



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

CONSTRUCCIÓN DE UN TÚNEL DE VIENTO CON ESPEJOS SCHLIEREN PARA
LA VISUALIZACIÓN DEL EFECTO AERODINÁMICO EN VEHÍCULOS A ESCALA
PARA EL TALLER DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ DE LA UNIVERSIDAD
POLITÉCNICA SALESIANA SEDE QUITO

Trabajo de titulación previo a la obtención
del Título de Ingeniero Automotriz

AUTORES: SANDRA CRISTINA MORALES ALDAZ
STEEVEN MARTIN LOMAS HARO

TUTOR: CARLOS DAVID ÁLVAREZ BASANTES

Quito - Ecuador

2023

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Sandra Cristina Morales Aldaz con documento de identificación N° 1722766159 y Steeven Martin Lomas Haro con documento de identificación N° 1723677116 manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 11 de septiembre del año 2023

Atentamente,



Sandra Cristina Morales Aldaz
1722766159



Steeven Martin Lomas Haro
1723677116

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Nosotros, Sandra Cristina Morales Aldaz con documento de identificación No. 1722766159 y Steeven Martin Lomas Haro con documento de identificación No. 1723677116, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto Técnico: “Construcción de un túnel de viento con espejos Schlieren para la visualización del efecto aerodinámico en vehículos a escala para el taller de ingeniería automotriz de la universidad politécnica salesiana sede Quito”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de Ingenieros Automotrices, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana

Quito, 11 de septiembre del año 2023

Atentamente,

Sandra Cristina Morales Aldaz
1722766159


Steeven Martin Lomas Haro
1723677116

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Carlos David Álvarez Basantes con documento de identificación N° 0604240796, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: CONSTRUCCIÓN DE UN TÚNEL DE VIENTO CON ESPEJOS SCHLIEREN PARA LA VISUALIZACIÓN DEL EFECTO AERODINÁMICO EN VEHÍCULOS A ESCALA PARA EL TALLER DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE QUITO, realizado por Sandra Cristina Morales Aldaz con documento de identificación N° 1722766159 y por Steeven Martin Lomas Haro con documento de identificación N° 1723677116, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción: Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 11 de septiembre del año 2023

Atentamente,



Ing. Carlos David Álvarez Basantes, MI.

0604240796

DEDICATORIA

Dicho proyecto está dedicado en primer lugar a Dios por haberme dado el privilegio de llegar a este momento tan importante en mi vida, brindándome su infinito amor y bondad.

A mis padres Sandra Aldaz y Leonel Morales por su amor ágape, su sacrificio, su apoyo incondicional y por enseñarme a nunca rendirme ante los obstáculos de la vida, me siento muy agradecida por haberme forjado como la persona que soy actualmente, todos mis logros se los debo a ustedes.

A mi hermano Danny Morales, por acompañarme siempre en este camino y brindarme todo su apoyo, y estar presente en cada momento de mi vida.

A mi hija Julieth Romina, por compartirme todo su amor y tanta felicidad ante todas las adversidades, por lo que es el mayor tesoro de mi vida y mi fuente de inspiración.

Y en especial a mi abuelito Samuel Morales, que, aunque no esté en el plano terrenal, espiritualmente siempre ha estado conmigo y desde el cielo me ilumina para seguir adelante.

Cristina Morales

Dedico el presente proyecto a quienes han sido mi mayor apoyo y fuente inagotable de motivación, a mis amados padres, Sandra Haro y Jorge Lomas, y a mis queridos hermanos Robinson lomas y Lieko lomas.

A ustedes que han estado a mi lado en cada paso de este camino, brindándome su apoyo incondicional, alentándome en momentos de duda y celebrando mis logros con alegría. su amor, paciencia y confianza, han sido pilares fundamentales en mi vida y poder lograr todos mis objetivos.

A mi madre Sandra, cuyo amor y dedicación han sido el motor que me impulsa a superar cualquier obstáculo. Tus palabras de aliento y tu sabiduría han sido mi guía en cada decisión que he tomado.

A mi padre Jorge, cuya fortaleza y ejemplo de perseverancia me han inspirado a dar siempre lo mejor de mí. Tus enseñanzas y consejos han sido fundamentales para mi crecimiento personal y académico.

A mi hermano Robinson, mi cómplice de aventuras y confidente incondicional. Tu apoyo constante y tu alegría contagiosa han sido mi combustible en los momentos más desafiantes.

Y a mi hermana Domenica, mi compañera de risas y confidente de secretos. Tu amor incondicional y tu presencia en mi vida han sido un regalo invaluable.

Esta tesis es el resultado del esfuerzo conjunto de nuestra familia, un testimonio de la importancia del amor, la unidad y el apoyo mutuo. Gracias por ser mi mayor inspiración y por creer en mí incluso cuando yo dudaba. Les dedico este logro con todo mi corazón y les agradezco eternamente por ser mi familia.

Steeven lomas

AGRADECIMIENTO

Mis sinceros agradecimientos a todos los docentes de ingeniería automotriz por brindarme todos los conocimientos y experiencias vividas a lo largo de todo el proceso académico, sus consejos, sugerencias y discusiones han enriquecido enormemente mi comprensión del campo automotriz.

Y una vez más agradecerles a mis padres por ser los principales promotores de mis sueños, ya que sin su apoyo esta nueva meta no hubiera sido posible.

Cristina Morales

Mis sinceros agradecimientos a los ingenieros de la carrera de ingeniería automotriz que han contribuido en el desarrollo y éxito de esta tesis.
Agradezco al equipo de ingenieros de procesos de manufactura, quienes han brindado su valioso conocimiento y experiencia en el diseño y análisis de los componentes aerodinámicos de los dragsters.

Steeven lomas

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	3
INTRODUCCIÓN	5
PROBLEMA.....	6
Objetivo General.....	9
Objetivos Específicos.....	9
MARCO TEÓRICO.....	10
CAPÍTULO 1	1
DISEÑO DE UN TUNEL DE VIENTO CON LA IMPLEMENTACIÓN DE ESPEJOS DE EFECTO SCHLIEREN MEDIANTE SOLIDWORKS.....	1
Zona de pruebas.....	1
1.1.1 Consideraciones a escala	1
1.1.1.1 Dimensiones	1
1.1.1.2 Tipo de flujo.....	2
1.1.1.3 Cálculo del caudal de aire necesario para el túnel de viento.....	6
1.1.2 Zona de contracción.....	7
1.1.2.1 Consideraciones a escala.....	7
1.1.2.2 Dimensiones	7
1.1.2.3 Cálculo del número de Match	8
1.1.2.4 Cálculo de pérdidas en la contracción.....	9
1.1.2.5 Cálculo de pérdida en el estabilizador del flujo.....	9
1.1.3 Zona del difusor cónico.....	10
1.1.3.1 Consideraciones a escala.....	10
1.1.3.2 Dimensiones	11
1.1.3.3 Cálculo del difusor cónico.....	12
1.1.4 Zona del estabilizador.....	12
1.1.4.1 Consideraciones a escala.....	12
1.1.4.2 Dimensiones	13
1.1.5 Diseño y dimensionamiento de las principales zonas del túnel de viento	13
1.1.6 Modelamiento tridimensional del túnel de viento.....	14
CAPÍTULO 2.....	16
CONSTRUCCIÓN DE UN TUNEL DE VIENTO CON LA ADAPTACIÓN DE ESPEJOS DE EFECTO SCHLIEREN.....	16
2.1 Materiales utilizados para la construcción del túnel de viento	16
2.1.1 Tol mate 1/40.....	17
2.1.2 Acrílico 5 mm.....	18
2.1.3 Sorbetes termoplásticos gruesos.....	18

2.1.4	Platina cuadrada gruesa de 3mm	19
2.1.5	Platina delgada de 4mm.....	20
2.1.6	Tubo estructural cuadrado	21
2.1.7	Varilla cuadrada.....	21
2.2	Materiales eléctricos utilizados para la construcción del túnel de viento.....	21
2.2.1	Ventilador tubo axial 12” alta presión Mingletec MFJ-D30	22
2.2.1.1	Aplicación del ventilador en el túnel de viento.....	23
2.2.2	Cámara de humo	23
2.2.2.1	Aplicación de la cámara de humo en el túnel de viento.....	25
2.3	Construcción del túnel de viento.....	25
2.3.1	Zona de pruebas.....	25
2.3.2	Zona de contracción.....	26
2.3.3	Zona del estabilizador.....	28
2.3.4	Zona del difusor cónico	29
2.3.5	Unión de la estructura del túnel de viento	32
2.3.6	Estructura para el ventilador.....	33
2.4	Acabado del túnel de viento.....	34
2.4.1	Pintura esmalte azul.....	34
2.4.2	Pintura aerosol amarillo.....	34
2.5	Análisis de costos.....	34
CAPÍTULO 3.....		36
DETERMINAR LOS DISTINTOS COMPORTAMIENTOS AERODINÁMICOS OBTENIDOS SOBRE EL DRAGTER		36
3.1	Efecto Schlieren	36
3.1.1	Efecto Schlieren mediante un espejo cóncavo	36
3.1.2	Elementos y montaje para adquirir el efecto Schlieren a través del túnel de viento	37
3.1.3	Cálculo para el efecto Schlieren	37
3.2	Operaciones aerodinámicas sobre los dragsters.....	37
3.2.1	Zonas de alto flujo y zonas de bajo flujo.	38
3.3	Pruebas visuales aerodinámicas sobre los dragsters	38
3.3.1	Prueba 1	39
3.3.2	Prueba 2	40
3.3.3	Prueba 3	41
CAPÍTULO 4.....		43
COMPARAR LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL TÚNEL DE VIENTO CONTRA LOS RESULTADOS OBTENIDOS MEDIANTE SOFTWARE FLUENT.....		43
4.1	Software Fluent.....	43

4.1.1	Resultados del software Fluent.....	43
4.1.2	Análisis de los resultados	44
4.2	Software SolidWorks	45
4.2.1	Resultados del software SolidWorks.....	45
4.3	Mejor alternativa de resultados.....	48
CONCLUSIONES		50
RECOMENDACIONES		51
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		52
ANEXOS.....		54

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Zona de pruebas	1
Figura 1.2 Datos Inhami	3
Figura 1.3 Datos de la presión atmosférica	4
Figura 1.4 Presión atmosférica	4
Figura 1.5 Zona de contracción	8
Figura 1.6 Zona del difusor cónico	11
Figura 1.7 Zona del estabilizador	13
Figura 1.8 Esquema del túnel de viento	14
Figura 1.9 Esquema sólido frontal del túnel de viento	15
Figura 1.10 Esquema sólido posterior del túnel de viento	15
Figura 2.1 Selección del material más viable	17
Figura 2.2 Sorbetes termoplásticos	19
Figura 2.3 Platina de espesor 3mm.....	20
Figura 2.4 Platina cuadrada de grosor 4mm	20
Figura 2.5 Selección de materiales eléctricos viables	22
Figura 2.6 Ventilador Mingletec	22
Figura 2.7 Cámara de humo	23
Figura 2.8 Cámara de humo lateral	24
Figura 2.9 Doblado de tól.....	26
Figura 2.10 Zona de contracción doblada	27
Figura 2.11 Zona de contracción remachada.....	27
Figura 2.12 Sorbetes pegados.....	28
Figura 2.13 Estabilizador en forma de Honeycomb	29
Figura 2.14 Zona del difusor cónico	30
Figura 2.15 Aro de platina.....	30
Figura 2.16 Salida del difusor cónico.....	31
Figura 2.17 Zona del difusor cónico con remaches.....	31
Figura 2.18 Zona del difusor cónico unido	32
Figura 2.19 Unión de la estructura	33
Figura 2.20 Túnel de viento unido	33
Figura 2.21 Soporte para el ventilador	33
Figura 3.1 Espejo cóncavo	36
Figura 3.2 Zonas de alto y bajo flujo.....	38
Figura 3.3 Prueba aerodinámica 1	40
Figura 3.4 Dragster modelo 1	40
Figura 3.5 Prueba aerodinámica 2	41
Figura 3.6 Dragster modelo 2	41
Figura 3.7 Prueba aerodinámica 3	42
Figura 3.8 Dragster modelo 3.....	42
Figura 4.1 Simulador Fluent.....	44
Figura 4.2 Comportamiento aerodinámico sobre la superficie del vehículo.....	44

RESUMEN

El presente trabajo de titulación aborda la temática relacionada con el diseño y construcción de un túnel de viento con la implementación de espejos de efecto Schlieren para la visualización del comportamiento aerodinámico en vehículos a escala.

La investigación se enfocó en comprender y aplicar el efecto Schlieren como una técnica para visualizar los flujos de aire alrededor de los vehículos. Se llevó a cabo un minucioso estudio que abarcó tanto los principios teóricos como las técnicas de diseño de túneles de viento. Se puso especial énfasis en la incorporación de espejos Schlieren, los cuales mejoran el post procesamiento de la calidad de las imágenes.

Para validar los resultados obtenidos, se realizaron pruebas en el túnel de viento utilizando dos softwares: Fluent y SolidWorks. El software Fluent permitió realizar simulaciones computacionales que proporcionaron datos numéricos y visualizaciones detalladas del comportamiento aerodinámico. Por otro lado, SolidWorks facilitó el análisis visual y estructural del vehículo a escala, permitiendo evaluar su resistencia aerodinámica y optimizar su diseño.

Al comparar los resultados obtenidos tanto en el túnel de viento como mediante los softwares Fluent y SolidWorks, se encontraron diferencias visuales del flujo del aire en cuanto al nivel de detalle y precisión. El software Fluent se destacó por su capacidad de simulación y análisis detallado, brindando información valiosa para el estudio. Por su parte, SolidWorks ofreció una representación visual realista y una evaluación más directa de la estructura del vehículo.

La implementación de espejos de efecto Schlieren en un túnel de viento resultó ser una técnica efectiva y prometedora para la visualización del efecto aerodinámico en vehículos a escala, como los dragsters. La combinación de simulaciones computacionales y análisis visual permitió obtener una comprensión más completa del comportamiento del flujo de aire y la optimización del diseño.

Estos hallazgos tienen importantes implicaciones para futuras investigaciones en el campo de la aerodinámica vehicular y podrían contribuir al desarrollo de vehículos más eficientes y seguros. Además, se destacan las ventajas y limitaciones de los softwares Fluent y SolidWorks en la obtención y análisis de resultados.

Se espera aportar al avance del conocimiento en el área de la aerodinámica vehicular y sentar las bases para futuras investigaciones y mejoras en el diseño de vehículos a escala.

Palabras Claves: Túnel de viento, espejos Schlieren, efecto aerodinámico, vehículos a escala.

ABSTRACT

The present degree work addresses the theme related to the design and construction of a wind tunnel with the implementation of Schlieren effect mirrors for the visualization of aerodynamic behavior in scale vehicles.

The research focused on understanding and applying the Schlieren effect as a technique to visualize airflows around vehicles. A thorough study was carried out covering both theoretical principles and wind tunnel design techniques. Special emphasis was placed on the incorporation of Schlieren mirrors, which allow post-processing to improve the quality of the images.

To validate the results obtained, tests were carried out in the wind tunnel using two software: Fluent and SolidWorks. Fluent software enabled computational simulations that provided numerical data and detailed visualizations of aerodynamic behavior. On the other hand, SolidWorks facilitated the visual and structural analysis of the vehicle to scale, allowing to evaluate its aerodynamic resistance and optimize its design.

When comparing the results obtained both in the wind tunnel and through the Fluent and SolidWorks software, visual differences of the air flow were found in terms of the level of detail and precision. The Fluent software stood out for its simulation capabilities and detailed analysis, providing valuable information for the study. For its part, SolidWorks offered a realistic visual representation and a more direct evaluation of the structure of the vehicle.

The implementation of Schlieren effect mirrors in a wind tunnel turned out to be an effective and promising technique for visualizing the aerodynamic effect on scale vehicles, such as dragsters. The combination of computational simulations and visual analysis allowed for a more complete understanding of airflow behavior and design optimization.

These findings have important implications for future research in the field of vehicle aerodynamics and could contribute to the development of more efficient and safer vehicles.

In addition, the advantages and limitations of Fluent and SolidWorks software in obtaining and analyzing results are highlighted.

It is expected to contribute to the advancement of knowledge in the area of vehicle aerodynamics and lay the foundations for future research and improvements in the design of scale vehicles.

Keywords: Wind tunnel, Schlieren mirrors, aerodynamic effect, scale vehicles.

INTRODUCCIÓN

La investigación realizada en este trabajo se centra en el diseño, construcción y análisis de un túnel de viento con la implementación de espejos de efecto Schlieren para el estudio del comportamiento aerodinámico en vehículos a escala.

En el Capítulo 1, se analiza el proceso de diseño del túnel de viento, considerando los aspectos técnicos y funcionales necesarios para su correcta implementación. Se presta especial atención a la incorporación de los espejos de efecto Schlieren, una técnica innovadora que permite visualizar los flujos de aire alrededor del vehículo de forma precisa y detallada. Se exploran los fundamentos teóricos y los principios de operación de los espejos de efecto Schlieren, así como su importancia en el estudio de la aerodinámica vehicular.

En el Capítulo 2, se proporciona un detalle del proceso de construcción del túnel de viento, desde la selección de materiales y componentes hasta la configuración y puesta en marcha del sistema. Se describen las etapas y los desafíos involucrados en la construcción, asegurando la calidad y la eficiencia del túnel de viento. Se resalta la importancia de seguir los estándares o consideraciones para garantizar resultados confiables y reproducibles en las pruebas experimentales.

En el Capítulo 3, se lleva a cabo el análisis del comportamiento aerodinámico sobre el dragster utilizando varios ángulos disponibles en el túnel de viento. Se realizan pruebas experimentales con el objetivo de observar las características del flujo de aire alrededor del vehículo. Se realiza un análisis para evaluar los efectos de la velocidad, la resistencia aerodinámica de la superficie y otros parámetros en el rendimiento aerodinámico del dragster.

En el Capítulo 4, se lleva a cabo una comparación entre los resultados obtenidos en el túnel de viento y aquellos generados mediante el uso de software como Fluent y SolidWorks. El software Fluent de simulación computacional permite realizar análisis numéricos y visualizaciones detalladas del comportamiento aerodinámico del vehículo. Se examinan las similitudes y las diferencias entre los datos experimentales y los datos simulados, destacando las ventajas y las limitaciones de cada enfoque.

Los resultados obtenidos proporcionan una comprensión más profunda de los flujos de aire alrededor de estos vehículos a escala, permitiendo optimizar su diseño y mejorar su rendimiento.

PROBLEMA

La resistencia aerodinámica es un fenómeno que se opone a la fuerza de movimiento de un cuerpo por medio del aire e influye en el rendimiento y el control del vehículo, una mayor resistencia aerodinámica implica un mayor consumo de combustible en el sentido de avance del vehículo, por otro lado, la incidencia de aire en sentido lateral puede provocar inestabilidad direccional y en casos más graves el volcamiento del vehículo. (Francisco, A, 2001).

Es importante destacar que el aire es un fluido y, en el contexto específico de un automóvil en movimiento, se genera una diferencia de presión entre la parte frontal del vehículo, donde el aire incide directamente, y la parte trasera del coche donde se produce un efecto de succión más o menos fuerte, proporcional a la velocidad a la que se circula. Entonces, arrastrar significa mover el aire desde la parte delantera del automóvil hacia la parte trasera del automóvil.

En la industria automotriz, este factor es muy importante en el desarrollo y producción de varios modelos de automóviles, ya que finalmente tiene un impacto significativo en las características y especificaciones finales.

La aerodinámica puede afectar todos los detalles imaginables, desde acabados estéticos que impiden el flujo de aire a través de la carrocería, como la pintura mate, hasta efectos de ventana e incluso la acumulación de polvo (I. Prada, Nongueria, 2006).

Entre todo esto se tiene flujo turbulento, donde la capa límite se mezcla significativamente con la mayor parte del fluido. Es causante de varias anomalías en cuanto a la aerodinámica, su irregularidad produce perturbaciones del aire a altas velocidades.

La fórmula de resistencia aerodinámica consta de 4 variables que se multiplican entre sí, esto con el fin de entender cuáles son los factores que la componen:

Resistencia aerodinámica

$$R_a = \frac{1}{2} \rho A_f C_x V^2$$

(Bermeo Vallejo, J. E., Sigüencia Bermeo, D. F., & Serpa Medina, P. I. 2012).

ρ = Densidad del aire

A_f = Superficie frontal

C_x = Coeficiente de resistencia aerodinámica

V = Velocidad

La ecuación de la resistencia aerodinámica está compuesta de distintos factores que ayudan a comprender como se aplica R_a , los parámetros mencionados consideran factores como la densidad del aire y el área frontal de contacto entre el objeto y el aire, los cuales varían según la velocidad a la que el objeto se desplace.

