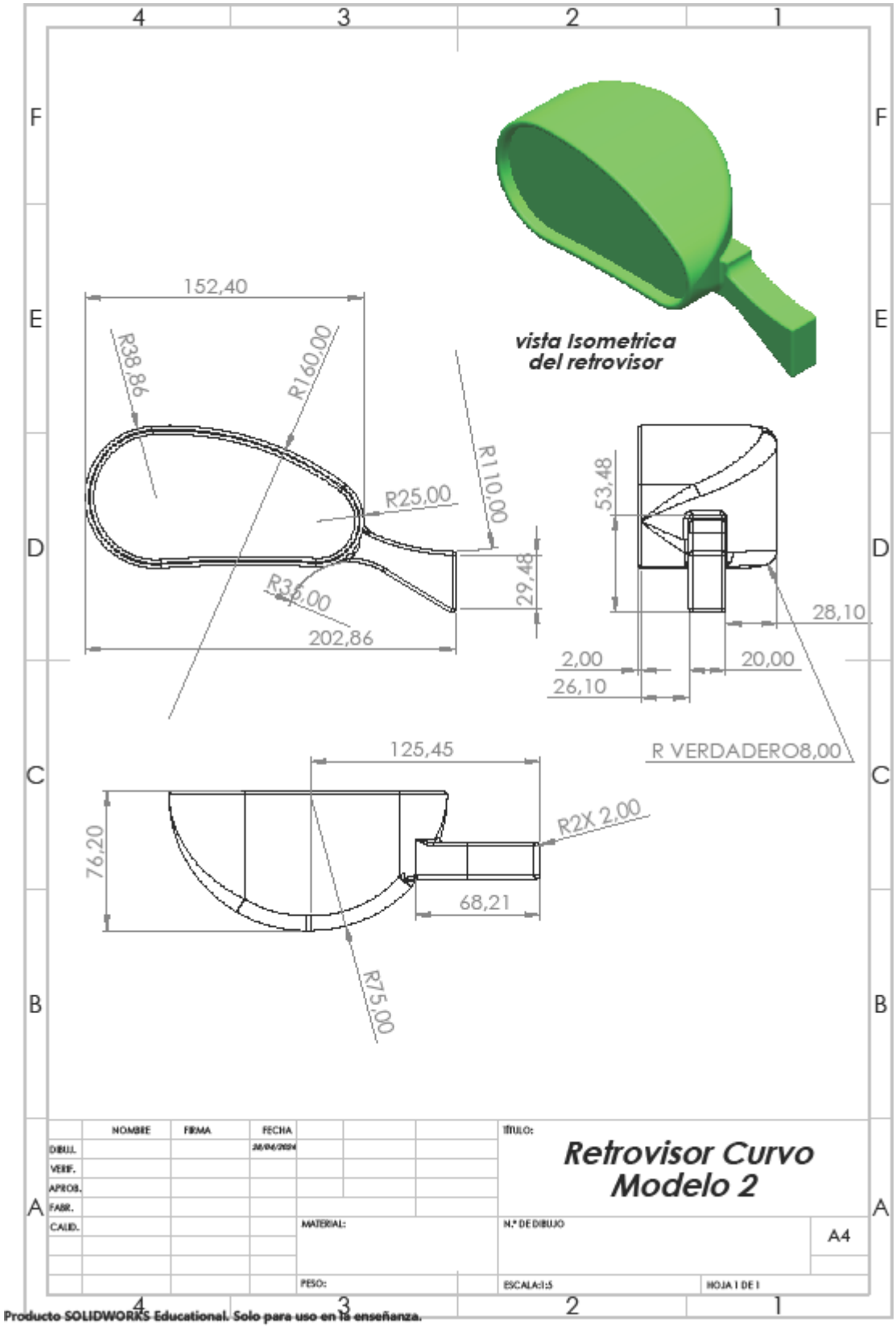
Loza Chávez, R. A., y Pila Espinosa, G. A. (2017). Fabricación de un retrovisor para el vehículo Suzuki Forsa con material compuesto de matriz polimérica de poliéster y refuerzo natural de cabuya. Riobamba, Ecuador.

Rivera Berrío, J. G. (2022). *FÍSICA VOLUMEN I.* Córdoba, España: RED Descartes.

Vera, E. (2017). *Propuesta de diseño ergonómicoen butacas de vehículos monoplaza, para equipos ecuatorianos participantes de la Formula Student.* Quito: UISEK.

Anexos

A. Plano del retrovisor base plana



B. Plano del retrovisor base curva