



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO
FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

Proyecto de investigación previo a la
obtención del título de Ingeniero
Mecánico

TÍTULO:

**DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS
AERODINÁMICO (TÚNEL DE VIENTO) PARA LA
VALIDACIÓN DE SIMULACIONES CON SOFTWARE CFD.**

PROYECTO DE GRADO EN MECÁNICA DE FLUIDOS

AUTORES:

BUSTILLOS HIDALGO BORIS ALFONSO

ZAMBRANO CRUZ JORGE GIANCARLOS

DIRECTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN:

Ing. Guadalupe Almeida Jorge Luis MSc.

Quevedo – Los Ríos - Ecuador

2018

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo, Zambrano Cruz Jorge Giancarlos y Bustillos Boris Alfonso, declaramos que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Técnica Estatal de Quevedo, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normatividad institucional vigente.

ZAMBRANO CRUZ JORGE
GIANCARLOS

AUTOR

BUSTILLOS HIDALGO BORIS
ALFONSO

AUTOR

CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

El suscrito, **Ing. Guadalupe Almeida Jorge Luis MSc.**, Docente de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, certifica que los estudiantes **Zambrano Cruz Jorge Giancarlos y Bustillos Boris Alfonso**, realizaron el Proyecto de Investigación de grado titulado “**Diseño y simulación de un banco de pruebas aerodinámico (túnel de viento) para la validación de simulaciones con software CFD.**”, previo a la obtención del título de Ingeniero en Mecánico, bajo mi dirección, habiendo cumplido con las disposiciones reglamentarias establecidas para el efecto.

Ing. Guadalupe Almeida Jorge Luis M. Sc.
DIRECTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

CERTIFICADO DEL REPORTE DE LA HERRAMIENTA DE PREVENCIÓN DE COINCIDENCIA Y O PLAGIO ACADÉMICO

Por medio del presente me permito certificar, que el Sr **ZAMBRANO CRUZ JORGE GIANCARLOS** y **BUSTILLOS BORIS ALFONSO**, estudiantes egresados de la Carrera de Ingeniería Mecánica modalidad presencial del paralelo A, una vez que se revisó el proyecto de investigación titulado “**DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS AERODINÁMICO (TÚNEL DE VIENTO) PARA LA VALIDACIÓN DE SIMULACIONES CON SOFTWARE CFD.**”, tengo a bien informar que se realizó la revisión respectiva por medio del sistema URKUND, con un porcentaje favorable del%.

Se adjunta imagen del sistema **URKUND**

Ing. Guadalupe Almeida Jorge Luis M. Sc.
DIRECTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

CERTIFICACIÓN DE APROBACIÓN DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

TÍTULO:

DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS AERODINÁMICO (TÚNEL DE VIENTO) PARA LA VALIDACIÓN DE SIMULACIONES CON SOFTWARE CFD.
Presentado al Consejo Académico como requisito previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico.

Aprobado por:

Ing. Espinosa Delgado Luis M. Sc.
Presidente del Tribunal

Ing. García Coral John M. Sc.
Miembro del Tribunal

Ing. Ruano Herreria Ernesto M. Sc
Miembro del Tribunal

QUEVEDO – LOS RIOS – ECUADOR
2018

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios por darme la sabiduría, paciencia y entendimiento para terminar este proyecto de investigación que es el final de una meta más en mi vida no la última porque el camino aun es largo.

Agradezco a la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, los Catedráticos y Autoridades de la Carrera de Ingeniería Mecánica que fueron los que nos ayudaron impartiendo sus conocimientos.

No puedo dejar de lado a mi madre Mayra que ha sido un ejemplo de esfuerzo y lucha constante ya que a pesar de la distancia siempre me supo dar su apoyo y consejos para seguir adelante y nunca rendirme ante los obstáculos.

Agradezco también al Ing. Jorge Luis Guadalupe MSc. Quien estuvo me colaboro con la dirección y asesoramiento del proyecto de titulación.

A mi compañero de trabajo Jorge Zambrano cruz que con el hemos podido apoyarnos para así concluir este proyecto.

Y por último agradecer a todos mis amigos que siempre han estado a mi lado dándome su apoyo sobre todo a una gran amiga Karla Ramírez Cadena que siempre supo cómo darme un aliento de ánimo en los momentos difíciles.