La velocidad define qué tipo de flujo y comportamiento tendrá el aire alrededor del objeto. La optimización de un vehículo se ve afectada en base a su diseño o estructura, debido a que las altas velocidades forman capas de aire que afectan considerablemente el rendimiento de este, creando corrientes de aire turbulentas o laminares. Estos flujos de aire son difíciles de visualizar a menos que el aire contenga un color visible, el uso de medidores de flujo de aire o presión es indispensable al momento de usar un túnel de viento, ya que, al no observarse el flujo que pasa por el vehículo se requiere de estas herramientas de lo contrario no se obtendrían ninguna clase de datos (Bermeo Vallejo, J. E., Sigüencia Bermeo, D. F., & Serpa Medina, P. I. 2012).

Los túneles de viento se caracterizan por ser aplicados en el sector de la ingeniería automotriz para pruebas de efecto aerodinámico, con dichas pruebas se puede analizar cómo se comporta el aire al pasar sobre un sólido cuando es un flujo laminar o flujo turbulento. Al realizar las pruebas, la visibilidad de los gases es casi nula, esto dificulta el análisis de los efectos aerodinámicos sobre los dragsters (Barbón García, V. 2018).

El túnel de viento se presenta como una herramienta de investigación que permite examinar de los efectos del flujo de aire en torno a objetos sólidos, tales como vehículos a escala y miniprototipos como los dragsters.

Delimitación del problema. –

En la Universidad Politécnica Salesiana de la carrera de Ingeniería Automotriz se realiza una actividad académica donde el estudiante que cursa la asignatura de Técnicas de fabricación debe construir un vehículo a escala inspirado en los dragsters, el cual debe competir en una carrera de velocidad.

El presente trabajo de titulación tiene como objetivo diseñar y construir un túnel de viento con la implementación de espejos de efecto Schlieren para determinar el comportamiento

aerodinámico sobre dragsters a escala, apoyando al estudiante a comprender la aerodinámica del prototipo y las implicaciones de diseño, permitiendo la visualización del movimiento del aire alrededor del vehículo, los resultados obtenidos en el túnel de viento se compararan con los resultados obtenidos mediante el software Fluent.

La investigación se enfocará en el uso de tres tipos distintos de vehículos a escala (dragsters) con diferentes superficies, cada uno con características que afectan en la eficiencia aerodinámica del mismo. Se analizará el comportamiento del flujo de aire alrededor de estos vehículos utilizando la técnica disponible en el túnel de viento, como es la visualización mediante espejos de efecto Schlieren.

Se ponen a prueba modelos a escala en un entorno de competitividad así observando la optimización de cada prototipo dragster.

Las generalidades que se piden a los estudiantes de técnicas de manufactura en sus trabajos son los siguientes:

- Diseño del vehículo en inventor (con sus respectivas vistas y acotaciones).
- Código G que se genera en el módulo CAM del Inventor
- Evidencia de la mecanización de en la máquina CNC.

Dimensiones requeridas:

CARACTERISTICAS	UNIDAD	DIMENSIÓN MÍNIMA	DIMENSIÓN MÁXIMA
Longitud total del vehículo	mm	170	210
Separación del suelo	mm	3	10
Ancho total del vehículo con alerones	mm	50	65
Ancho total del vehículo incluyendo llantas	mm	60	85
Peso del vehículo sin el cartucho de gas	g	55	200
Espesos de cualquier parte del vehículo (incluyendo alerones y deflectores).	mm	3	-

Altura del vehículo (incluidos alerones)	mm	-	60
--	----	---	----

La rugosidad que llega a formarse en la superficie después de mecanizar el dragster, es el principal influyente en los resultados al visualizar el flujo y la resistencia aerodinámica sobre el vehículo. Los resultados dependen considerablemente del rozamiento de la superficie aire-madera.

Objetivo General.

Construir un túnel de viento con espejos de efecto Schlieren para la visualización del efecto aerodinámico en vehículos a escala para el taller de Ingeniería Automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana sede Quito.

Objetivos Específicos.

Diseñar un túnel de viento con la implementación de espejos de efecto Schlieren.

Construir un túnel de viento con la implementación de espejos de efecto Schlieren.

Determinar el comportamiento aerodinámico sobre el dragster a escala utilizando las técnicas disponibles en el túnel de viento.

Comparar los resultados obtenidos en el túnel de viento contra los resultados obtenidos mediante software Fluent.

MARCO TEÓRICO

Introducción a la aerodinámica de los vehículos

La aerodinámica del vehículo es el estudio de cómo el aire fluye sobre los vehículos y afecta su rendimiento, estabilidad y eficiencia. Implica comprender la forma en que el aire interactúa con la forma del vehículo, incluida su carrocería, ruedas y otros componentes, y el impacto que esto tiene en la velocidad, el manejo, el ahorro de combustible y las emisiones del vehículo.

Es particularmente importante en el diseño de vehículos de alta velocidad, como autos de carreras, aviones y trenes de alta velocidad, así como en el desarrollo de automóviles que ahorran combustible y son ecológicos. Los ingenieros utilizan diversas herramientas y técnicas, como túneles de viento, simulaciones de dinámica de fluidos computacional y pruebas del mundo real, para analizar y optimizar el rendimiento aerodinámico de los vehículos (White, F. M., Kundu, P. K., & Cohen, I. M. 2011).

Los factores aerodinámicos clave que afectan el rendimiento de un vehículo incluyen resistencia, sustentación, carga aerodinámica y turbulencia. La resistencia es la fuerza que resiste el movimiento hacia adelante del vehículo y está influenciada por factores como la forma, el tamaño y la velocidad del vehículo. La sustentación es la fuerza hacia arriba que puede generar la forma del vehículo y puede afectar su estabilidad y manejo.

La fuerza aerodinámica es lo opuesto a la sustentación y es una fuerza hacia abajo que puede mejorar el agarre y la estabilidad del vehículo. La turbulencia es el movimiento caótico e impredecible del aire que puede afectar la eficiencia aerodinámica y la estabilidad del vehículo (Hucho, W. H. 2017).

Resistencia aerodinámica al avance

La resistencia aerodinámica al avance, también conocida como resistencia del aire o arrastre, es la fuerza que se opone al movimiento de avance de un objeto a través de un medio fluido, como el aire. Esta resistencia es causada por los efectos de fricción del fluido sobre el objeto a medida que se mueve a través de él (Smith et al.2010).

En el caso de un vehículo que se mueve por el aire, la cantidad de resistencia aerodinámica para avanzar está determinada por varios factores, que incluyen la forma del vehículo, su velocidad y las propiedades del propio aire. A bajas velocidades, la resistencia es relativamente baja, pero a medida que aumenta la velocidad, la resistencia crece exponencialmente (Dragovich y Matveev, 2015).

La resistencia aerodinámica se puede reducir simplificando la forma del objeto, minimizando el área de la superficie que entra en contacto con el fluido y reduciendo la turbulencia creada cuando el fluido fluye alrededor del objeto. Esta es la razón por la cual los vehículos, como aviones y automóviles, a menudo se diseñan con formas suaves y aerodinámicas que reducen la resistencia del aire y mejoran su eficiencia general.

Análisis aerodinámico para prototipos Dragsters

El análisis aerodinámico es crucial para el diseño y el rendimiento de los prototipos de dragsters. Los dragsters son vehículos de alta velocidad diseñados para acelerar lo más rápido posible en una distancia en línea recta, generalmente en una distancia de un cuarto de milla o un octavo de milla.

El objetivo principal del análisis aerodinámico de los dragsters es minimizar la resistencia aerodinámica, que es la fuerza que resiste el movimiento del vehículo a través del aire. La reducción de la resistencia mejora la velocidad máxima y la aceleración del vehículo, que son factores críticos en las carreras de resistencia (Smith y Johnson, 2017).

Una de las principales herramientas utilizadas en el análisis aerodinámico es la simulación de dinámica de fluidos computacional (CFD). Las simulaciones CFD pueden predecir cómo fluye el aire alrededor del dragster, lo que ayuda a los ingenieros a identificar áreas de alta resistencia y áreas donde se puede dirigir el aire para reducir la resistencia. Las simulaciones CFD también pueden ayudar a los ingenieros a optimizar la forma de la carrocería del vehículo, incluidos el morro, el ala y otros elementos aerodinámicos (Dragovich y Thompson, 2016).

Las pruebas en túnel de viento son otra herramienta importante utilizada en el análisis aerodinámico para dragsters. Las pruebas en el túnel de viento permiten a los ingenieros

medir la fuerza de arrastre en un modelo a escala del dragster en condiciones controladas. Estos datos se pueden utilizar para validar simulaciones CFD y refinar el diseño del vehículo

Además de reducir la resistencia, los diseñadores de dragsters también deben tener en cuenta otros factores, como la estabilidad, la carga aerodinámica y la refrigeración. La estabilidad es esencial a altas velocidades y los diseñadores pueden usar elementos aerodinámicos como alas y alerones para proporcionar estabilidad adicional. La carga aerodinámica es la fuerza que empuja el vehículo hacia la pista, proporcionando una mejor tracción y un mejor manejo. El enfriamiento también es importante, y los diseñadores deben asegurarse de que el motor del vehículo y otros componentes se enfríen adecuadamente para evitar el sobrecalentamiento (Johnson et al, 2019).

Efecto y tubo de Venturi

El efecto Venturi es un fenómeno físico que se produce cuando un fluido en movimiento pasa a través de una sección estrecha de un conducto. Esta sección estrecha se conoce como tubo de Venturi, el cual presenta una forma cónica o convergente-divergente.

Cuando el fluido pasa por la sección estrecha del tubo de Venturi, la velocidad del fluido aumenta debido a la reducción del área de paso. Según el principio de Bernoulli, este incremento en la velocidad del fluido provoca una disminución en la presión en esa zona.

El tubo de Venturi encuentra aplicaciones en diversos campos, como la ingeniería de fluidos, la medicina y la industria. Además, también se emplea en sistemas de mezcla y atomización de líquidos (Anderson y Cimbala , 2014).

El efecto Venturi y el tubo de Venturi son conceptos fundamentales en la comprensión de los principios de la hidrodinámica y encuentran aplicaciones en diferentes áreas de la ciencia y la ingeniería. (Smith et al.2019).

Efecto Schlieren

El efecto Schlieren es un fenómeno óptico que permite visualizar variaciones en el índice de refracción de un medio transparente. Este efecto es particularmente útil en el estudio de la dinámica de fluidos, donde se puede utilizar para visualizar el flujo de fluidos al detectar las diferencias en el índice de refracción causadas por cambios en la densidad o la temperatura.

Se logra mediante el uso de un sistema Schlieren, que consta de una fuente de luz colimada, como un láser o una fuente puntual brillante, y un espejo o lente cóncava. La luz se dirige a través de la lente o el espejo y se enfoca en una pequeña abertura, detrás de la cual se coloca el filo de un cuchillo. La luz que pasa a través de la apertura se enfoca en una segunda lente, que a su vez enfoca la luz en una pantalla o cámara (Settles, 2001).

El efecto ocurre cuando la luz que pasa a través del medio es refractada por variaciones en la densidad o temperatura del medio. Estas variaciones hacen que la luz se doble ligeramente, creando una serie de bandas o líneas brillantes y oscuras en la pantalla o la cámara (Settles y Dodson, 2016).

Túnel de viento

Principio de funcionamiento

Un túnel de viento es una herramienta utilizada en la investigación de la aerodinámica para estudiar los efectos del aire que se mueve al pasar por objetos sólidos. Su principio de funcionamiento se basa en el principio de Bernoulli, que establece que a medida que aumenta la velocidad de un fluido, su presión disminuye. El túnel de viento consiste en un tubo largo, angosto y cerrado con un ventilador o soplador en un extremo para producir una corriente de aire constante y de alta velocidad. El objeto que se va a probar se coloca dentro del túnel y se utilizan sensores para medir las fuerzas y presiones sobre el objeto a medida que el aire pasa por él (Anderson Jr., 2001).

El aire es comprimido y acelerado por el ventilador o soplador, luego es forzado a través de una sección convergente del túnel, lo que reduce el flujo y aumenta su velocidad. Luego, el aire ingresa a una sección de prueba donde se coloca el objeto a experimentar, y luego fluye a través de una sección divergente, lo que aumenta gradualmente el área del túnel y reduce la velocidad del flujo a la velocidad normal. La sección de prueba generalmente tiene paredes transparentes, lo que permite a los investigadores observar el flujo de aire alrededor del objeto que se está apreciando. Los investigadores pueden ajustar la velocidad y la dirección del aire, así como la

forma y el tamaño del objeto que se está ensayando, para estudiar los efectos de las diferentes condiciones en el rendimiento del objeto.

Mediante el uso de un túnel de viento, los investigadores pueden simular diferentes flujos de aire y experimentar las propiedades aerodinámicas de varios objetos, como aviones, automóviles y edificios, antes de construirlos y verificarlos en condiciones reales (Lütkepohl y Krämer, 2015).

Tipos de túneles de viento

Túnel de viento de circuito cerrado: este es el tipo más común de túnel de viento, en el que el aire circula a través de un circuito cerrado, usando un ventilador o compresor para generar el flujo de aire. El modelo se monta en la sección de prueba y los datos se recopilan utilizando varios instrumentos.

Túnel de viento de circuito abierto: este tipo de túnel de viento extrae aire del entorno circundante, en lugar de recircularlo. El modelo se coloca en la sección de prueba y los datos se recopilan de la misma manera que en un túnel de viento de circuito cerrado.

Túnel de viento supersónico: estos túneles están diseñados para generar un flujo de aire supersónico, generalmente utilizando una boquilla convergente-divergente para acelerar el aire a altas velocidades. Se utilizan para probar aviones y misiles de alta velocidad.

Túnel de viento hipersónico: estos túneles están diseñados para generar un flujo de aire hipersónico, lo que significa velocidades de Mach 5 o superiores (la relación entre la velocidad de un objeto y la velocidad del sonido en el medio) . Se utilizan para probar naves espaciales y otros vehículos que viajan a velocidades extremas.

Túnel de agua: este es un tipo de túnel de viento que utiliza agua en lugar de aire. Los modelos se colocan en una sección de prueba llena de agua y los datos se recopilan utilizando varios instrumentos. Los túneles de agua se utilizan comúnmente para probar barcos y submarinos, (Lütkepohl y Krämer, 2015).

Partes del túnel de viento

Un túnel de viento está conformado de los siguientes componentes:

Entrada(cuadrada): La entrada es la sección donde el aire ingresa al túnel de viento. Está diseñado para garantizar que el aire entre en el túnel sin problemas y sin turbulencias.

Sección de prueba: esta es la sección donde se coloca el objeto que se está probando. Por lo general, es una sección grande, rectangular o circular del túnel de viento donde el aire fluye alrededor del objeto.

Sección de contracción: La sección de contracción es una sección del túnel de viento que reduce gradualmente el diámetro del túnel para aumentar la velocidad del aire que fluye a través de él.

Difusor: El difusor es la sección al final del túnel de viento que expande gradualmente el diámetro del túnel para ralentizar el aire y devolverlo a la presión atmosférica.

Ventilador: El ventilador es el componente que impulsa el aire a través del túnel de viento. Por lo general, es un gran ventilador axial o centrífugo que puede generar grandes flujos de aire.

Sistema de acondicionamiento de flujo: El sistema de acondicionamiento de flujo es un conjunto de dispositivos que aseguran que el aire que ingresa a la sección de prueba tenga una distribución uniforme de velocidad, temperatura y presión.

Instrumentación: La instrumentación incluye varios sensores y dispositivos de medición que se utilizan para medir las propiedades aerodinámicas del objeto que se está probando. Esto incluye sensores de presión, sensores de temperatura y sensores de flujo.

Sistema de adquisición de datos: El sistema de adquisición de datos se utiliza para recopilar y analizar los datos generados por la instrumentación durante las pruebas en el túnel de viento, incluye software y hardware de adquisición de datos, así como computadoras y dispositivos de almacenamiento (Anderson Jr. ,2001).

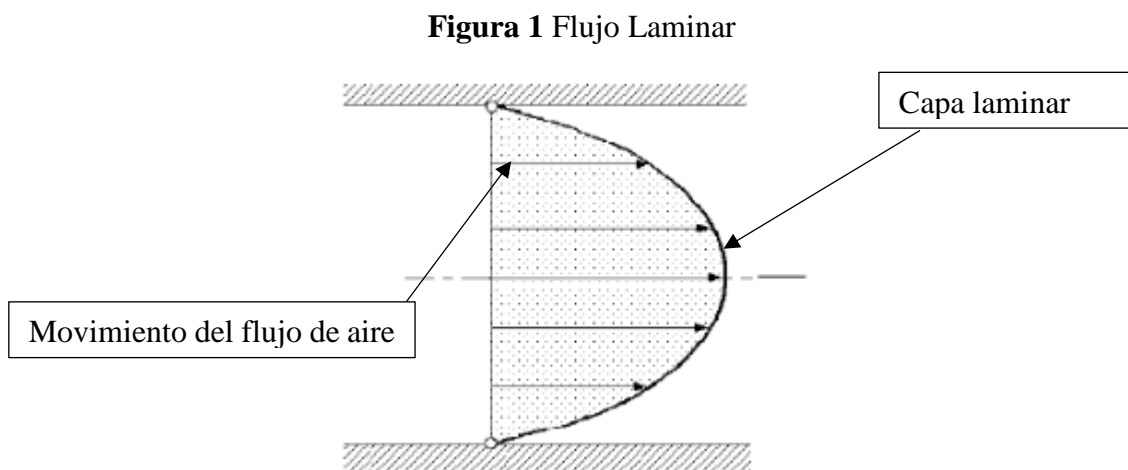
Flujo

Flujo laminar

El flujo laminar aerodinámico se refiere a un tipo de flujo de fluido caracterizado por un movimiento suave e ininterrumpido de un fluido en capas paralelas tal como se observa en la figura 1, con poca o ninguna mezcla entre capas adyacentes. Este tipo de flujo se observa a menudo en fluidos que se mueven a través de canales o tubos estrechos, como tuberías o vasos sanguíneos.

La velocidad del fluido es constante en cualquier punto y el flujo es generalmente predecible y estable. El fluido se mueve en capas, con cada capa deslizándose más allá de la capa adyacente sin turbulencia ni mezcla. Este tipo de flujo también se conoce como "flujo viscoso" porque se rige por la fricción interna o la viscosidad del fluido, tiene muchas aplicaciones prácticas, como en el diseño de sistemas de fluidos para procesamiento químico, producción de petróleo y gas y tratamiento de agua (Munson, Young y Okiishi, 2013).

El flujo laminar aerodinámico contrasta con el flujo turbulento, que se caracteriza por movimientos irregulares y caóticos de partículas de fluido, lo que a menudo da como resultado remolinos, vórtices y mezcla de capas de fluido adyacentes. El flujo turbulento es más común en tuberías o canales más grandes, o a velocidades más altas, y puede ser mucho menos predecible y más difícil de controlar que el flujo laminar.



Vista del Flujo laminar, **Fuente:** Munson, Young y Okiishi, 2013

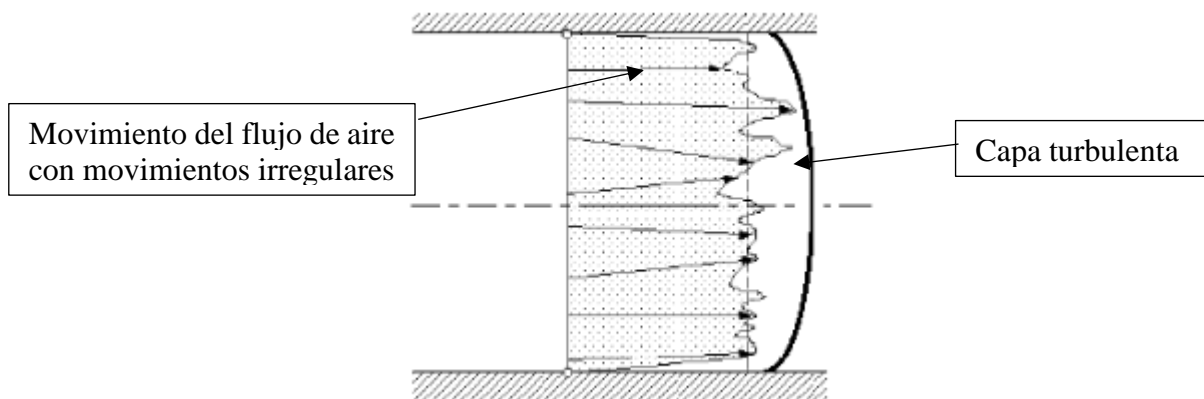
Flujo turbulento

El flujo turbulento aerodinámico se refiere al movimiento caótico e irregular del aire o cualquier fluido sobre una superficie o a través de un canal. Este tipo de flujo se caracteriza por la presencia de remolinos, vórtices y fluctuaciones en la presión y la velocidad, que pueden causar un aumento significativo de la resistencia y la turbulencia, se puede observar en la figura 2.

Se encuentra a menudo en aplicaciones prácticas como el diseño de aeronaves, turbinas eólicas y sistemas de transporte de fluidos. Es importante comprender y predecir el comportamiento del flujo turbulento para mejorar el rendimiento y la eficiencia de estos sistemas.

Se han desarrollado varios modelos matemáticos y técnicas experimentales para estudiar el flujo turbulento, pero sigue siendo un área compleja y desafiante de la investigación de la dinámica de fluidos. Algunos de los factores clave que afectan el flujo turbulento incluyen el número de Reynolds, la rugosidad de la superficie y la velocidad del flujo, entre otros (Munson, Young y Okiishi 2013).

Figura 2 Flujo turbulento



Vista del flujo Turbulento, **Fuente:** Munson, Young y Okiishi, 2013

Flujo permanente y no permanente

El flujo permanente se refiere a un régimen de flujo en el que la velocidad, la presión y otros parámetros de flujo en cualquier punto dado no cambian con el tiempo. En otras palabras, el flujo permanece constante y no presenta fluctuaciones ni oscilaciones. El

flujo constante se encuentra típicamente en situaciones donde la velocidad del fluido y otros parámetros de flujo son constantes o varían lentamente con el tiempo.

El flujo no permanente se refiere a un régimen de flujo en el que la velocidad, la presión y otros parámetros de flujo varían con el tiempo. En otras palabras, el flujo no es constante y presenta fluctuaciones u oscilaciones. El flujo no estacionario puede ocurrir en una amplia gama de situaciones, incluidos los flujos turbulentos, los flujos alrededor de objetos en movimiento y los flujos con condiciones de contorno variables en el tiempo.

Flujo compresible e incompresible

En aerodinámica, el flujo compresible e incompresible se refiere al comportamiento de los gases (generalmente aire) en diferentes condiciones. El flujo incompresible supone que la densidad del gas permanece constante independientemente de los cambios de presión. Esto es generalmente válido para el aire a bajas velocidades y altitudes. En el flujo incompresible, la velocidad del fluido es relativamente baja y el número de Mach es inferior a 0,3. En este régimen, el flujo se puede modelar utilizando las ecuaciones de la mecánica de fluidos sin tener en cuenta la compresibilidad del fluido.

Los flujos incompresibles incluyen el flujo de aire sobre una placa plana a través de una tubería. El flujo compresible es el comportamiento de los gases cuando la densidad cambia debido a cambios en la presión, la temperatura o el número de Mach. La compresibilidad se vuelve importante a altas velocidades y altitudes elevadas donde el número de Mach es superior a 0,3. En el flujo compresible, la densidad del fluido no es constante y las ecuaciones de flujo deben tener en cuenta la compresibilidad del fluido. Los ejemplos de flujos compresibles incluyen el flujo de aire sobre un avión o cohete supersónico (Yunes A. Cengel & Michael A. Boles, 2009).

Flujo uniforme

El flujo uniforme, también conocido como flujo de velocidad uniforme o flujo de corriente uniforme, es un tipo de flujo en aerodinámica donde el fluido (generalmente aire) se mueve a una velocidad constante y en línea recta en una dirección particular.

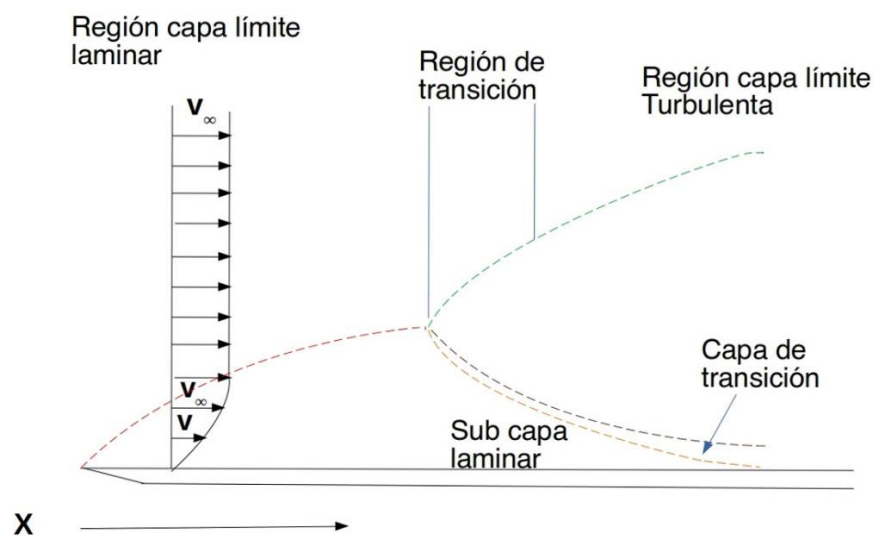
Este tipo de flujo está idealizado y, a menudo, se usa como referencia para otros tipos de flujo.

La velocidad del fluido es la misma en todos los puntos a lo largo de una línea de corriente dada, que es una línea imaginaria trazada a través del campo de flujo que traza la trayectoria de una partícula de fluido. La presión del fluido también es constante en todos los puntos a lo largo de una línea de corriente dada.

Capa límite

Es un término utilizado en la física de fluidos para describir la capa delgada de fluido que se forma en la superficie de un objeto en movimiento, como un avión o un barco, cuando está en contacto con el aire o el agua. Esta capa límite se caracteriza por una disminución gradual de la velocidad del fluido a medida que se acerca a la superficie del objeto, lo que da como resultado una disminución en la transferencia de masa y calor entre el objeto y el fluido. La capa límite es importante en la aerodinámica y la hidrodinámica, ya que puede afectar significativamente la resistencia del objeto al movimiento y, por lo tanto, su eficiencia energética. La comprensión de la capa límite es fundamental para el diseño de vehículos más eficientes y para la predicción del rendimiento de estos.

Figura 3 Capa Limite



Vista de la capa limite, **Fuente:** Munson, Young y Okiishi, 2013

Número de Reynolds

Reynolds estudia las propiedades de flujo de los fluidos inyectándoles trazadores a medida que fluyen a través de las tuberías. A velocidades de fluido bajas, el trazador se mueve linealmente a lo largo del eje. Sin embargo, a velocidades más altas, los flujos de fluido se ven perturbados y el trazador se dispersa rápidamente después de la inyección en el fluido. El flujo lineal se denomina flujo laminar, y el flujo inestable que se logra con una mayor velocidad del fluido se denomina flujo turbulento. Las características de las condiciones de flujo laminar dependen del tipo de fluido y del tamaño del flujo. A medida que aumenta la tasa de flujo másico, aumentan las fuerzas de inercia o impulso, que son neutralizadas por fuerzas de fricción o viscosas en el fluido que fluye. Cuando estos efectos opuestos alcanzan un cierto equilibrio, las propiedades de los cambios de flujo cambian.

La fuerza actual es una función de la densidad, el diámetro de la tubería y una función de la velocidad media. Las fuerzas de fricción o viscosas también dependen de la viscosidad del material (líquido). Con base en este análisis, el número de Reynolds se define como una relación, la cual existe entre la inercia y las fuerzas viscosas (o de fricción).

Teoría de los modelos

Es una rama de la lógica matemática que estudia las estructuras matemáticas examinando sus modelos. Un modelo es una interpretación de un conjunto de declaraciones o axiomas en un lenguaje formal. El lenguaje formal consta de símbolos, operadores y relaciones, que se pueden combinar para formar enunciados o fórmulas. La teoría de modelos investiga las propiedades de los modelos de varias teorías matemáticas y explora las relaciones entre diferentes teorías.

La teoría de modelos tiene aplicaciones en varias áreas de las matemáticas, incluyendo álgebra, geometría, análisis y teoría de números. También tiene aplicaciones en informática, física y filosofía. Uno de los conceptos centrales en la teoría de modelos es la noción de una fórmula lógica de primer orden, que es una declaración sobre los elementos de una estructura matemática que se puede cuantificar sobre todos los elementos o un subconjunto de elementos. La teoría de modelos estudia las propiedades

de los modelos de fórmulas lógicas de primer orden, incluida su integridad, compacidad y estabilidad.

Algunas de las principales áreas de investigación en teoría de modelos incluyen:

- Completitud y categoricidad del modelo
- Clasificación de estructuras algebraicas
- Álgebra teórica de modelos
- Geometría analítica
- Teoría de conjuntos descriptiva

Semejanza de modelos

En la teoría de modelos, la similitud de los modelos es una medida de cuánto se parecen entre sí dos modelos de una teoría dada. Dos modelos se consideran similares si satisfacen el mismo conjunto de oraciones de primer orden. Más específicamente, dada una teoría T en un lenguaje de primer orden L , se dice que dos L -estructuras A y B son elementalmente equivalentes si satisfacen el mismo conjunto de oraciones de primer orden en el lenguaje L . En otras palabras, para cualquier oración de primer orden ϕ en el lenguaje L , A satisface ϕ si y solo si B satisface ϕ .

La similitud de modelos es esencial en la teoría de modelos, ya que permite comparar diferentes modelos de una teoría dada e investigar sus propiedades. Por ejemplo, si se tiene dos modelos que son elementalmente equivalentes, se sabe que tienen las mismas propiedades algebraicas, como el mismo número de elementos, las mismas operaciones algebraicas y las mismas relaciones. Esto permite estudiar el comportamiento de la teoría T en un marco más general, observando las propiedades de un modelo típico en lugar de uno específico.

Semejanza dinámica con predominio de la viscosidad

La similitud dinámica es un concepto en mecánica de fluidos que describe la condición en la que dos sistemas de flujo de fluidos diferentes son similares entre sí en términos de sus parámetros adimensionales. Esto significa que los dos sistemas tienen los mismos

valores de parámetros adimensionales, como el número de Reynolds, el número de Froude o el número de Mach, que caracterizan la naturaleza del flujo.

El predominio de la viscosidad, por otro lado, se refiere a una condición de flujo de fluido en la que las fuerzas viscosas dominan sobre las fuerzas de inercia. En tal flujo, el fluido es altamente resistente a la deformación y el perfil de velocidad es suave y uniforme. Esto contrasta con una condición de flujo en la que dominan las fuerzas de inercia, lo que da como resultado un flujo turbulento y caótico.

Cuando se trata de flujos de fluidos que exhiben un predominio de la viscosidad, es importante considerar la similitud dinámica para escalar adecuadamente los parámetros de flujo. Esto se debe a que la fuerza dominante en el flujo es la fuerza viscosa, y el número de Reynolds, que es una medida de la relación entre las fuerzas de inercia y las fuerzas viscosas, puede no describir con precisión el comportamiento del flujo. (Yunes A. Cengel & Michael A. Boles, 2009).

Disipador de aire

Un disipador de aire hecho de tubos de plástico o sorbetes es un dispositivo utilizado para distribuir o dispersar el flujo de aire de manera uniforme. Consiste en una estructura compuesta por varios tubos de plástico o sorbetes colocados en una configuración específica.

Estos tubos o sorbetes se fijan en un soporte o base, generalmente de forma paralela o en forma de rejilla, de manera que crean una barrera física a través de la cual el aire puede pasar. Cada tubo o sorbete tiene pequeños orificios en su superficie, lo que permite que el aire se disperse en múltiples direcciones.

El disipador de aire se coloca en una corriente de aire o en un conducto de ventilación para que el flujo de aire pase a través de los tubos o sorbetes. Al pasar por los orificios de los tubos, el aire se divide en múltiples corrientes más pequeñas y se dispersa de manera más uniforme (Smith, J., Johnson, R., Anderson, L, 2017)

Este tipo de dispositivo se utiliza en diversas aplicaciones donde se requiere una distribución uniforme del flujo de aire.

CAPÍTULO 1

DISEÑO DE UN TUNEL DE VIENTO CON LA IMPLEMENTACIÓN DE ESPEJOS DE EFECTO SCHLIEREN MEDIANTE SOLIDWORKS

El diseño de un túnel de viento con la implementación de espejos de efecto Schlieren mediante SolidWorks, se enfoca en crear un diseño efectivo en el cual se pueda visualizar la aerodinámica en una zona de pruebas donde existirá ondas de flujo de aire controlado en distintos tipos de vehículos a escala.

La construcción del túnel de viento se respalda en el diseño y dimensionamiento previamente hecho en el CAD de SolidWorks, en el cual se especifica las medidas exactas de cada una de las zonas que conforman el túnel de viento.

Zona de pruebas

1.1.1 Consideraciones a escala

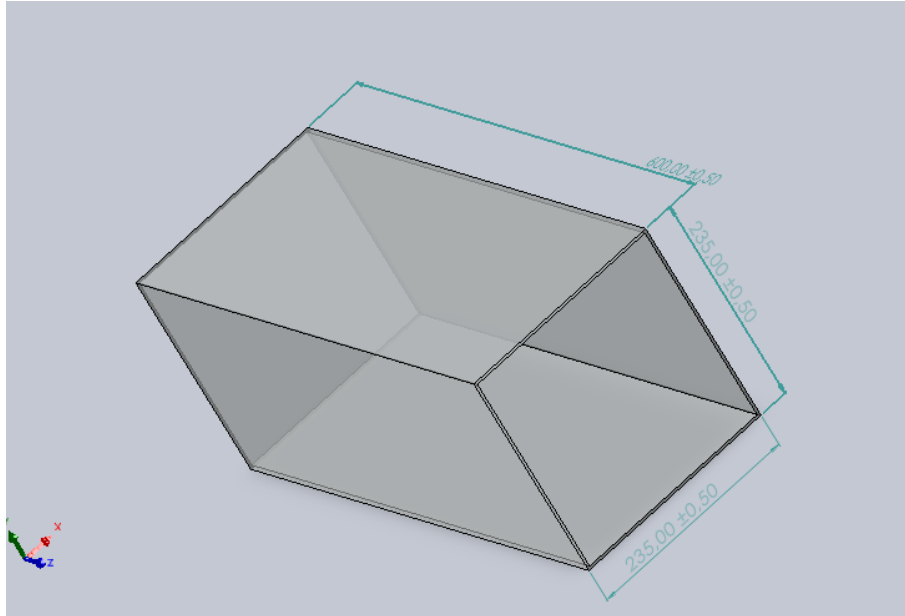
La zona de pruebas se realizó a escala, basándose en la longitud del dragster como se menciona en (Dlubal Software GmbH, 2001 – 2023) para evitar pérdidas, la dimensión de la zona de pruebas debe ser el triple de dimensiones longitudinales del dragster para la medida exacta de la zona de pruebas a lo largo, y el triple del alto del dragster para que también este a escala y no se tenga inconvenientes.

1.1.1.1 Dimensiones

Con las medidas obtenidas del dragster a escala, se diseñó la zona de prueba basado en los parámetros establecidos como se muestra en la figura 1.1, las unidades usadas en los modelos y diseños son en milímetros.

Sus dimensiones se pueden apreciar en el anexo 1:

Figura 1.1 Zona de pruebas



Vista lateral, **Fuente:** Cristina Morales, Steeven Lomas

1.1.1.2 Tipo de flujo

Se utilizará el análisis del número de Reynolds para determinar el tipo de flujo requerido en el túnel de viento. El número de Reynolds es un parámetro que permite establecer el tipo de flujo que se empleará en el estudio.

Para esto también es necesario utilizar las respectivas fórmulas del área y perímetro para hacer una determinación del diámetro hidráulico.

La zona de pruebas será un prisma cuadrado de 235 mm x 235 mm, por ende, se va a utilizar las fórmulas anteriores. Esto debido a la facilidad con la cual se realizan las pruebas sobre una superficie plana, sin necesidad de colocar un cuerpo adicional que mantenga fijo el vehículo.

Se obtiene un área transversal de:

$$A = 0.055225 \text{ m}^2$$

Y un perímetro de:

$$P = 0.94 \text{ m}$$

Una vez obtenido el área transversal y el perímetro se puede obtener el diámetro neumático.

Para calcular el diámetro neumático (D_h) se saca la relación entre el área transversal A y el perímetro P, a continuación se define la ecuación:

$$D_h = \frac{4A}{P}$$

Ec. (1.3)

Se reemplaza los datos:

$$D_h = \frac{4(0.055225 \text{ m}^2)}{0.94 \text{ m}}$$

Donde se obtiene:

$$D_h = 0.235 \text{ m}$$

El diámetro neumático obtenido es de 0.235 m, con este valor se puede obtener el número de Re y se lo va a reemplazar en la ecuación de Reynolds a continuación:

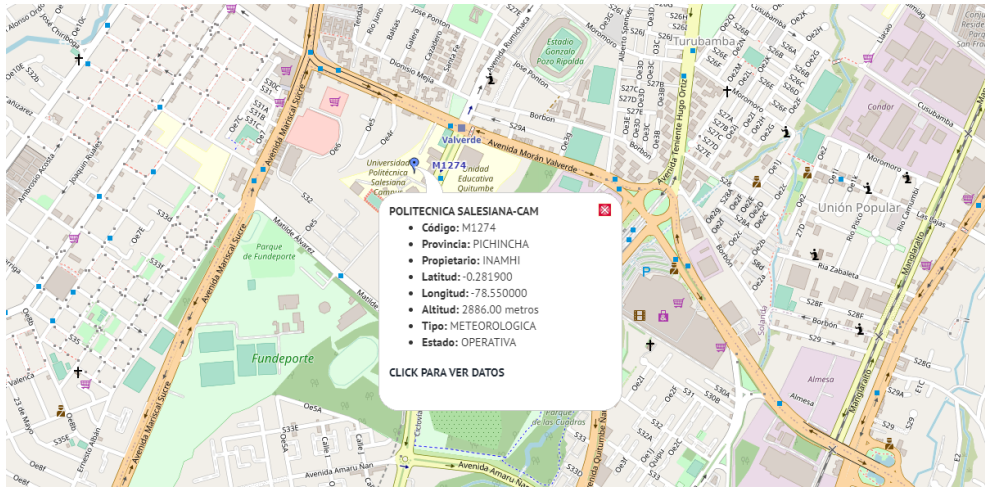
$$Re = \frac{vD_h\rho}{\mu}$$

Ec. (1.4)

Para el cálculo es necesario determinar las propiedades termodinámicas de la zona de destino donde va a trabajar el túnel de viento, los datos serán obtenidos desde la página del INAMHI observados en la figura 1.2.

El túnel de viento va a trabajar en la ciudad de Quito, en la Universidad Politécnica Salesiana, en esta zona se está a una altitud de 2886 msnm (Yunes A. Cengel & Michael A. Boles, 2009).

Figura 1.2 Datos Inhami



Ubicación del punto donde medirá la presión, **Fuente:** Pagina web del Inhami
 En la figura 1.3 y 1.4 se puede distinguir los datos de la presión atmosférica que se arroja en la ciudad de Quito específicamente en la Universidad Politécnica Salesiana.

Figura 1.3 Datos de la presión atmosférica



Datos de la presión atmosférica, **Fuente:** Pagina web del Inhami

Figura 1.4 Presión atmosférica



Fuente: Pagina web del Inhami

Para obtener la densidad:

$$\rho = \frac{P}{(R * T)}$$

Donde:

$\rho =$ Densidad del aire en Quito

$P =$ Presión Atmosférica(Pa)

$R =$ Constante de gases ideales (aprox $8.314 \frac{J}{(mol * K)}$)

$T =$ Temperetura(K)

Reemplazar:

$$\rho = \frac{9.81}{(8.314 * 285.15)}$$

$$\rho = 1.225(\text{Kg}/\text{m}^3)$$

Viscosidad dinámica:

$$\mu = \mu_o * \left(\frac{T}{T_o}\right)^{1.5} * \frac{(T_o + S)}{(T + S_o)}$$

Donde:

$\mu_o =$ Viscosidad del aire a temperatura T_o

$T =$ Temperatura (K)

$S =$ Temperatura Suth(aprox 110.4K)

$S_o =$ Temperatura de referencia T_o

Tabla 1.1 Propiedades termodinámicas de Quito

Altura (msnm)	Presión (kPa)	Densidad (Kg/m ³)	Viscosidad Dinámica (Kg/m*s)
2886	72.44	1.225	$1.8 * 10^{-5}$

Especificaciones termodinámicas, **Fuente:** Cristina Morales, Steeven Lomas

Donde:

$\rho = \text{Densidad del aire en Quito}$

$\mu = \text{Viscosidad del aire en Quito}$

Se reemplaza los datos:

$$Re = \frac{\text{velocidad} * \text{diámetro neumático} * \text{densidad del aire}}{\text{viscosidad del aire}}$$

$$Re = \frac{\left(25 \frac{m}{s}\right) (0.235 m) \left(\frac{1.225 \text{Kg}}{m^3}\right)}{\left(1.8 * \frac{10^{-5} \text{Kg}}{m * s}\right)}$$

$$Re = 899609.375$$

El número de Reynolds para la zona de pruebas es de 899609,375 con la cual se puede determinar el tipo de flujo que se va a tener dentro de la zona de pruebas.

Para demostrar lo antes dicho, Cengel y Cimbala describen que “En la mayoría de las condiciones prácticas, el flujo en una tubería circular es laminar para $Re \leq 2300$, turbulento para $Re \geq 4\ 000$, y transicional entre ellos” (Yunes A. Cengel & Michael A. Boles, 2009).