.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios en primer lugar por brindarme la sabiduría, paciencia y coraje en mi vida para saber seguir adelante y para culminar este proyecto de investigación.

Agradezco a la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Autoridades y en especial a mis Catedráticos de la Carrera de Ingeniería Mecánica que me acompañaron, apoyaron e impartieron todo el conocimiento necesario para culminar una etapa más en mi vida estudiantil.

A familia, en especial a mis amados padres Tatiana y Carlos Zambrano que siempre están allí para guiarme y apoyarme a seguir adelante, a mis hermanos Daniel y Carla que me brindan felicidad y voluntad de superación. A mis tías en especial mi ñaña Viviana y mi abuela Celia que me brindan todo el amor que pueden, agradezco a todos ustedes y son mi columna para alcanzar mis objetivos.

Agradezco al Ing. Jorge Luis Guadalupe MSc. mi tutor en este proyecto que pudo guiarme, asesorarme y apoyarme, pude aprender mucho de usted y le estaré muy agradecido,

A las personas que pudieron apoyarme, al Ing. Gabriel Pico por su ayuda y darme el empujón en este proyecto, a mis amigos con los que pude compartir esta etapa y carrera, en especial a mis compañeros Karla, Jonathan, Juan y Boris Bustillos por poder estudiar y trabajar con ustedes

Zambrano Cruz Jorge

DEDICATORIA

El presente proyecto está dedicado en especial a mi querida mamá Tatiana Cruz, quien ha sabido apoyarme de manera incondicional en mi vida, a mi padre Carlos Zambrano que es mi sólido ejemplo de superación y que me enseña a que debo esforzarme mucho cada día, a ambos gracias por enseñarme tantas cosas, por inculcarme tantos valores, me siento muy orgullosa de ser su hijo, les agradezco su esfuerzo por ayudarme a ser una gran persona, su gran fortaleza, su apoyo en cualquier situación y todo su tiempo dedicado. A mis hermanos, familiares, amigos y a todos aquellos con los que he podido colaborar profesionalmente que son un apoyo en cada decisión tomada siempre para seguir adelante, fueron y son un soporte moral o económico para seguir progresando en trabajo y dedicación a la carrera; a mis docentes por desarrollarme bajo las normas ética y profesionalismo que debemos ejercer siempre como ingenieros mecánicos del Ecuador.

Zambrano Cruz Jorge

-Acepta los riesgos, toda la vida no es sino una oportunidad. El hombre que llega más lejos es, generalmente, el que quiere y se atreve a serlo.

Dale Carnegie.

"La vida no es fácil, para ninguno de nosotros. Pero... ¡Qué importa! Hay que perseverar y, sobre todo, tener confianza en uno mismo. Hay que sentirse dotado para realizar alguna cosa y que esa cosa hay que alcanzarla, cueste lo que cueste."

Marie Curie

"El mundo está en manos de aquellos que tienen el coraje de soñar y de correr el riesgo de vivir sus sueños."

P. Coelho

DEDICATORIA

El presente proyecto está dedicado a todas aquellas personas que me apoyaron desde el inicio en este largo camino.

A mi madre, que es la que siempre ha estado pendiente y que ha sido la inspiración más grande dentro de mi vida.

A mi abuela Iraida, que fue uno de los pilares más importante dentro de mi vida.

A mi tía Iraida y mi primo Kenneth, que siempre estuvieron dándome su apoyo y ánimos para seguir adelante.

A mis amigos, compañeros de aula con los que compartí grandes momentos y que hacían en que en los momentos difíciles saber que se podía contar con su apoyo.

Bustillos Boris

RESUMEN

El presente proyecto de investigación está direccionado al estudio de mecánica de fluidos. El objetivo principal es el diseño y simulación del funcionamiento de un banco de pruebas aerodinámico o túnel de viento para la validación de simulaciones de perfiles vehiculares en velocidad y presión de trayectorias de flujo de contorno, utilizando un software de Dinámica de Fluidos Computacional (CFD). Este túnel permitirá verificar los efectos de la corriente del aire que se generan, demostrar la eficiencia y especificación aerodinámica de cuerpos a escala, rendimientos de prueba dentro de la simulación, donde se destaca una amplia variedad de estudios que se pueden desarrollar; todo justificado con el correspondiente análisis de costos en consideración de que el proyecto se llegue a manufacturar en beneficio de la carrera.