Lo que se necesita es que, para el análisis aerodinámico, se obtenga flujo de aire laminar, es decir, que el número de Reynolds sea ≤ 2300 , lo cual no se puede obtener debido al comportamiento del aire según el cálculo de Reynolds.

Para que se pueda reducir la turbulencia dentro del túnel de viento, se debe proporcionar a la entrada del túnel un panel en forma de honeycombs, como zona de estabilización, de esta forma se logrará tener flujo laminar, el cual es el flujo deseado para las pruebas aerodinámicas en la zona (Yunes A. Cengel & Michael A. Boles, 2009).

1.1.1.3 Cálculo del caudal de aire necesario para el túnel de viento

El caudal de aire necesario es el volumen del fluido que avanza por unidad de tiempo, este dato es importante para el diseño del túnel, siendo este el primer parámetro para determinar las prestaciones que se va a ocupar del ventilador (Yunes A. Cengel & Michael A. Boles, 2009).

El cálculo del caudal se expresa en la siguiente ecuación:

$$Q = vA$$

Ec. (1.5)

Se procede a reemplazar los datos:

$$Q = 25 \frac{m}{s} * 0.055225 m^2$$

$$Q = 1.3806 \frac{m^3}{s}$$

1.1.2 Zona de contracción

1.1.2.1 Consideraciones a escala

La zona de contracción debe cumplir funciones principales:

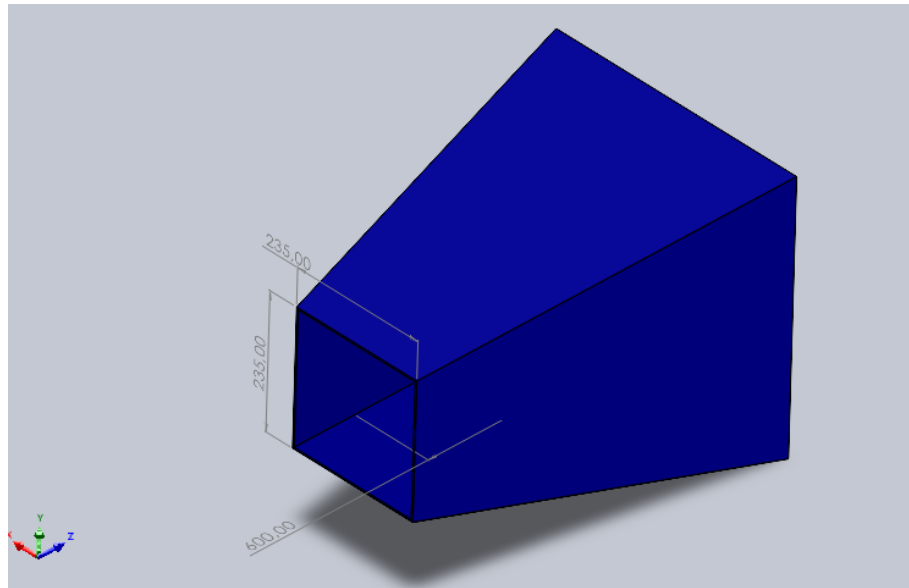
1. La primera función es lograr estabilizar el flujo que va a ingresar sea turbulento
2. La segunda función incrementa la velocidad del flujo de aire, para que pueda ingresar a la zona de pruebas.
3. La tercera función es direccionar el movimiento del aire, de forma adecuada.

1.1.2.2 Dimensiones

Durante el proceso de diseño, se tuvieron en cuenta otros factores importantes, como la disposición de los componentes y las estructuras internas de la zona de contracción. Se implementaron medidas para garantizar que los resultados obtenidos sean confiables y representativos del comportamiento aerodinámico del dragster en condiciones reales. Esto implicó la incorporación de elementos que reducen cualquier interferencia externa, como obstáculos o turbulencias indeseadas, que podrían afectar la precisión de las mediciones.

Sus dimensiones se pueden apreciar en el anexo 2:

Figura 1.5 Zona de contracción



Vista lateral, **Fuente:** Cristina Morales, Steeven Lomas

1.1.2.3 Cálculo del número de Match

El número de Match permite conocer cómo se va a comportar el fluido a distintas velocidades en distintos puntos, verificando si es compresible o no.

Para el cálculo se va a ocupar la siguiente ecuación:

$$M = \frac{v}{vs}$$

Ec. (1.6)

Donde:

$M = \text{Número de match}$

$v = \text{Velocidad en la zona de pruebas}$

$vs = \text{Velocidad del sonido}$

Se reemplaza:

$$M = \frac{25 \frac{m}{s}}{343 \frac{m}{s}}$$

$$M = 0.072 < 0.3 \text{ Flujo Incompresible}$$

1.1.2.4 Cálculo de pérdidas en la contracción

Para calcular las pérdidas en la zona de contracción, se utiliza las tablas de mecánica de fluidos, debido a que la zona de contracción es una tobera cuadrada de dos dimensiones distintas (Yunes A. Cengel & Michael A. Boles, 2009).

La ecuación que se va a utilizar se detalla a continuación:

$$hf = kc \frac{V^2}{2g}$$

Donde:

kc = Coeficiente de pérdidas de la zona de contracción

V = Velocidad a la salida en la zona de contracción

g = Gravedad

Reemplazar:

$$hf = 0.03 \frac{(25m/s)^2}{2(9.81 m/s^2)}$$

$$hf = 0.955m$$

1.1.2.5 Cálculo de pérdida en el estabilizador del flujo

El estabilizador de flujo o también llamado direccionador de flujo es un elemento que se coloca al inicio del túnel de viento en la sección de contracción, este elemento rectifica el flujo de aire que ingresa al túnel de viento.

Para este elemento existen algunos tipos geométricos, como hexagonales, circulares y cuadrados, los cuales deben ir unidos en forma de un panal de abejas o honeycombs.

Para poder seleccionar la mejor alternativa se debe considerar el diseño del túnel de viento, la alternativa más viable fue la de geometría cuadrada con forma de honeycombs, una vez seleccionado el estabilizador se debe calcular la pérdida del estabilizador seleccionado.

El coeficiente de pérdida para una sección circular es de 0.3. La construcción de esta será simple, debido a que se cortarían tubos y se pegaría hasta formar las dimensiones de la entrada de la zona de contracción.

La fórmula para el cálculo de pérdida en el estabilizador de flujo es:

$$hf = k * \frac{V^2}{2g}$$

Donde:

$k =$ Coeficiente de pérdidas de la sección circular

$V =$ Velocidad a la salida de la zona de contracción

$g =$ Gravedad

Reemplazar:

$$hf = 0.3 * \frac{V^2}{2(9.81 \frac{m}{s^2})}$$

$$hf = 0.3 * \frac{(50 \frac{m}{s})^2}{2(9.81 \frac{m}{s^2})}$$

$$hf = 38.23 \text{ m}$$

1.1.3 Zona del difusor cónico

1.1.3.1 Consideraciones a escala

El difusor cónico tiene la función de disminuir el flujo de aire que ingresa lentamente para evitar que se separe de la capa límite que se forma en la zona de pruebas.

La forma más conveniente de la reducción del aire es con una expansión gradual, el mismo que reduce pérdidas y evita turbulencias en esta zona, logrando mantener un flujo uniforme laminar dentro del túnel de viento.

El difusor cónico se coloca en esta zona donde el aire fluye a gran velocidad, entrando en la zona del difusor el cual tiene una zona cónica, expandiéndose gradualmente, por tal razón la velocidad del fluido disminuye y la presión se aumenta.

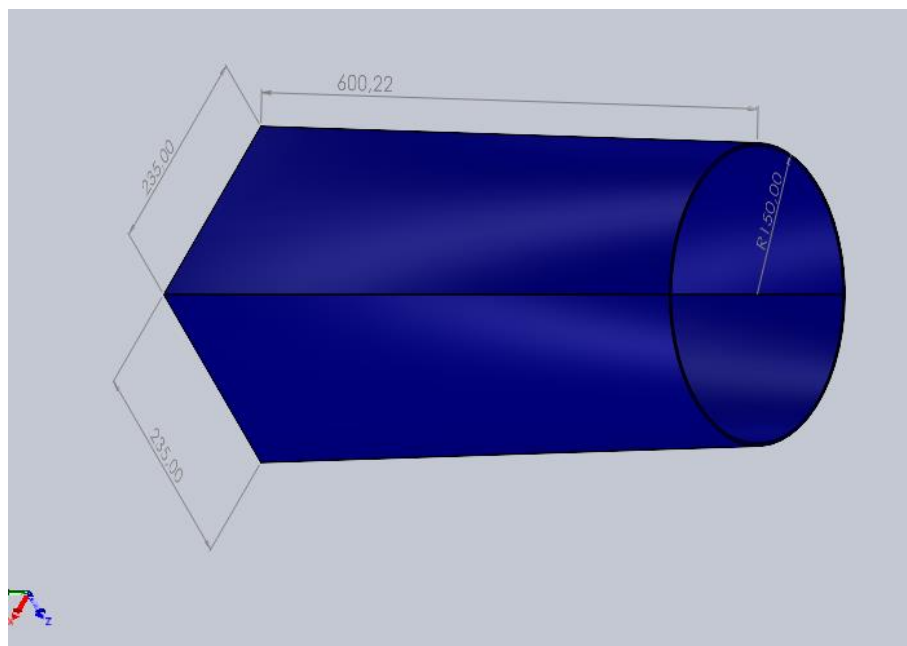
El difusor cónico está dividido en dos áreas, una redonda de entrada y una cuadrada de salida.

1.1.3.2 Dimensiones

La Zona del difusor cónico fue diseñada como una parte integral de la configuración de la zona de prueba. Este componente desempeña un papel crucial en la manipulación del flujo de aire y en la generación de presiones y velocidades adecuadas para los ensayos aerodinámicos. Debido a que su forma cónica gradual permite que el flujo de aire se expanda gradualmente, lo que resulta en una disminución de la velocidad y un aumento de la presión. Esta configuración es esencial para crear un entorno de prueba estable y controlado, donde se puedan observar y medir con precisión los efectos aerodinámicos del dragster.

Sus dimensiones se pueden apreciar en el anexo 3:

Figura 1.6 Zona del difusor cónico



Vista lateral, **Fuente:** Cristina Morales, Steeven Lomas

1.1.3.3 Cálculo del difusor cónico

El cálculo del difusor se va a realizar para determinar las características y dimensiones adecuadas del difusor en forma de divergente, el cual es utilizado para disminuir la velocidad del flujo y aumentar su presión.

La ecuación que se utilizara es la siguiente:

$$A_R = \frac{A_2}{A_1}$$

Donde:

$A_2 =$ Es el área de la salida del difusor

$A_1 =$ Es el área de entrada del difusor

Reemplazar datos:

$$A_R = \frac{0.03m}{0.09m^2}$$

$$A_R = 0.33m$$

1.1.4 Zona del estabilizador

1.1.4.1 Consideraciones a escala

La zona del estabilizador es una sección mediante la cual se va a disminuir el flujo turbulento del aire que es producido mediante el ventilador.

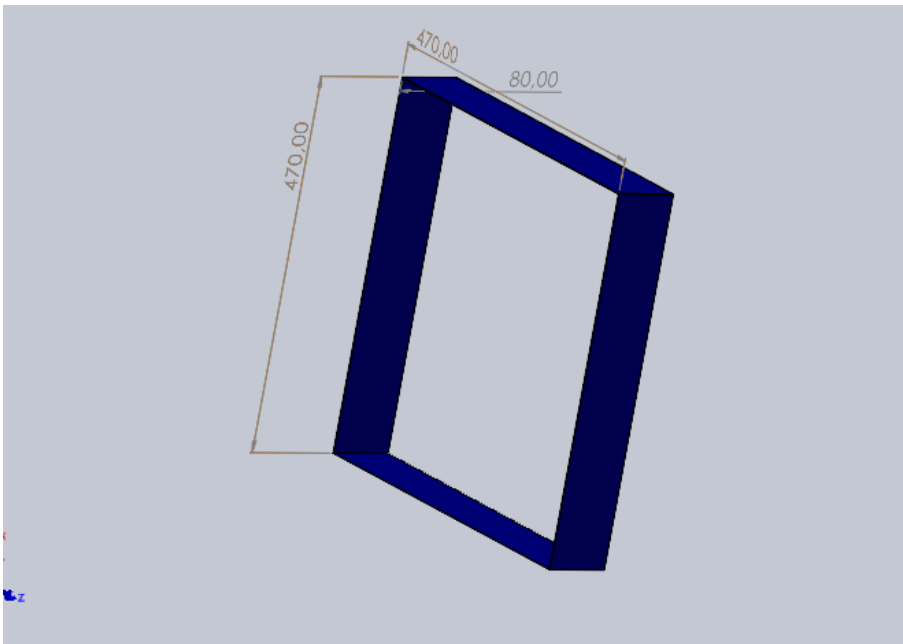
La zona del estabilizador, también conocida como sección de calma, es una sección importante en el túnel de viento que tiene como objetivo disminuir el flujo turbulento del aire que es producido por el ventilador. Esta sección se encuentra ubicada abajo del ventilador y consiste en una cámara de expansión que permite que el aire se expanda y disminuya su velocidad. Según Fernández Oro, S. (2013), la sección de calma es esencial para obtener resultados precisos y confiables en las pruebas aerodinámicas, ya que el flujo de aire debe ser lo más estable y uniforme posible. Además, según Sforza, P. (2007), la sección de calma también permite que se puedan instalar equipos de medición y sensores de manera más efectiva, lo que contribuye a una mayor precisión en las mediciones realizadas.

1.1.4.2 Dimensiones

La zona del estabilizador fue diseñada teniendo en cuenta aspectos clave como forma, tamaño, ángulo de inclinación, perfiles aerodinámicos y su integración con el resto del túnel. Esto permitió mejorar la estabilidad del flujo del aire hacia el dragster a escala, el modelo se puede observar en la figura 1.7.

Sus dimensiones se pueden apreciar en el anexo 4:

Figura 1.7 Zona del estabilizador

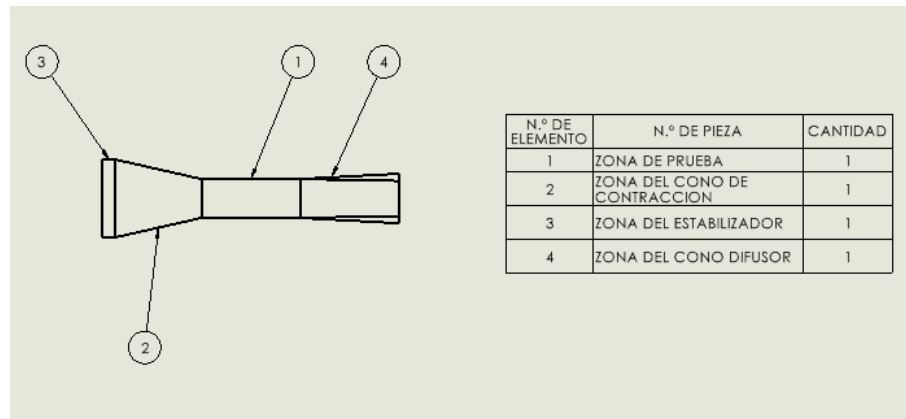


Vista lateral, **Fuente:** Cristina Morales, Steeven Lomas

1.1.5 Diseño y dimensionamiento de las principales zonas del túnel de viento

En la figura 1.8. se indica esquemáticamente el túnel de viento de extracción, de acuerdo con este diseño de túnel de viento se procederá a la construcción del túnel final, el plano correspondiente se encuentra en el anexo 5.

Figura 1.8 Esquema del túnel de viento



Zonas del túnel de viento, **Fuente:** Cristina Morales, Steeven Lomas

Zona (1) = Zona de prueba

Zona (2) = Zona del cono de contracción

Zona (3) = Zona del estabilizador

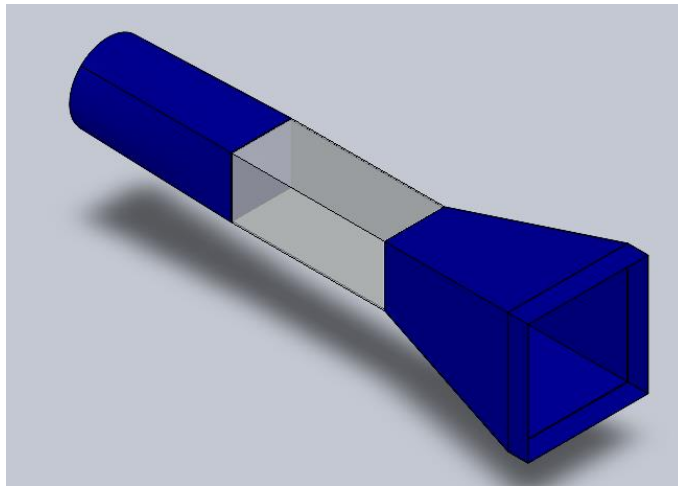
Zona (4) = Zona del cono difusor

1.1.6 Modelamiento tridimensional del túnel de viento

El modelamiento tridimensional sólido final con la forma de un túnel de viento se realizó en el módulo CAD de SolidWorks.

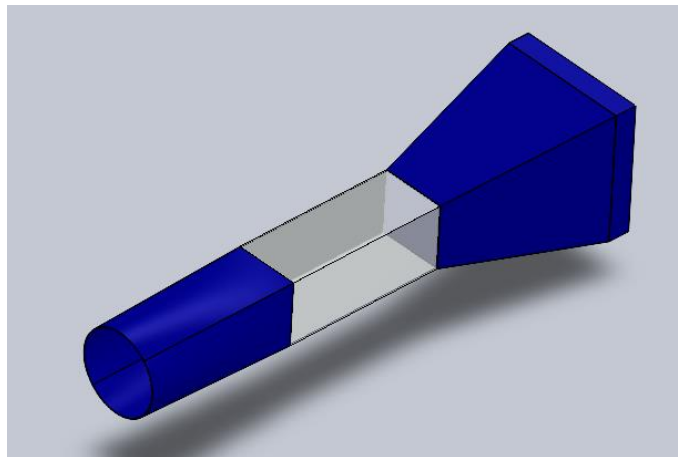
A continuación, en la figura, se va a mostrar el túnel de viento que se realizó para la simulación, el mismo que concuerda con el aspecto final que debe tener el mismo una vez construido.

Figura 1.9 Esquema sólido frontal del túnel de viento



Vista isométrica frontal, **Fuente:** Cristina Morales, Steeven Lomas

Figura 1.10 Esquema sólido posterior del túnel de viento



Vista isométrica posterior, **Fuente:** Cristina Morales, Steeven Lomas

En la figura 1.8, se puede observar los componentes básicos que dispone el túnel de viento.

De acuerdo con el modelo virtual realizado y con las dimensiones especificadas, se puede empezar finalmente con la construcción de este, de forma que quedaría como se puede apreciar en la figura 1.9 y 1.10.

CAPÍTULO 2

CONSTRUCCIÓN DE UN TUNEL DE VIENTO CON LA ADAPTACIÓN DE ESPEJOS DE EFECTO SCHLIEREN

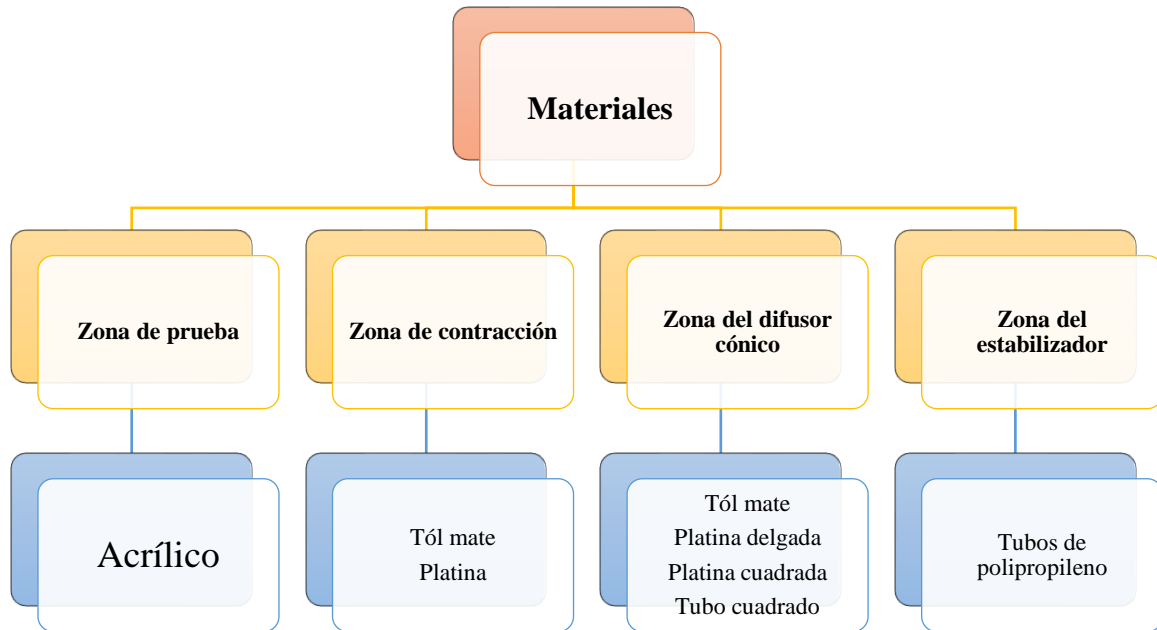
La construcción del túnel de viento con la adaptación de espejos de efecto Schlieren es un capítulo que combina la ingeniería mecánica con la óptica para así tener resultados impresionantes creando una herramienta poderosa para el estudio del flujo de aire y la visualización de efectos aerodinámicos invisibles a simple vista, visualizando las variaciones en la densidad del aire, permitiendo observar también la velocidad y la dirección del flujo de aire.

2.1 Materiales utilizados para la construcción del túnel de viento

Dependiendo del dimensionamiento y diseño del túnel de viento, serán necesario adquirir algunos materiales y elementos eléctricos con los cuales se va a construir y luego verificar y observar los efectos aerodinámicos que se producen sobre los dragsters a escala al hacer fluir aire por el túnel de viento a distintas velocidades.

Una vez definido el dimensionamiento total del túnel de viento se procede a verificar los respectivos materiales que se va a utilizar en cada zona del túnel de viento, juntamente con las características de cada uno de los elementos, esto se puede apreciar en el mapa de la figura 2.1.

Figura 2.1 Selección del material más viable



Selección de los materiales para el túnel de viento, **Fuente:** Cristina Morales, Steeven Lomas

2.1.1 Tol mate 1/40

El tol mate es un producto para la construcción metalmeccánica, laminado y construido en acero.

Este tipo de material es ideal para la construcción de gran variedad de productos como recipientes metálicos, o cualquier tipo de elemento, debido a que tiene bastante resistencia mecánica y gran capacidad de corrosión.

La facilidad de manejo del tol es bastante accesible debido a que se puede recortar con tijeras de una forma sencilla.

Este material se lo llevo a emplear en la zona de contracción y la zona del difusor cónico, siendo cortado, moldeado y mecanizado a las necesidades requeridas del túnel de viento.

2.1.2 Acrílico 5 mm

El acrílico es un material termoplástico rígido y de color transparente. Es característico porque es un material resistente, durable y ligero, obtiene también una mayor resistencia a la rotura.

Las láminas del acrílico son muy utilizadas en la fabricación de protectores de pantalla, señalizaciones, displays, ventanas, y otras aplicaciones en construcciones y diseños de interiores de casas.

Este tipo de material también es fácil de cortar, moldearlo y manipularlo, por lo cual recalca un fácil uso de este.

Propiedades:

1. Transparente: Permite visualizar fácilmente por su claridad, por lo cual es muy ideal para aplicaciones donde se necesite una buena visibilidad.
2. Alta resistencia: Es un material duradero y resistente a impactos y roturas.
3. Ligero: El acrílico es más liviano que el vidrio.
4. Fácil manipulación: Se puede crear con este material distintas formas y de distinto tamaño.

Este tipo de acrílico se utilizó en la zona de pruebas, debido a que ahí se necesita una buena visibilidad para poder observar el comportamiento aerodinámico sobre los dragsters.

2.1.3 Sorbetes termoplásticos gruesos

Los sorbetes son de un material plástico cristalino. Es muy utilizado para bastantes aplicaciones los cuales incluyen alimentos, componentes automotrices, empaques alimenticios, equipos, etc.

Este tipo de sorbetes disponen de gran resistencia contra diversos solventes químicos.

Como se puede observar en la figura 2.2 se realizo la zona del estabilizador en forma de un panel de abejas, para que el flujo turbulento pueda convertirse en laminar.

Figura 2.2 Sorbetes termoplásticos



Sorbetes en forma de panel, **Fuente:** Cristina Morales, Steeven Lomas

Propiedades:

1. Fácil de moldear
2. Gran resistencia
3. Gran estabilidad térmica

2.1.4 Platina cuadrada gruesa de 3mm

La platina es una lámina metálica de acero con un espesor de 3mm, estas se utilizan en distintas aplicaciones como la fabricación de estructuras, construcción metálica o carpintería, entre otros.

Es bastante importante recalcar que este material es bastante resistente y rígido, el material se lo puede observar en la figura 2.3.

Figura 2.3 Platina de espesor 3mm



Platina de 3 mm, **Fuente:** Cristina Morales, Steeven Lomas

2.1.5 Platina delgada de 4mm

La varilla cuadrada, es un elemento metálico con forma cuadrada. Este tipo de material es utilizado en distintas aplicaciones como la construcción de estructuras, entre otros proyectos relacionados.

Es un elemento bastante rígido y resistente.

Figura 2.4 Platina cuadrada de grosor 4mm



Platina de 4 mm, **Fuente:** Cristina Morales, Steeven Lomas

2.1.6 Tubo estructural cuadrado

El tubo estructural cuadrado es un perfil, fabricado en acero laminado. Son disponibles en todos los tamaños y espesores para que se pueda adaptar a la necesidad de construcción de cada persona.

Este tubo cuadrado es característico por tener cuatro lados iguales y las esquinas rectas, lo cual lo hace ideal para la construcción de estructuras que requieran de resistencia y estabilidad.

2.1.7 Varilla cuadrada

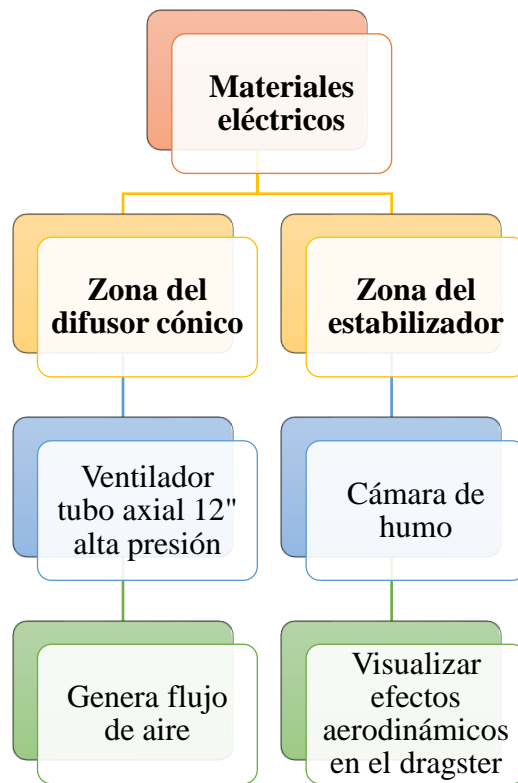
La varilla cuadrada es una barra de acero con una sección cuadrada, está fabricada con acero laminado y se puede encontrar en distintos espesores y tamaños.

Es característico porque contiene resistencia y gran rigidez.

2.2 Materiales eléctricos utilizados para la construcción del túnel de viento

Los materiales eléctricos que se va a utilizar se pueden observar en la figura 2.5.

Figura 2.5 Selección de materiales eléctricos viables



Fuente: Cristina Morales, Steeven Lomas

2.2.1 Ventilador tubo axial 12” alta presión Mingletec MFJ-D30

Figura 2.6 Ventilador Mingletec



Ventilador Mingletec MFJ-D30, **Fuente:** Cristina Morales, Steeven Lomas

El ventilador tubo axial apreciado en la figura 2.6, es un elemento cilíndrico el cual tiene la función de ventilador y extractor.

En el túnel de viento se lo va a colocar frente al difusor cónico, con la función de extractor, el cual va a extraer el humo que es producido por la cámara de humo hacia el interior del espacio cerrado del túnel de viento, permitiendo que el humo quede circulando dentro del túnel y se puedan realizar las pruebas visuales alrededor de los dragsters.

Este tipo de ventilador consta con un motor y con un conjunto de aspas que están sujetas a un tubo cilíndrico.

2.2.1.1 Aplicación del ventilador en el túnel de viento

La función y aplicación principal del ventilador en el túnel de viento es que, en vez de generar flujo de aire, extraiga flujo de aire de la cámara de humo, un aire controlado y constante, para mediante esto poder ver la aerodinámica y el estudio de los efectos del flujo de aire que se genera alrededor de los dragster y distintos tipos de objetos, como también vehículos a escala.

El flujo de aire generado por el ventilador se puede ajustar y controlar mediante el control de regulación que dispone, dando variación de condiciones dentro del túnel de viento, simulando distintas situaciones en este.

2.2.2 Cámara de humo

Figura 2.7 Cámara de humo



Cámara de humo seleccionada, **Fuente:** Cristina Morales, Steeven Lomas

La cámara de humo observada en la figura 2.7, es un elemento que se aplica al túnel de viento con la finalidad de generar humo para que ingrese al interior del túnel de viento mediante la ayuda del extractor, con lo cual se van a realizar las pruebas visuales en los dragsters.

La cámara de humo se caracteriza por liberar una capa de humo bastante espesa con lo cual se puede realizar múltiples cosas y experimentos en cualquier situación.

La cámara de humo dispone de un contenedor en el cual se suministra una sustancia o líquido llamado fluido de humo. Dentro de la cámara de humo se lo calienta y empieza a evaporizar mediante lo cual genera la densa capa de humo que se dispersa en el ambiente.

Figura 2.8 Cámara de humo lateral



Cámara de humo de vista lateral, **Fuente:** Cristina Morales, Steeven Lomas

El humo que se produce por esta cámara de humo no es tóxico, pero es recomendable que donde se vaya a utilizar sea un lugar que disponga de bastante ventilación para evitar cualquier problema a la salud de las personas.

Características principales:

- Potencia: 600 W
- Dimensión: 290x140x140 mm
- Volumen del líquido de humo: 1.5 litros
- Distancia de disparo: 8 m

2.2.2.1 Aplicación de la cámara de humo en el túnel de viento

La función y aplicación de la cámara de humo en el túnel de viento es que produzca humo e ingrese dentro del túnel de viento con la ayuda del extractor, generando una capa espesa de humo para poder ver los efectos visuales de la aerodinámica y poder estudiarlos.

La cámara de humo dispersa el humo en el túnel de viento, lo cual permite visualizar como el flujo de aire puede interactuar con el objeto de estudio y ver como se forman los patrones de flujo en las distintas zonas del objeto.

Este tipo de aire ayuda a identificar problemas del flujo, también a mejorar la aerodinámica del dragster a escala y realizar cambios efectivos en este, como en el diseño y la optimización precisa de la estructura.

2.3 Construcción del túnel de viento

Después de haber realizado la selección completa de los materiales de construcción y los materiales eléctricos y haberlos adquirido, se procede a la construcción de este, basándonos en el diseño del CAD y los planos de este realizado en SolidWorks, de manera que se puede realizar el túnel de viento dividido por zonas, las mismas que son anotadas a continuación:

1. Zona de contracción conjuntamente unido con la zona del estabilizador
2. Zona de pruebas
3. Zona del difusor cónico

Una vez que se encuentran divididas las zonas del túnel de viento, se procede a la explicación de la construcción de las zonas y el ensamble de estas.

2.3.1 Zona de pruebas

La construcción de la zona de pruebas se realizó con acrílico de 3mm de grosor, formando un prisma rectangular de 235 mm x 235 mm x 600 mm.

Se realizó en un acrílico transparente debido a que se puede visualizar fácilmente al momento de realizar las pruebas aerodinámicas.

2.3.2 Zona de contracción

Para la construcción de la zona de contracción se seleccionó una plancha de tól mate de espesor 1/40.

Una vez obtenido el tol se procede a cortar de acuerdo con las dimensiones obtenidas en el plano en forma de un cono cuadrado en los dos lados con medidas de 235 mm x 600 mm x 470 mm.

Una vez realizado esto se procede a retorcer en una dobladora. Luego se lo dobló y se formó el cono como se puede llegar a observar en la figura 2.9 y 2.10.

Figura 2.9 Doblado de tól



Dobladora de tol, **Fuente:** Cristina Morales, Steeven Lomas

Figura 2.10 Zona de contracción doblada



Zona de contracción doblada mediante la dobladora, **Fuente:** Cristina Morales, Steeven Lomas

Para posteriormente ser sellado, se utilizó remaches y silicona para que no exista ninguna fuga de aire, cuando se coloque el ventilador y exista turbulencia en el túnel de viento.

Figura 2.11 Zona de contracción remachada



Zona de contracción en proceso de remachado, **Fuente:** Cristina Morales, Steeven Lomas

2.3.3 Zona del estabilizador

La zona del estabilizador se lo realizó con tubos gruesos de sorbete de 1 cm de diámetro y 8 cm de largo, formando una zona parecida a la de un panal de abejas o también llamada honeycomb.

Para esta zona se utilizó alrededor de 1755 unidades de sorbetes, superpuestas y pegadas mediante silicona industrial fría, el marco se lo realizo de madera y tiene las mismas dimensiones de la entrada que es de 47 cm por 47 cm.

La zona se parece a un panal de abejas o también llamado honeycomb, el cual consiste en un tablero que se elabora con celdas, este es fabricado en distintos materiales cuya estructura se vuelve bastante resistente.

Figura 2.12 Sorbetes pegados



Formación del estabilizador en la zona de contracción, **Fuente:** Cristina Morales, Steven Lomas

Figura 2.13 Estabilizador en forma de Honeycomb



Zona de contracción, estabilizador, **Fuente:** Cristina Morales, Steeven Lomas

El estabilizador de flujo ideal se realizó con los tubos de sorbete plásticos para que se pueda obtener el flujo laminar, de esta forma permitirá visualizar el comportamiento aerodinámico sobre los dragsters.

Esta zona de logro, recortando los tubos y pegándolos con silicona en posición a un panel, utilizando la cantidad suficiente para que toda el área de la zona de contracción quede cubierta.

2.3.4 Zona del difusor cónico

Una vez seleccionado el material, se utilizará un tol de 1/40 de grosor.

Esta zona presenta algunas complicaciones debido a que tiene forma cuadrada en el un extremo y forma circular al otro extremo.

Primero se realizó el corte de la figura con los planos realizados, para luego meterle a un amoldador para hacerle más blando al tól y que se forme la zona circular, después se realizó el dobléz a 150 mm del tól para que se forme la parte cuadrada del difusor cónico, como se puede ver en la figura 2.14.

Figura 2.14 Zona del difusor cónico



Zona del difusor cónico doblado, **Fuente:** Cristina Morales, Steeven Lomas
Para que el diámetro del difusor cónico quede redondo y preciso, se colocó un aro de una platina cuadrada de 4 mm, esto se puede observar en la figura 2.15.

Figura 2.15 Aro de platina



Aro de platina para el difusor cónico, **Fuente:** Cristina Morales, Steeven Lomas

Este modelo se lo realizó de esa forma circular a un extremo para que pueda tener concordancia con el ventilador y de esta forma pueda ser acoplado y quede perfecto, quedando como se puede apreciar en la figura 2.16.

Figura 2.16 Salida del difusor cónico



Aro colocado en el difusor cónico, **Fuente:** Cristina Morales, Steeven Lomas

Para el posterior sellado del difusor cónico, se utilizó remaches que se colocaron como se puede distinguir en la figura 2.17 y 2.18, y silicona para no permitir cualquier tipo de fuga del flujo de aire.

Figura 2.17 Zona del difusor cónico con remaches



Remachado del difusor cónico, **Fuente:** Cristina Morales, Steeven Lomas

Figura 2.18 Zona del difusor cónico unido



Unión con el aro y remaches del difusor cónico, **Fuente:** Cristina Morales, Steeven Lomas

2.3.5 Unión de la estructura del túnel de viento

Para la unión del túnel de viento se utilizó el proceso de soldado, en el cual se unieron las platinas, los ángulos y todo esto a nivel.

El tipo de soldadura que se utilizó fue de soldadura por arco eléctrico, el mismo que consta de crear un arco entre el metal y el electrodo, consiguiendo que el metal se derrita y se puedan unir las platinas. Fue unión a tope en doble V, es decir por arriba y por debajo. Se puede apreciar en la figura 2.19 como la unión de la estructura.

Los parámetros de soldadura que se utilizó fueron:

- Elegir los electrodos correctos de acuerdo con la platina que se utilizó, en este caso se utilizó un electrodo E6011. Cabe indicar que este electrodo puede ser utilizado en cualquier posición y es de penetración profunda.
- Colocar el correcto amperaje para utilizar la suelda.
- Posición correcta del electrodo debido a que influye mucho en el cordón soldado.

Figura 2.19 Unión de la estructura



Unión de la estructura a nivel, **Fuente:** Cristina Morales, Steeven Lomas

También se realizó dos patitas en la parte del difusor cónico para que se pueda estabilizar y estar a nivel total el túnel de viento.

Figura 2.20 Túnel de viento unido



Unión completa del túnel de viento, **Fuente:** Cristina Morales, Steeven Lomas

2.3.6 Estructura para el ventilador

Figura 2.21 Soporte para el ventilador



Estructura metálica para elevar el ventilador, **Fuente:** Cristina Morales, Steeven Lomas

Para el ventilador se realizó una estructura con la cual se pretende alzar el ventilador al nivel del túnel de viento, para que de acuerdo con esto se acople bien al túnel y pueda extraer bien el humo de la cámara de humo.

2.4 Acabado del túnel de viento

El acabado del túnel de viento se basa en el recubrimiento de este, es una parte importante del diseño y de la construcción.

Para el acabado del túnel de viento se utilizó dos tipos de pintura.

2.4.1 Pintura esmalte azul

La pintura de esmalte anaranjado es anticorrosiva, duradera y resistente al agua, la cual se utiliza muy comúnmente en superficies metálicas.

Este tipo de pintura se caracteriza por su acabado liso y brillante, proporcionando una capa protectora que queda bastante bonita y decorativa, también es muy fácil de limpiar las superficies.

2.4.2 Pintura aerosol amarillo

La pintura en aerosol es un tipo de pintura que se encuentra presurizada y es de tipo spray, se lo coloca mediante una boquilla pulverizadora, la cual crea una cobertura uniforme y suave.

La pintura en aerosol está compuesta por pigmento, resina, propelentes y solventes. Los pigmentos proporcionan el color de la pintura, la resina brinda gran adherencia y durabilidad, los propelentes permiten que la pintura pueda salir en forma de aerosol, y los solventes ayudan a disolver y mezclar los ingredientes completos de la pintura.

2.5 Análisis de costos

En este apartado se va a realizar el análisis de factibilidad económica del proyecto de tesis.

Cuando se realizó el anteproyecto de la tesis, los costos de inversión fueron medios, entonces conscientemente de aquello se mantuvo el tema. Es importante conocer el costo final, debido

a algunos elementos que si fueron costosos. Se logro conseguir todos los elementos en el mercado nacional y una vez obtenido todos los elementos y equipos se procedió con el armado del túnel, usando herramienta propia.

En los anteriores subtemas se detalló la aplicación de cada elemento en el túnel de viento, por lo cual ahora se va a tratar netamente del costo de cada uno.

Tabla 1.2 Costo del túnel de viento

Descripción	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total (USD)
Túnel de viento en tól mate	1	\$449,25	\$449,25
Ventilador tubo axial	1	\$217,72	\$217,72
Máquina de humo	1	\$37,00	\$37,00
Espejo cóncavo	1	\$30,40	\$30,40
Extras	---	\$258,25	\$258,25
TOTAL			\$992,62

Materiales y costos, **Fuente:** Cristina Morales, Steeven Lomas

CAPÍTULO 3

DETERMINAR LOS DISTINTOS COMPORTAMIENTOS AERODINÁMICOS OBTENIDOS SOBRE EL DRAGTER

En el campo de la aerodinámica se realiza numerosos estudios para comprender y mejorar el comportamiento de los vehículos, en este caso de los dragster a escala debido a su diseño, el objetivo de este capítulo es determinar los diferentes comportamientos aerodinámicos que se llegan a obtener sobre la superficie de los dragsters a escala, realizando pruebas detalladas visuales para verificar el impacto del flujo del aire sobre este tipo de vehículos a escala.

3.1 Efecto Schlieren

3.1.1 Efecto Schlieren mediante un espejo cóncavo

El espejo cóncavo es un espejo con una superficie curvada hacia el interior de este, es utilizado debido a que tiene propiedades ópticas bastante interesantes. Dependiendo de la intensidad de la luz y de la posición del espejo, la imagen que se puede observar puede ser real o virtual.

Figura 3.1 22 Espejo cóncavo



Espejo cóncavo, **Fuente:** Cristina Morales, Steeven Lomas

Otra característica importante de este tipo de espejos es que disponen de gran capacidad para enfocar la luz lo cual permite que se llegue a formar imágenes nítidas y flamantes.

El efecto Schlieren consiste en el principio de la luz, la cual se refracta, desviando a la luz y produciendo una imagen.

3.1.2 Elementos y montaje para adquirir el efecto Schlieren a través del túnel de viento

Para el montaje del efecto Schlieren se utilizó un espejo cóncavo, una linterna de gran potencia y una cámara.