Es importante destacar conocimientos en aerodinámica, diseño mecánico y simulaciones en software CFD, estableciendo que un túnel de viento es un instrumento especialmente diseñado, en el que el aire del ambiente es extraído o empujado, por medios mecánicos con el fin de alcanzar una velocidad específica y un patrón de flujo predeterminado en un instante parametrizado. Toda esta acción podrá ser monitoreada desde el exterior a través de la sección de pruebas. Las características de flujo se pueden medir utilizando instrumentos especializados.

El proyecto de investigación consta de siete capítulos en los que se estudian y justifican diferentes tópicos de acuerdo a la importancia considerada. Se presentan los siguientes capítulos delimitando las bases del proyecto:

En el capítulo I se manifiesta la contextualización de la investigación, el problema y sus derivados, los objetivos propuestos, la justificación, las variables y limitaciones de éste. Se analiza los aspectos metodológicos que infiere.

En el capítulo II se plantea la fundamentación teórica de la investigación, es decir, el marco teórico relacionado al banco de pruebas aerodinámico, sus características y componentes. Se conocen aspectos como la Aerodinámica, las fases e interacciones en el proceso de diseño, los principios de su funcionamiento basados en la clasificación del flujo en el proceso según

el número de Mach, igualmente se expondrá apropiadamente la sustentación de las ecuaciones que serán expuestas en los resultados.

En el capítulo III se plantean las correspondientes metodologías de la investigación, referentes a su tipo, métodos y diseño direccionadas a la pesquisa presentada. Se exponen los instrumentos requeridos para la investigación y recursos humanos siguiendo un control y detalle de datos.

En el capítulo IV se sustentan los resultados con la discusión e interpretación de los datos descubiertos en el proceso de desarrollo de la investigación.

En el capítulo V se presentan las conclusiones de la investigación y las recomendaciones que se pueden aplicar.

En el capítulo VI se justifica la textualización de la fundamentación teórica de la investigación mediante su correspondiente bibliografía exponiendo su título, autor y año de publicación.

El capítulo VII culmina con los anexos del proyecto de investigación, tablas y catálogos que fueron necesarios para su desarrollo.

ABSTRACT

The present research project is directed to the study of fluid mechanics. The main objective is the design and simulation of the operation of an aerodynamic test bench or wind tunnel for the validation of simulations of vehicle profiles in velocity and pressure of contour flow paths using Computational Fluid Dynamics software or by its acronym CFD. This tunnel will allow to verify the effects of wind current that occur, to demonstrate the efficiency and aerodynamic specification of bodies to scale, test yields within the simulation, highlighting these of a wide variety of studies that can be developed; all justified with its corresponding cost analysis as a consideration that the project will be manufactured to benefit the career.

It is important to highlight knowledge in Aerodynamics, Mechanical Design and simulations in CFD software, establishing that a wind tunnel is a specially designed and protected instrument, in which the ambient air is extracted or pushed, by mechanical means in order to reach a specific speed and a predetermined flow pattern at a parameterized time. All this action can be monitored from the outside through the testing section. The flow characteristics can be measured using specialized instruments.

The research project consists of seven chapters in which different topics are studied, justified and explored according to the importance considered. The following chapters are presented, delimiting the bases of the project:

In chapter I, the contextualization of the research, the problem and its derivatives, the proposed objectives, the justification, the variables and limitations of it are manifested. The methodological aspects that it infers are analyzed.

Chapter II considers the theoretical foundation of the research, that is, the theoretical framework related to the aerodynamic test bench, its characteristics and components. Some aspects are known such as Aerodynamics, the phases and interactions in the design process, the principles of its operation based on the classification of the flow in the process according to the number of Mach, likewise will be properly exposed the support of the equations that will be exposed in the results.

In chapter III, the corresponding research methodologies are presented, referring to the types of research, methods and design of the presented research. The required instruments for research and human resources are exposed following a control and detail of data.

In chapter IV, the results are supported by the discussion and interpretation of the data discovered in the process of research development.