El espejo cóncavo estaba situado detrás del acrílico del túnel de viento, y la linterna le apuntaba desde el frente al centro del espejo, con lo cual salía el reflejo del espejo con lo cual se pudo realizar las pruebas aerodinámicas en cada dragster.

La visualización correcta de este efecto se basa en la desviación de la luz por un gradiente, el cual está relacionado al gradiente de densidad del dragster.

La luz del reflejo es la luz no desviada la cual sale en forma de reflejo y se visualiza en este caso en una pared siendo la pantalla de visualización.

3.1.3 Cálculo para el efecto Schlieren

Para el cálculo del efecto Schlieren se utiliza la siguiente ecuación:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i} \quad (\text{Rae, W.H., and Pope, A, 2002})$$

Donde:

f = Distancia focal

d_o = Distancia del objeto al lente

d_i = Distancia de la imagen del objeto al lente

3.2 Operaciones aerodinámicas sobre los dragsters

La aerodinámica vehicular es el estudio concreto de fenómenos aerodinámicos que se dan a través del flujo del aire alrededor de un automóvil en movimiento.

En este proyecto se va a analizar la aerodinámica sobre la superficie exterior de los dragsters, para conocer cómo influye en el mismo y sucede con la estabilidad del vehículo.

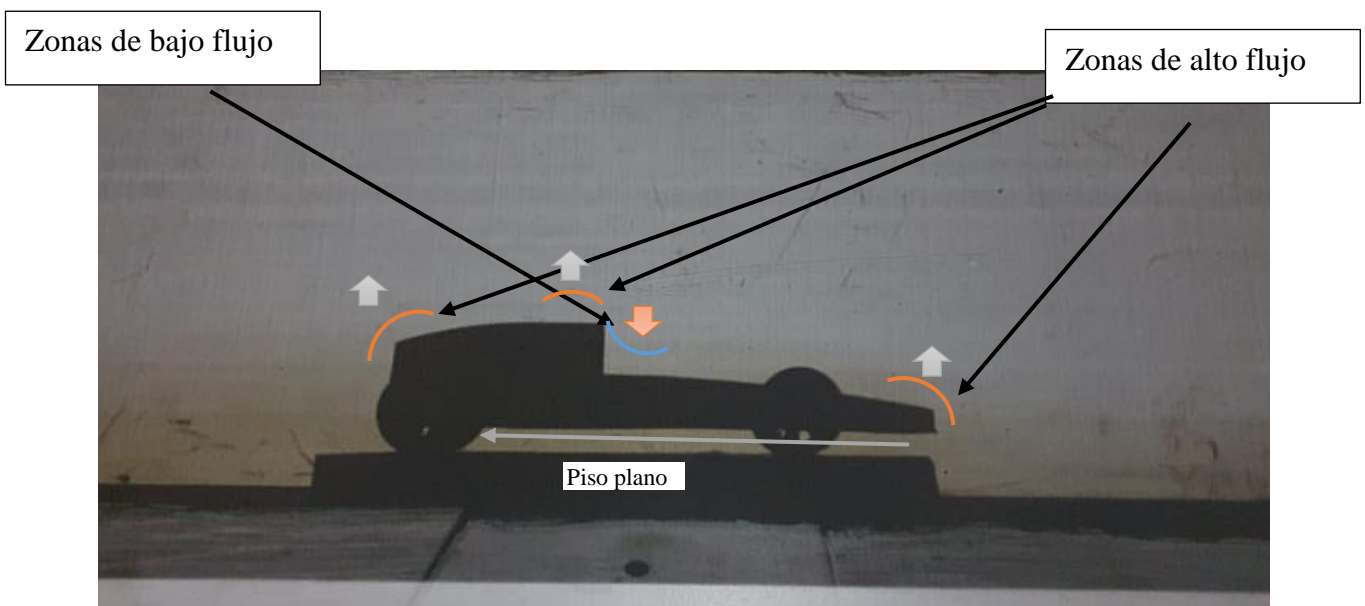
Los diseños de los dragsters tienen importantes implicaciones en el estudio de la aerodinámica.

El estudio de la aerodinámica en los dragsters es crucial, ya que el rendimiento y la eficiencia de estos vehículos de alta velocidad dependen en gran medida de su capacidad para reducir la resistencia aerodinámica y mantener la estabilidad en condiciones de altas velocidades. Un diseño aerodinámico adecuado puede ayudar a minimizar la resistencia al aire, mejorar la tracción en el suelo y maximizar la eficiencia en la generación de fuerza aerodinámica, lo que a su vez puede resultar en un mejor rendimiento y tiempos de aceleración más rápidos.

3.2.1 Zonas de alto flujo y zonas de bajo flujo.

Se refiere al estudio de los fenómenos aerodinámicos que se generan como resultado del flujo de aire alrededor de un vehículo en movimiento.

Figura 3.2 23 Zonas de alto y bajo flujo



Zonas de alto y bajo flujo, **Fuente:** Cristina Morales, Steeven Lomas

3.3 Pruebas visuales aerodinámicas sobre los dragsters

Durante las pruebas de los 3 dragsters, se deben tener en cuenta varias consideraciones para obtener resultados. En primer lugar, es importante establecer pruebas para cada vehículo, que incluya variables como la velocidad de viento, el ángulo de ataque y la resistencia que existe entre el material y el aire.

Es esencial mantener un entorno controlado durante las pruebas, minimizando las fuentes de interferencia externas. Esto implica asegurarse de que el túnel de viento esté correctamente sellado y libre de fugas de aire, así como evitar la presencia de corrientes de aire no deseadas que puedan afectar los resultados.

Existen diferencias de diseño en cada dragster como se pueden apreciar en la figura 3.4, figura 3.6 y figura 3.8. También es necesario tomar en cuenta su superficie la cual es distinta en cada modelo.

El modelo 3, contiene una superficie escalada con una altura de 2 mm entre cada escalón y su superficie frontal es considerable, la cual es más propensa a crear un flujo variable cuando el aire pasa sobre este.

El modelo 2, este dispone de una superficie ligeramente irregular que no afecta significativamente al flujo de aire, pero su superficie frontal sigue siendo considerablemente amplia.

El modelo 1, es el diseño más óptimo debido a su superficie lisa junto con su superficie frontal reducida, su resistencia aerodinámica es menor a comparación que los otros dos modelos

Tomando en cuenta estas consideraciones, se podrá obtener información sobre el comportamiento aerodinámico de los dragsters, permitiendo realizar comparaciones entre los diferentes modelos y evaluar el impacto de las características de diseño en su rendimiento en términos de resistencia y eficiencia aerodinámica.

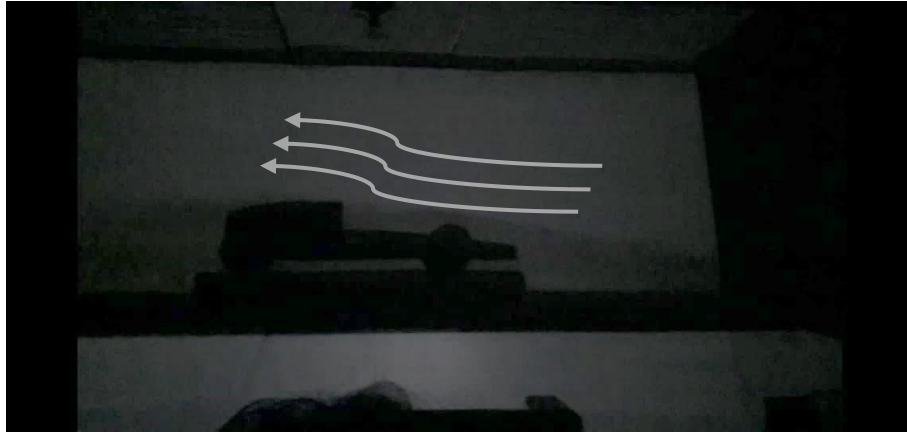
3.3.1 Prueba 1

En la prueba #1 se puede observar cómo se forma la capa límite por encima del vehículo, la cual se llega a generar por contacto del flujo del aire alrededor del vehículo en la parte exterior del mismo.

Este análisis visualiza las líneas de corriente del flujo de aire alrededor del vehículo. Las líneas de corriente son trazos continuos que siguen la dirección del flujo y ayudan a identificar patrones de flujo, zonas de alta y baja velocidad, así como la formación de

turbulencias. Un vehículo con una estructura aerodinámica eficiente mostrará líneas de corriente más suaves y alineadas, indicando una menor resistencia al avance.

Figura 3.3 24 Prueba aerodinámica 1



Prueba aerodinámica 1, **Fuente:** Cristina Morales, Steeven Lomas

Figura 3.4 25 Dragster modelo 1

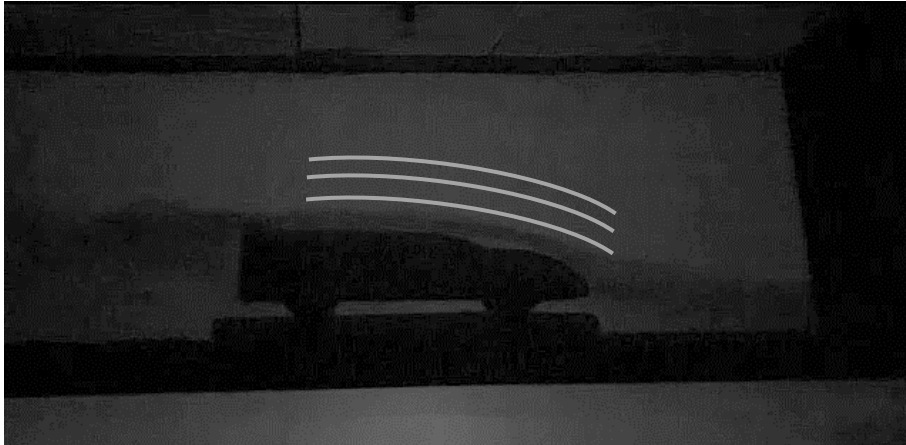


Dragster modelo 1, **Fuente:** Cristina Morales, Steeven Lomas

3.3.2 Prueba 2

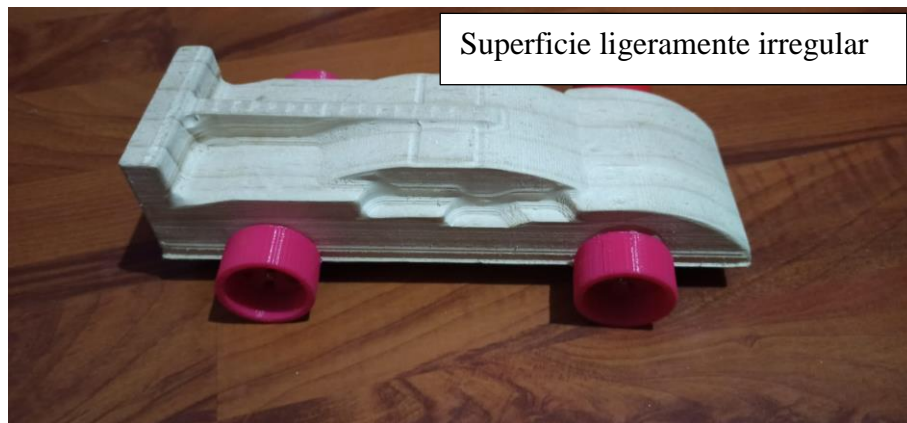
Análisis 2 representa el campo de presión en la superficie del vehículo. Se utilizan colores a escala de grises para indicar diferentes niveles de presión, lo que permite identificar zonas de alta y baja presión. Un vehículo bien optimizado tendrá una distribución uniforme de la presión en su superficie, minimizando las zonas de alta presión que pueden generar resistencia y maximizando las zonas de baja presión que generan fuerzas de sustentación.

Figura 3.5 26 Prueba aerodinámica 2



Prueba aerodinámica 2, **Fuente:** Cristina Morales, Steeven Lomas

Figura 3.6 27 Dragster modelo 2

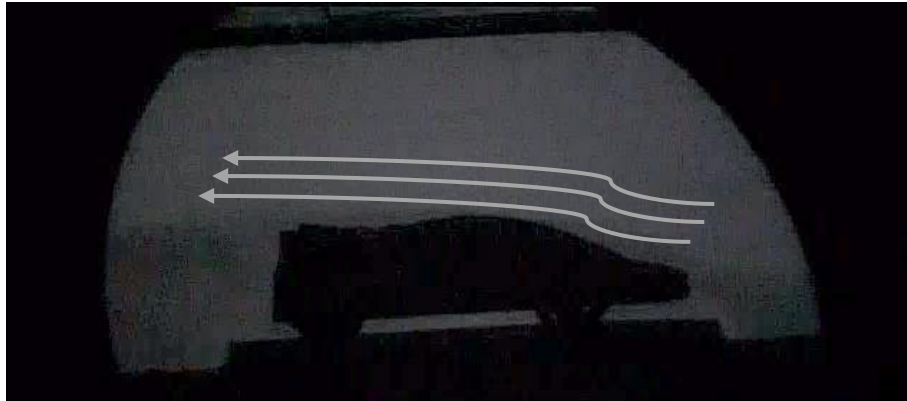


Dragster modelo 2, **Fuente:** Cristina Morales, Steeven Lomas

3.3.3 Prueba 3

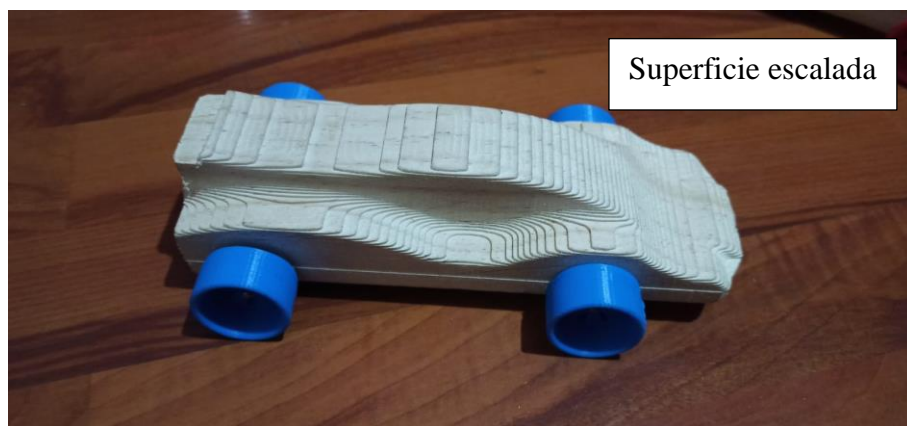
Análisis 3, permite identificar zonas de turbulencia y separación del flujo de aire alrededor del vehículo. La turbulencia puede generar arrastre adicional, mientras que la separación del flujo puede provocar la formación de estelas y vórtices perjudiciales. Un vehículo bien diseñado mostrará un flujo laminar y un mínimo de turbulencias y separaciones, lo que indica una mejor eficiencia aerodinámica.

Figura 3.7 28 Prueba aerodinámica 3



Prueba aerodinámica 3, **Fuente:** Cristina Morales, Steeven Lomas

Figura 3.8 29 Dragster modelo 3



Dragster modelo 3, **Fuente:** Cristina Morales, Steeven Lomas

CAPÍTULO 4

COMPARAR LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL TÚNEL DE VIENTO CONTRA LOS RESULTADOS OBTENIDOS MEDIANTE SOFTWARE FLUENT.

Se realizará una comparación detallada entre los resultados obtenidos en el túnel de viento y los resultados obtenidos mediante el software Fluent y SolidWorks. Esta comparación permitirá evaluar la precisión y confiabilidad del túnel de viento como herramienta de investigación, así como identificar posibles discrepancias y áreas de mejora en ambos enfoques.

Se aborda los aspectos prácticos y técnicos relacionados con la implementación de los espejos de efecto Schlieren en el túnel de viento. Se discutirán los beneficios y limitaciones de esta técnica de visualización, así como su contribución en la obtención de resultados más precisos y detallados sobre el comportamiento del flujo de aire alrededor de los dragsters.

4.1 Software Fluent

4.1.1 Visualización del software Fluent

Al aplicar los mismos parámetros establecidos del túnel de viento al software, se obtendrá un resultado real, el cual brinda una

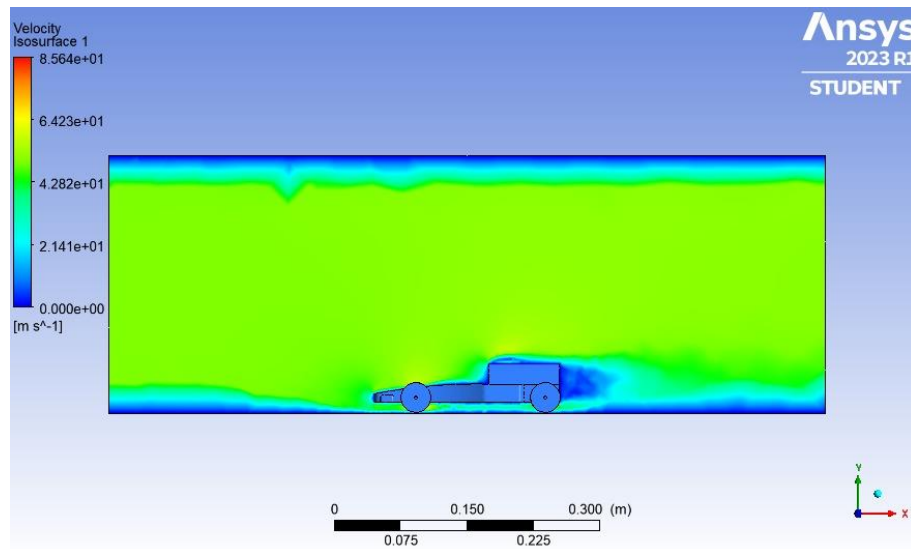
Parámetros establecidos:

Velocidad del viento a 50 m/s

Puntos de referencia 1600p

Resistencia entre madera y aire 0.2

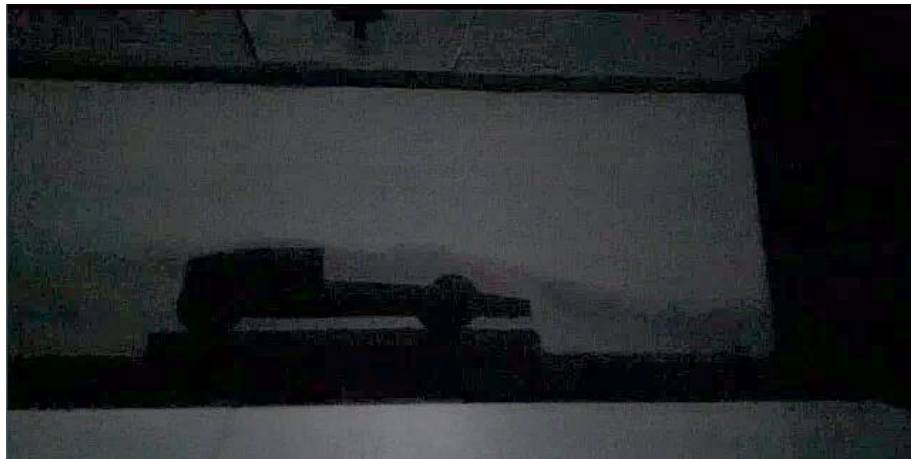
Figura 4.1 Simulador Fluent

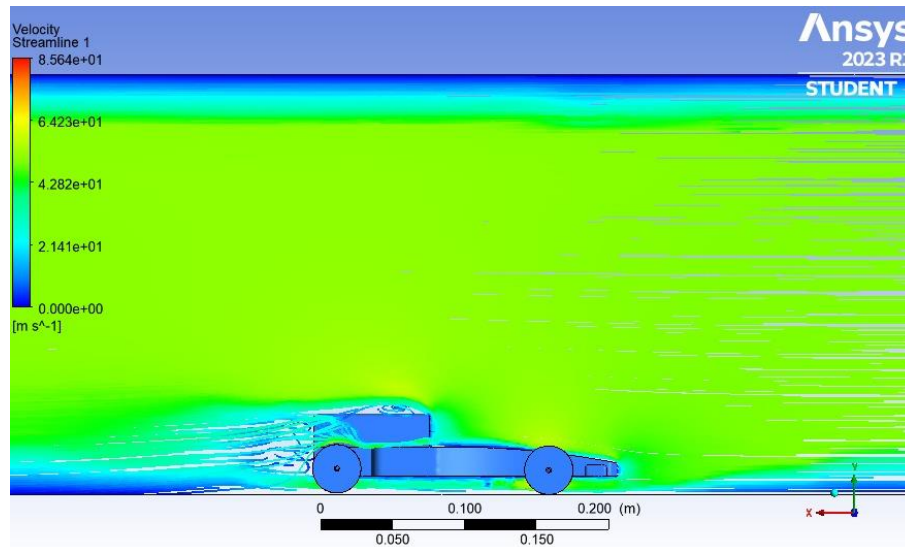


Simulador de Fluent, **Fuente:** Cristina Morales, Steeven Lomas

4.1.2 Análisis de los resultados

Figura 4.2 Comportamiento aerodinámico sobre la superficie del vehículo





Comportamiento aerodinámico sobre la superficie del vehículo

, **Fuente:** Cristina Morales, Steeven Lomas

Comparación entre el Túnel de Viento y el Software Fluent:

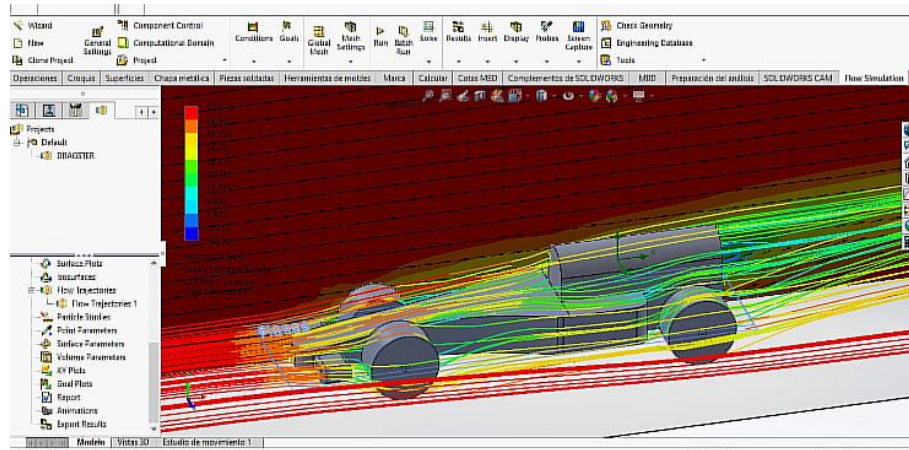
Al comparar los resultados mostrados en la figura 4.2, se puede apreciar que tiene una capa límite similar ya que el resultado llega a ser incluso casi el mismo, salvo que en el software se visualiza de mejor manera el vacío y las zonas de turbulencia que causa el dragster. También nos muestra cómo se comporta el flujo al pasar por debajo del vehículo y que la superficie sea plana.