Chapter V presents the conclusions of the investigation and the recommendations that can be applied.

Chapter VI justifies the textualization of the theoretical basis of the research through its corresponding bibliography, stating its title, author and year of publication.

Chapter VII culminates with the annexes to the research project, tables and catalogs that were necessary for its development.

Keywords: Computational Fluid Dynamics, Aerodynamics, software.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	21
CAPITULO I	22
CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	22
1.1. Problema de investigación	23
1.1.1. Problematicación	23
1.1.2. Formulación del problema.	24
1.1.3. Sistematización del problema.	24
1.2. Objetivos	25
1.2.1. Objetivo General	25
1.2.2. Objetivos Específicos	25
1.3. Justificación	26
CAPITULO II	27
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN	27
2.1. Marco conceptual	28
2.1.1. Diseño	28
2.1.2. Simulación	28
2.1.3. Banco de pruebas	28
2.1.4. Aerodinámica	29
2.1.5. Software CFD	29
2.2. Marco Referencial	30
2.2.1. Fases e interacciones del proceso de diseño	30
2.2.2. Consideraciones de diseño	31
2.2.3. Simulación por computadora	32
2.2.4. Tipos de simulaciones	32
2.2.5. Túnel de viento	33
2.2.5.1. Principios de funcionamiento del Túnel.	33
2.2.5.2. Tipos de túnel de viento	34
2.2.6. Consideraciones de poder y carga eléctrica.	38
2.2.7. Fluidos	39
2.2.8. Clasificación de los flujos de fluidos.	39
2.2.9. Número de Reynolds.	41
2.2.10. Viscosidad.	41
2.2.11. Diámetro Hidráulico.	42

2.2.12.1. Caudal y caudalímetro.....	43
2.2.12.2. Flujo Másico.....	44
2.2.14. Control de rugosidad superficial.....	46
2.2.15. Número de Mach.	47
2.2.16. Ecuación de Continuidad.....	48
2.2.17. Ecuación de Bernoulli.	48
2.2.18. Pérdidas en la sección de pruebas.....	49
CAPÍTULO III	53
MÉTODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	53
3.1. Localización.....	54
3.2. Tipo de investigación.	55
3.2.1. Investigación exploratoria.	55
3.3. Métodos de investigación.....	55
3.3.1. Método analítico.	55
3.3.2. Método bibliográfico.	55
3.4. Fuentes de recopilación de información.....	55
3.5. Diseño de la investigación.....	56
3.5.1. Diseño experimental.....	56
3.6. Instrumentos de investigación.....	56
3.7. Tratamiento de los datos.	56
3.8. Recursos humanos y materiales.....	57
3.8.1. Recurso humano.....	57
3.8.2. Recursos materiales.....	57
CAPÍTULO IV	58
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	58
4.1. Ilustración y componentes del Túnel de Viento.	59
4.2. Dimensionamiento y Rendimiento de Prueba.	60
4.2.1 Consideraciones del diseño.	60
4.2.1.1 Diseño de la Sección de pruebas.....	60
4.2.1.2. Determinación del tipo de flujo	61
4.2.1.3. Análisis dimensional del flujo de aire en el túnel.....	65
4.2.1.4. Pérdidas en la sección de pruebas.....	65
4.2.1.5. Sección de contracción	68
4.2.1.6. Cálculo de presiones de la contracción.....	71
4.2.1.7. Diseño de la geometría de la contracción	72