4.2 Software SolidWorks

4.2.1 Visualización del software SolidWorks

Al utilizar los parámetros previamente definidos en el túnel de viento y aplicarlos al software, se logrará obtener un resultado práctico y tangible. Estos parámetros incluyen una velocidad del viento de 50 m/s, puntos de referencia de 1600p y una resistencia de 0.2 entre la madera y el aire. De esta manera, se obtendrá un resultado realista y confiable que proporcionará información valiosa sobre el comportamiento aerodinámico.

Figure 4.3 Prueba de simulación en solidworks



Prueba de Simulación en SolidWorks, **Fuente:** Cristina Morales, Steeven Lomas

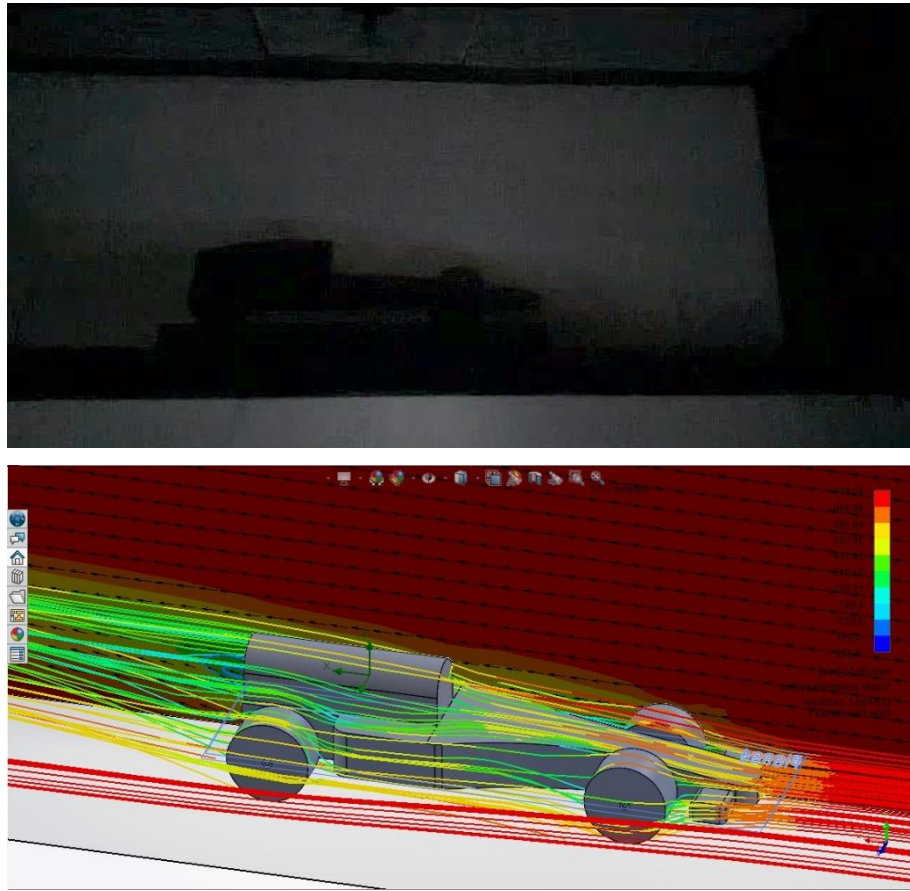
Comparación entre el Túnel de Viento y el Software SolidWorks:

Los dos experimentos tienen distintas características durante los resultados, en el modelo experimental se caracterizó por sus resultados sobre una superficie donde influye la rugosidad del material, los agentes externos e incluso las pérdidas de energía del flujo.

El software se caracterizó por su optimización en el resultado, no existieron agentes externos ni pérdidas del flujo debido a que todo eso era controlado por los datos ingresados.

Al observar la figura 4.4 se compara el comportamiento del flujo de aire sobre el vehículo, se aprecia de mejor manera la superficie frontal y las zonas de alto flujo que están en contacto con el aire, dándonos a entender que los resultados de ambos son semejantes. También se observa la poca resistencia aerodinámica que se produce en la parte posterior del vehículo, es decir existe un vacío. Existe un punto de bajo flujo el cual se observa que choca directamente en la parte planta ubicada en el centro superior del dragster.

Figura 4.4 Comportamiento aerodinámico sobre la superficie del vehículo



Comportamiento aerodinámico sobre la superficie del vehículo, **Fuente:** Cristina Morales, Steeven Lomas

Túnel de Viento:

Ventajas:

- Proporciona una representación física realista del flujo de aire alrededor del vehículo a escala.
- Permite la visualización directa del efecto aerodinámico y la interacción del flujo en tiempo real.
- Permite mediciones precisas de las fuerzas y los coeficientes aerodinámicos.
- Proporciona un entorno controlado y reproducible para realizar pruebas.
- Muestra las zonas de flujo laminar y turbulento en base a un modelo físico

Desventajas:

- Requiere instalaciones específicas y costosas para construir y operar el túnel de viento.
- Puede haber limitaciones en términos de tamaño y capacidad para simular ciertas condiciones extremas.
- Las mediciones pueden verse afectadas por perturbaciones o interferencias externas.
- Requiere tiempo y recursos para preparar y ejecutar las pruebas.

Software SolidWorks:**Ventajas:**

- Permite la simulación computacional del flujo de aire alrededor del vehículo utilizando modelos matemáticos.
- Proporciona herramientas específicas para el análisis y diseño de componentes y ensamblajes.
- Permite realizar simulaciones de flujo de aire y evaluar el comportamiento aerodinámico de manera virtual.
- Facilita la exploración y optimización de diseños antes de la fabricación física.

Desventajas:

- Las simulaciones se basan en suposiciones y modelos matemáticos, lo que puede llevar a cierta falta de precisión en comparación con los resultados reales.
- La calidad de los resultados depende en gran medida de la calidad de la simulación, la calibración de los modelos y la precisión de los datos de entrada.
- Puede haber limitaciones en términos de la resolución y precisión de la malla utilizada en la simulación.
- Requiere conocimientos técnicos especializados para configurar y ejecutar correctamente las simulaciones.

4.3 Mejor alternativa de resultados

Se consideró el uso de dos softwares ampliamente reconocidos en la industria: SolidWorks y Fluent.

La elección de utilizar SolidWorks en lugar de Fluent se basó en ciertas ventajas que ofrece en términos de los resultados ópticos que se buscan obtener en el estudio. SolidWorks permite la creación de modelos 3D detallados y precisos de los vehículos a escala, lo cual es fundamental para la simulación y visualización precisa del flujo de aire alrededor de ellos. Además, SolidWorks ofrece herramientas avanzadas de visualización y renderizado que permiten una representación realista de los efectos aerodinámicos en el modelo.

Fluent se centra en el análisis numérico de flujo y transferencia de calor, y aunque puede proporcionar datos valiosos sobre el comportamiento del flujo, su enfoque está más orientado a la resolución de ecuaciones matemáticas complejas en lugar de la representación gráfica detallada de los fenómenos aerodinámicos.

Esto se decidió gracias a que al efecto óptico schlieren, que nos permitió ver cuál de los dos softwares se acercaba más a los resultados visualizados en el túnel de viento. Dándonos cuenta que la capa límite se observa de distinta manera en la práctica con el túnel de viento a comparación de los softwares.

CONCLUSIONES

El diseño y la construcción del túnel de viento, con la implementación de espejos de efecto Schlieren, ha permitido la visualización y el análisis del comportamiento aerodinámico de un vehículo a escala, al permitir la visualización de la variación de densidad del flujo de aire.

Se ha logrado determinar y estudiar el flujo del aire sobre el dragster, identificando zonas de alto y bajo flujo, las zonas de alto flujo son las superficies que permiten el flujo de aire sin interferencias estas se ubican en el frente, centro y parte posterior del vehículo por otro lado las zonas de bajo flujo están ubicadas debajo del vehículo y en los puntos que chocan contra el flujo, estos resultados son cruciales para comprender el rendimiento y la eficiencia del vehículo.

En las pruebas realizadas en los softwares, se ha podido simular y analizar el comportamiento aerodinámico del dragster. Utilizando modelos y simulaciones computacionales, se han obtenido resultados que han permitido comprender el flujo del aire y evaluar el rendimiento aerodinámico en la capa límite del vehículo.

Al comparar los resultados obtenidos en el túnel de viento con los resultados mediante el software Fluent, se ha observado una correspondencia cercana entre ambas metodologías. Sin embargo, se ha evidenciado que el túnel de viento proporciona una mayor precisión y realismo en la visualización y análisis del comportamiento aerodinámico del dragster. Esto se debe a la capacidad de los espejos de efecto Schlieren para revelar con mayor claridad los cambios en la densidad del aire y las perturbaciones en el flujo.

Los mejores resultados obtenidos fueron del dragster modelo 1, debido a su diseño óptimo y su superficie lisa, la resistencia contra el aire era menor a comparación de los otros dos modelos.

RECOMENDACIONES

- Revisar minuciosamente las zonas de posibles fugas para evitar que, durante las pruebas aerodinámicas, existan fugas las cuales alteren los resultados.
- Si se necesita un cuarto oscuro para realizar las pruebas con el túnel de viento y los dragsters, se recomienda considerar opciones para crear un ambiente controlado. Utilizar cortinas o paneles opacos para bloquear la luz exterior o buscar espacios alternativos, como laboratorios con las condiciones adecuadas, sería recomendable. Además, es importante seguir las medidas de seguridad y realizar las pruebas en un entorno adecuado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

Dassault Systèmes. (2023). SolidWorks. Recuperado de <https://www.solidworks.com/SolidWorks>. (2023). Overview. Recuperado de <https://www.solidworks.com/sw/products/3d-cad/overview.htm>

Ansys. (2023). Fluent. Recuperado de <https://www.ansys.com/products/fluids/fluent>

Drela, M., & Youngren, H. (2013). Low-speed aerodynamics. MIT Press.

Anderson, J. D. (2017). Fundamentals of aerodynamics. McGraw-Hill Education.

Correa Mejía, P. (2012). ¿Cuál es la importancia de la aerodinámica en la aplicación automotriz: Proyecto de Grado (Doctoral dissertation)?

Palencia, J., García, N., Calderón, P., & Ferrero, G. Estudio Experimental del Comportamiento Aerodinámico del Vehículo Prototipo Allscape.

Fraija, I. (2006). Estudio de la aerodinámica en los vehículos. *Prospectiva*, 4(2), 66-70.

Morales Gil, I. (2020). Efecto Schlieren.

Barbón García, V. (2018). Diseño y montaje de un sistema Schlieren para la visualización de gases.

Ruiz Aguirre, H. E., & Curicama Gadvay, Á. R. (2013). Diseño y construcción de un túnel deviento para pruebas aerodinámicas en vehículos para la Escuela de Ingeniería Automotriz (Tesis de licenciatura, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo).

Quinatoa Cando, C. P. (2020). Repotenciación y optimización del túnel de viento del laboratorio de aerodinámica de la carrera de Ingeniería Automotriz.

Otavalo Cuaical, J. G., & Quilca Yacelga, E. R. (2022). Implementación de un túnel de viento para vehículos a escala 1:18 [Tesis de pregrado, Universidad Técnica del Norte]. Recuperado de <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/12898>

Ruiz Aguirre, H. E., & Curicama Gadvay, A. R., (2013). Diseño y construcción de un túnel de viento para pruebas aerodinámicas en vehículos para la Escuela de Ingeniería Automotriz. Recuperado de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/3045>

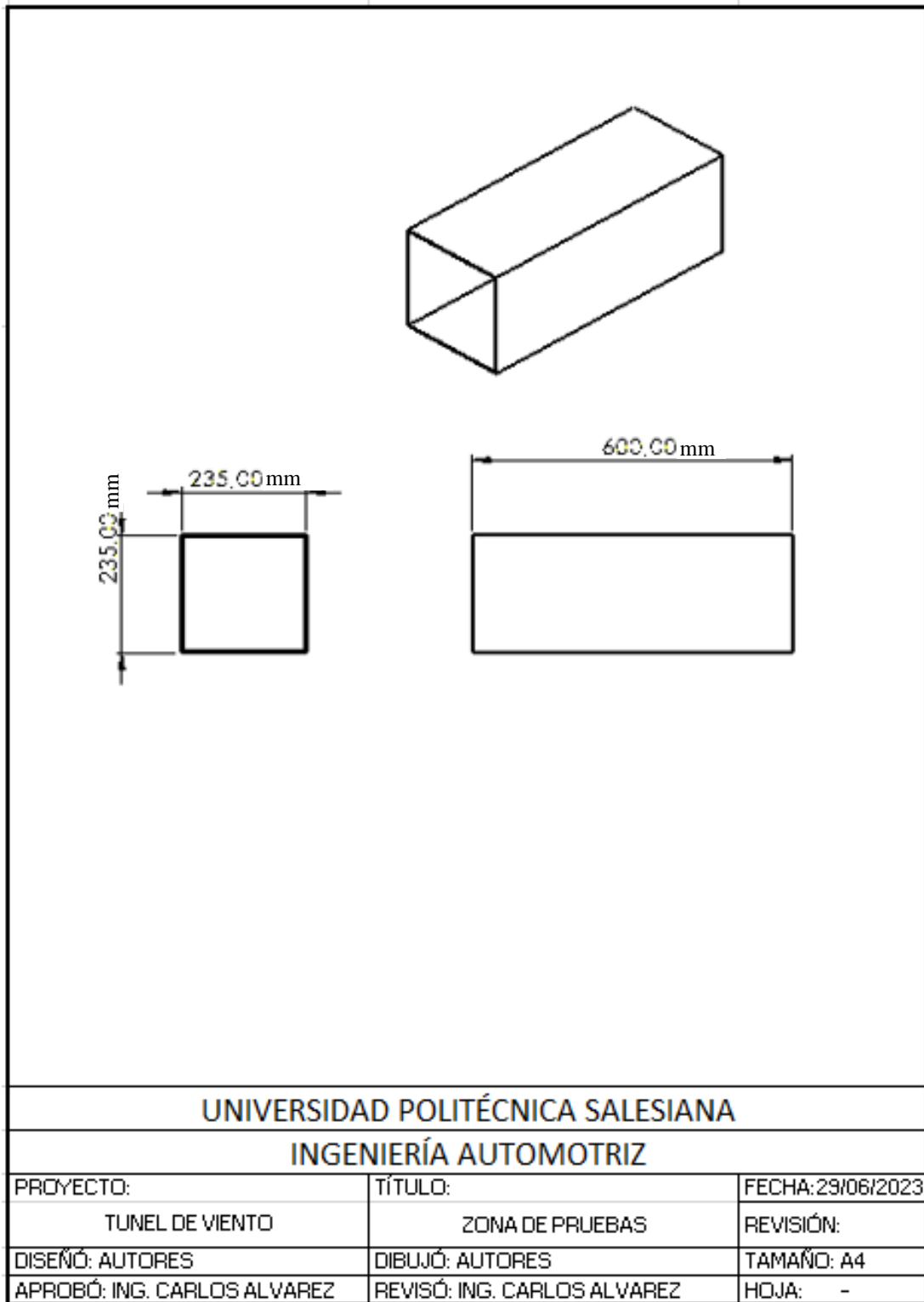
Leon Ibay, D.E., & Yumisaca Soque, E. G., (2017). Diseño y construcción de un túnel hidrodinámico para el laboratorio de aerodinámica de la carrera de Ingeniería Automotriz. Recuperado de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/9251>

Amaya Carias, O. A., & Betancourt Mendoza, I. V. (2017). Acondicionamiento de un Túnel de Viento para pruebas aerodinámicas y prácticas de laboratorio en la UNAH. *Ciencias Espaciales*, 9(1), 244–263. Recuperado de <https://doi.org/10.5377/ce.v9i1.3135>

Bermeo Vallejo, J. E., Siguencia Bermeo, D. F., & Serpa Medina, P. I. (2012). Diseño y construcción de un túnel de viento para análisis aerodinámico en vehículos a escala (Bachelor's thesis). Recuperado de <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/2001>

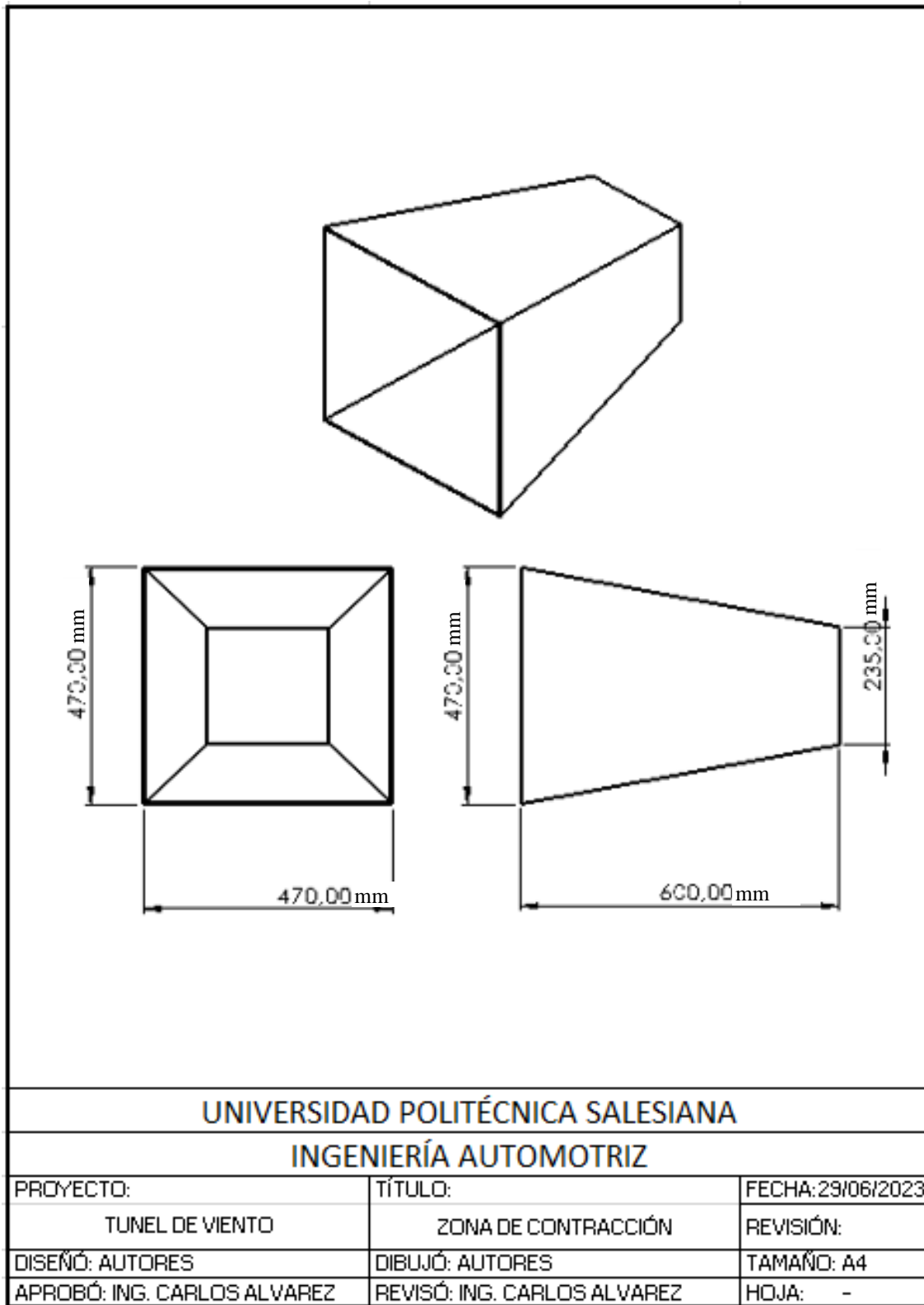
ANEXOS.

Anexo 1: Plano de la zona de pruebas



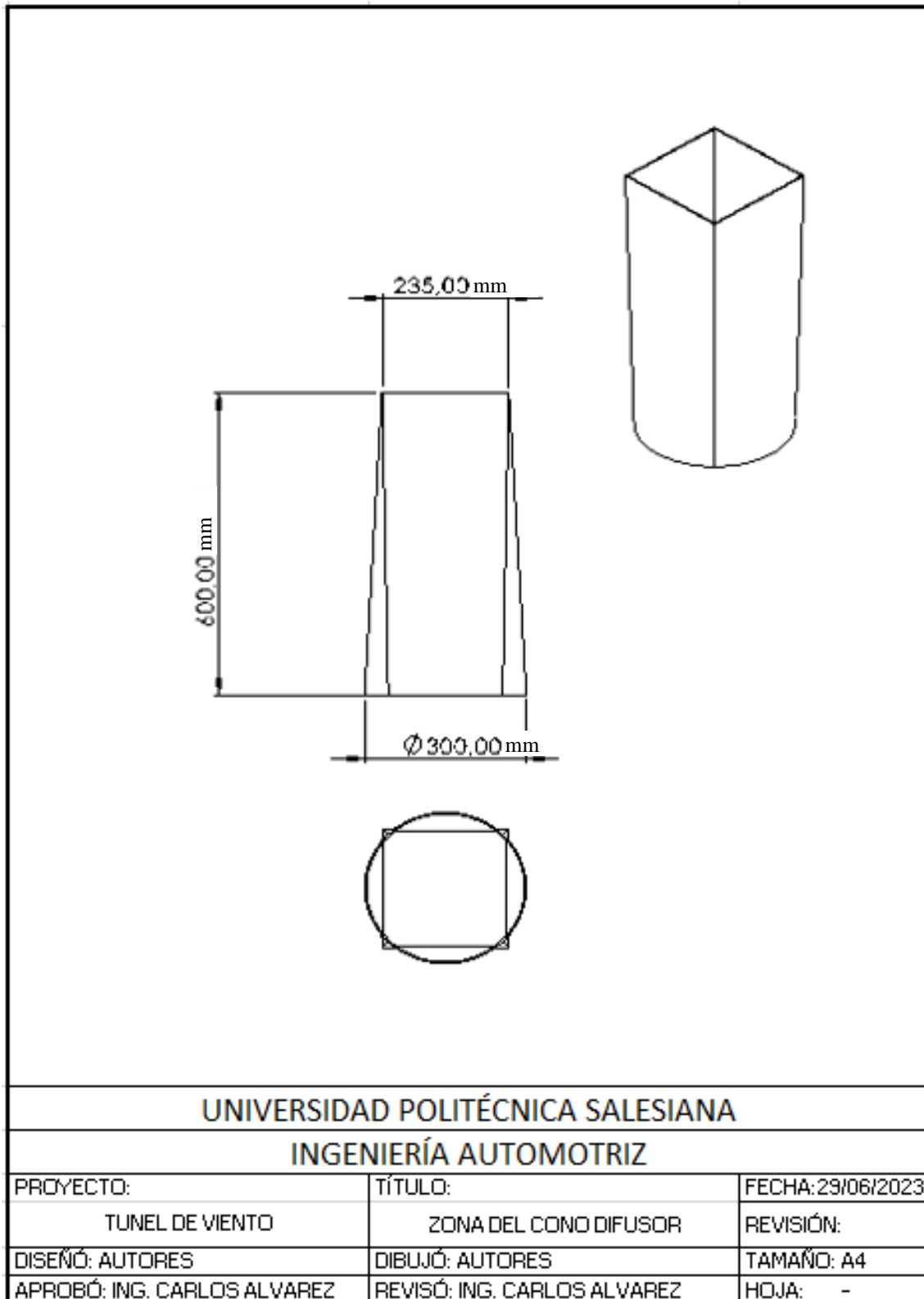
Plano de la zona de pruebas, **Fuente:** Cristina Morales, Steeven Lomas

Anexo 2: Zona de difusor cónico



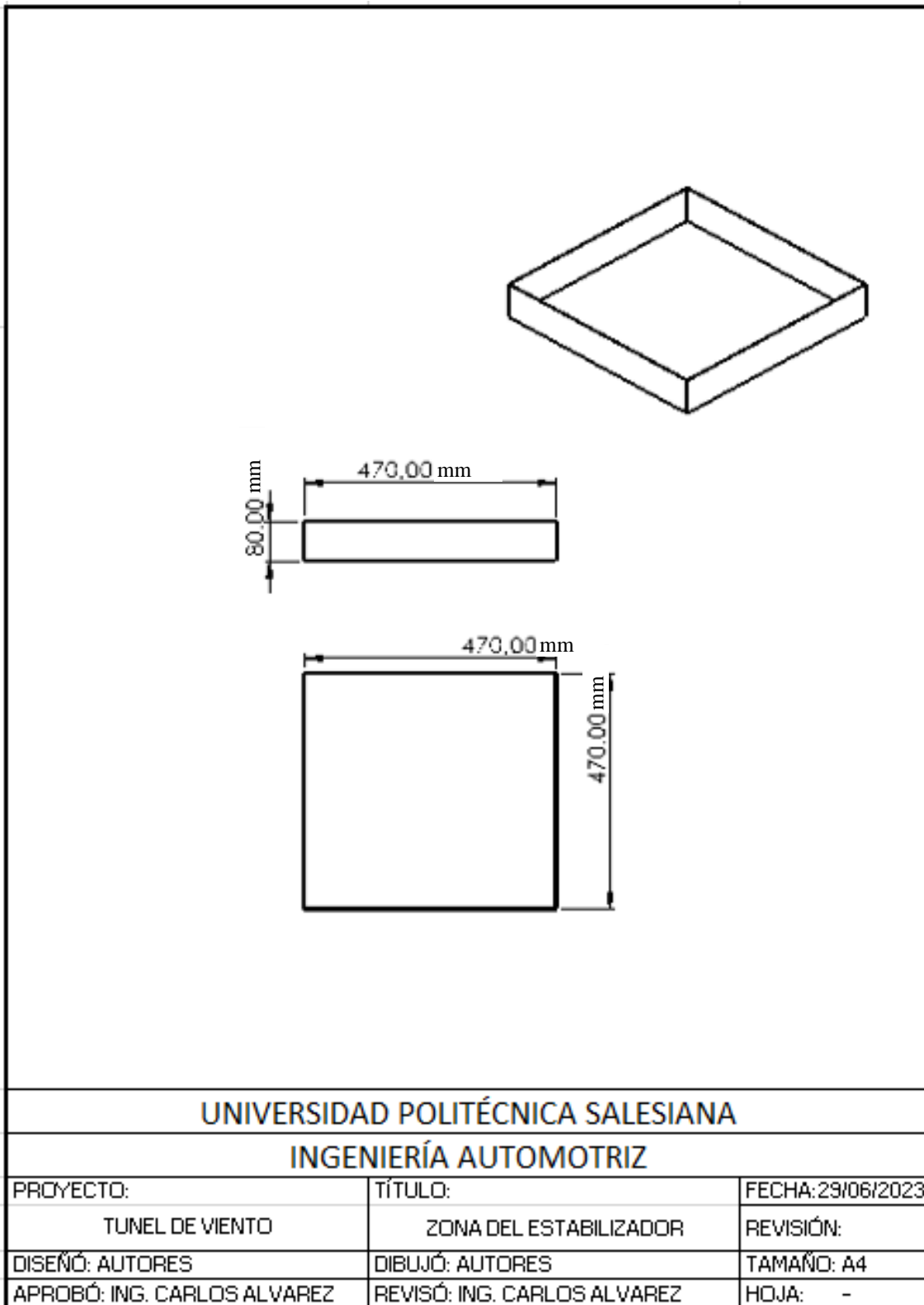
Zona de difusor cónico, **Fuente:** Cristina Morales, Steeven Lomas

Anexo 3: Plano de la zona del cono difusor



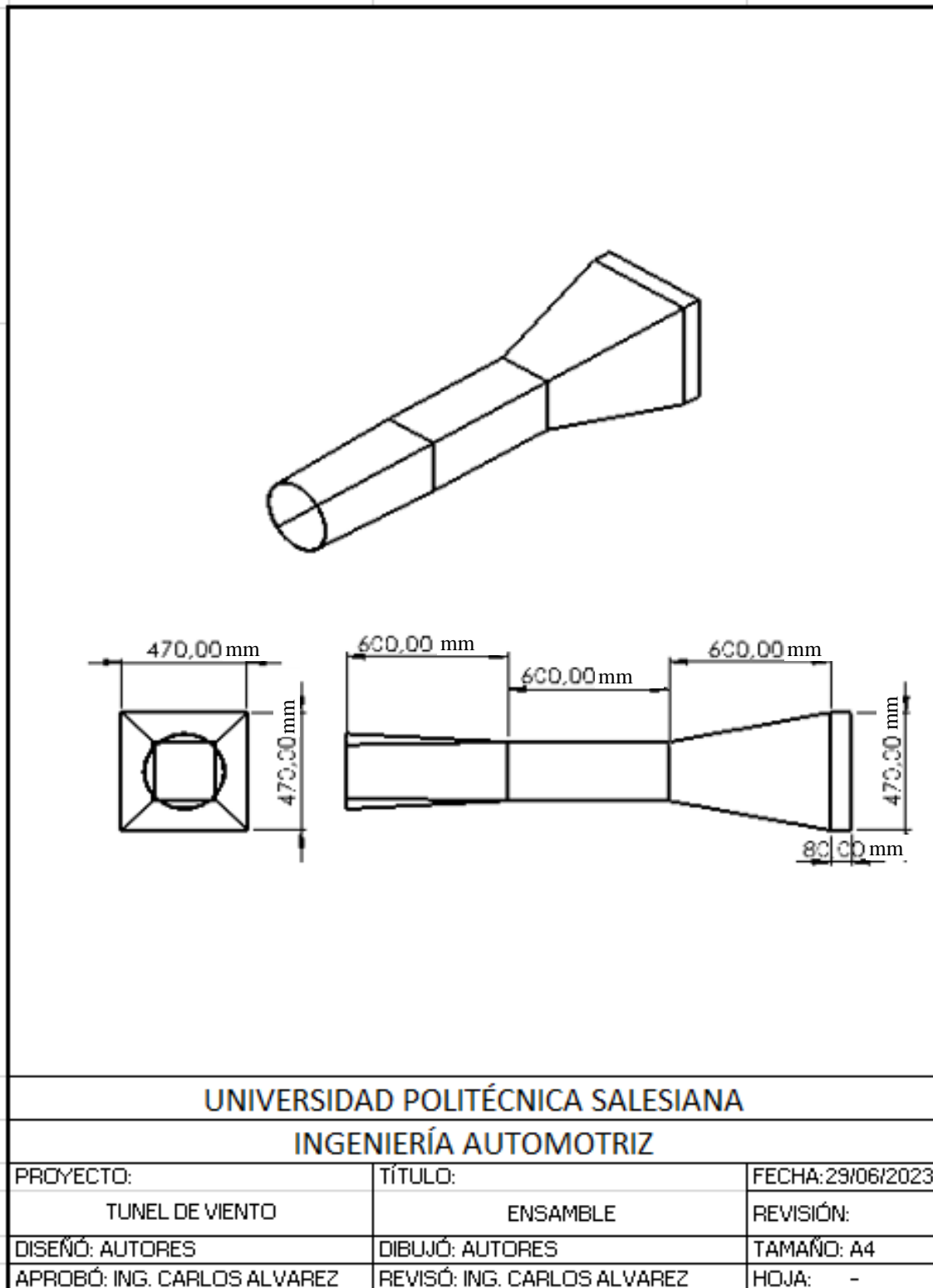
Plano de la zona del cono difusor, **Fuente:** Cristina Morales, Steeven Lomas

Anexo 4: Marco del estabilizador



Marco del estabilizador, **Fuente:** Cristina Morales, Steeven Lomas

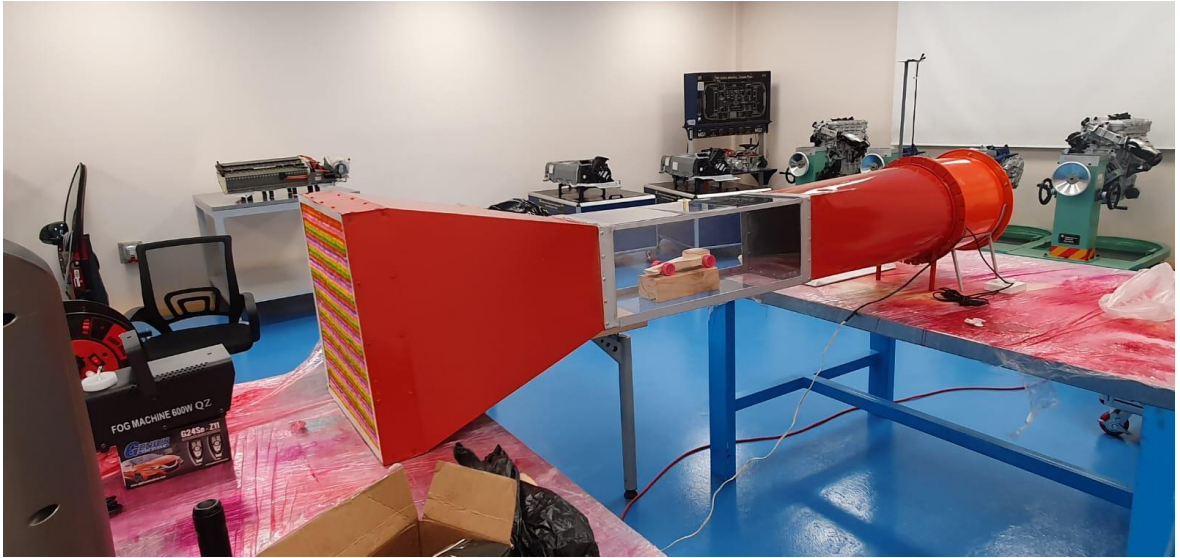
Anexo 5: Plano del diseño completo del túnel de viento



Plano del diseño completo del túnel de viento, **Fuente:** Cristina Morales, Steeven

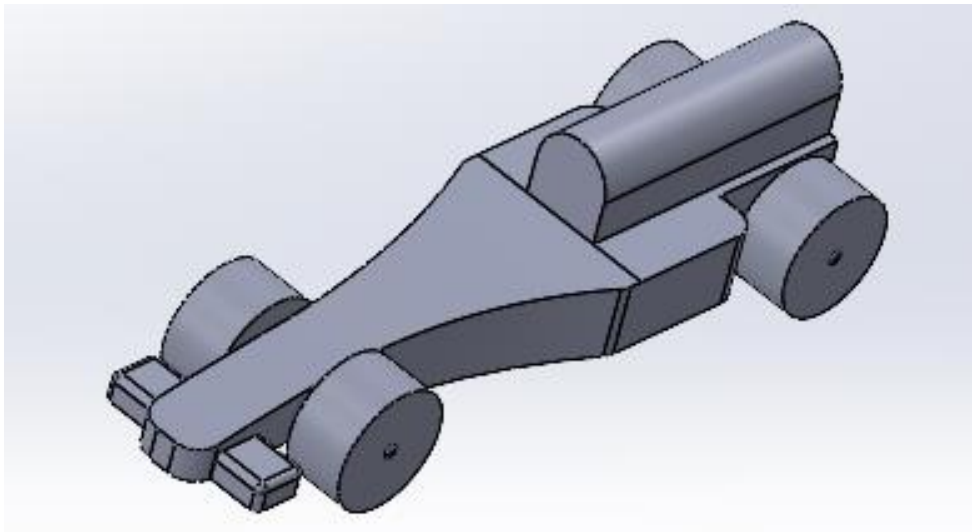
Lomas

Anexo 6: Túnel de viento



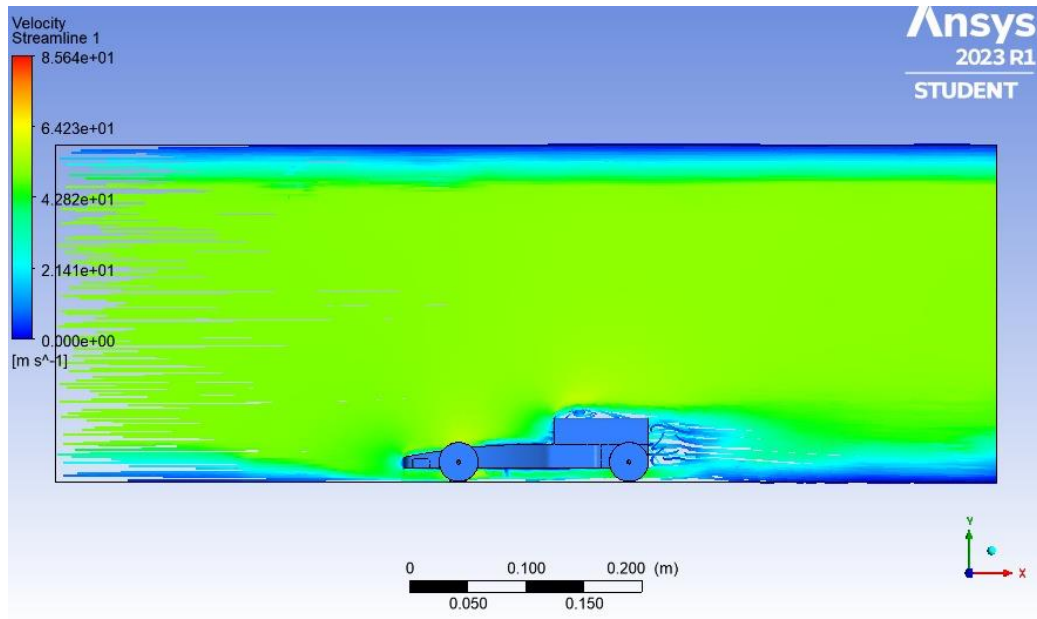
Túnel de viento, **Fuente:** Cristina Morales, Steeven Lomas

Anexo 7: Dragster de prueba



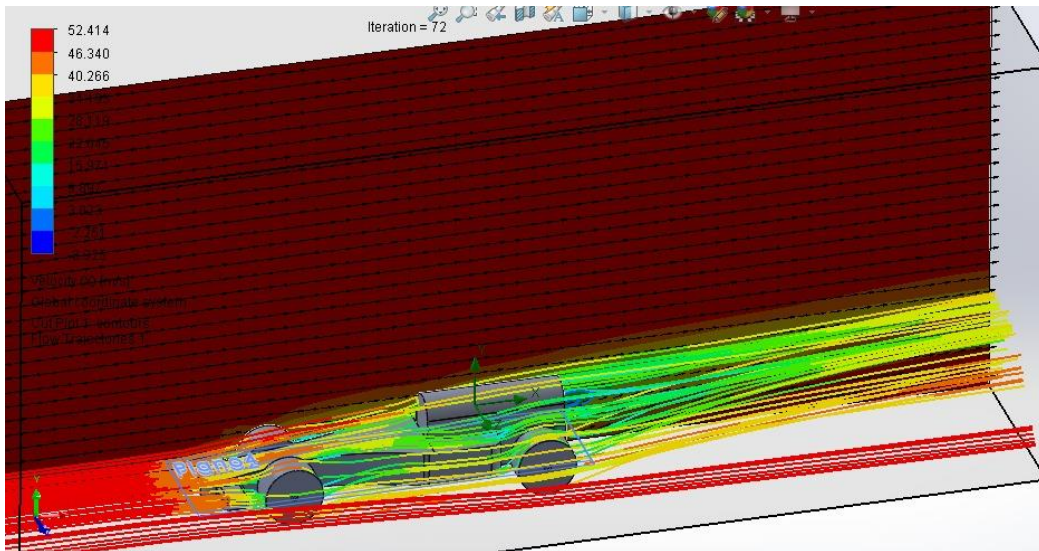
Dragster de prueba, **Fuente:** Cristina Morales, Steeven Lomas

Anexo 8: Dragster de prueba en Ansys Fluent



Dragster de prueba en Ansys Fluent, **Fuente:** Cristina Morales, Steeven Lomas

Anexo 9: Dragster de prueba en SolidWorks



Dragster de prueba en SolidWorks, **Fuente:** Cristina Morales, Steeven Lomas