4.2.1.8. Direccionador de flujo.....	75
4.2.1.9. Cálculo de pérdidas.....	76
4.2.1.10. Difusor.....	77
4.2.1.11. Resultados y replanteo del diseño.....	82
4.2.1.12. Condiciones físicas del medio de trabajo.....	82
4.2.1.13. Selección del ventilador	84
4.2.1.14. Diseño final del túnel de viento.....	85
4.3. Protocolo de Pruebas.....	94
4.3.2. Procesos de Simulación en el Túnel de Viento.....	95
4.3.3. Diseño estructura del túnel.....	96
4.4. Selección de Perfiles para simular en el Túnel de Viento.....	106
4.4.1. Justificación de su aplicación en la Industria de la región 5.....	107
4.4.2. Diseño y dimensionamiento de los perfiles seleccionados.....	108
4.5. Desarrollo de proceso de simulación en los perfiles.....	111
4.5.1. Simulación de situaciones Aerodinámicas en los perfiles	111
4.5.1.1 Simulación de comportamiento aerodinámico del Capó Chevrolet D-MAX CD Doble Cabina 4x4 de 2.5 L.....	112
4.5.1.2. Simulación de comportamiento aerodinámico del Capó de la Mazda BT-50 Doble Cabina 2.5L 4x4 Di.....	114
4.5.1.3. Simulación de comportamiento aerodinámico del Capó de la Mitsubishi L200 Doble Cabina de 2.5L 4x4.....	116
4.6. Informes de Simulación.....	119
4.6.1. Informe de Simulación del Túnel de Viento.....	119
4.6.2. Informe del perfil de capó de la Chevrolet D-MAX CD Doble Cabina 2.5L 4x4.....	123
4.6.3. Informe del perfil de capó de la Mitsubishi L200 Doble Cabina de 2.5L 4x4.....	128
4.6.4. Informe del perfil de capó de la Mitsubishi L200 Doble Cabina de 2.5L 4x4.....	132
4.7. Desarrollo de la Propuesta de Diseño de un nuevo Capó.....	137
4.7.2. Propuesta de Diseño.....	138
4.7.3.1. Simulación del perfil propuesto	141
4.8. Estudio económico.....	142
4.8.1. Costos de Materiales	142
4.8.2. Costos de Mano de Obra.....	143
CAPÍTULO V.....	145
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	145
5.1. Conclusiones.....	146
5.2. Recomendaciones	147

CAPÍTULO VI	148
BIBLIOGRAFÍA	148
CAPITULO VII	152
ANEXOS	152

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Fases del proceso de diseño que reconocen múltiples retroalimentaciones e iteraciones.	30
Tabla 2. Consideraciones de diseño	31
Tabla 3. Clasificación de los flujos basados en sus números de Mach.	35
Tabla 4. Partes de un Túnel de Viento.	37
Tabla 5. Clasificación de fluido mecánico continuo	42
Tabla 6. Requerimientos De Hardware	57
Tabla 7. Requerimientos De Software	57
Tabla 8. Proceso de funcionamiento de un Túnel de Viento.	59
Tabla 9. Propiedades termodinámicas del aire en Quevedo.	61
Tabla 10. Rugosidad equivalente para conductos nuevos.	66
Tabla 11. Perfil lateral de la sección de contracción.	74
Tabla 12. Tabla de pérdidas para tuberías en contracción.	74
Tabla 13. Resumen de resultados de dimensiones y pérdidas del diseño propuesto.	83
Tabla 14. Resultados generales de las demandas del túnel de viento.	83
Tabla 15. Especificaciones del ventilador.	84
Tabla 16. Dimensiones de la zona de contracción.	85
Tabla 17. Dimensiones de la rejilla	87
Tabla 18. Dimensiones de la Sección de Pruebas.	87
Tabla 19. Dimensiones del Difusor.	88
Tabla 20. Resultados generales de las demandas del túnel de viento.	90
Tabla 21. Resumen de resultados de dimensiones.	91
Tabla 22. Gráfica de relación Velocidad-Presión.	92
Tabla 23. Dimensiones del Túnel de Viento por elementos y completo.	93
Tabla 24. Carga soportada por sección	97
Tabla 25. Condiciones necesarias para la estructura de sujeción.	100
Tabla 26. Perfiles seleccionados.	106
Tabla 27. Mitsubishi L200.	137
Tabla 28. Chevrolet D-MAX.	137
Tabla 29. Mazda BT-50.	137
Tabla 30. Dimensiones y Carga de las camionetas seleccionadas.	139
Tabla 31. Costos de materiales.	142
Tabla 32. Mano de Obra.	143
Tabla 33. Costos Indirectos	143
Tabla 34. Costo Total del Túnel de Viento	144

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Área transversal.....	62
Ecuación 2. Perímetro mojado.....	63
Ecuación 3. Diámetro Hidráulico.....	63
Ecuación 4. Número de Reynolds.....	63
Ecuación 5. El caudal.....	64
Ecuación 6. El flujo másico.....	64
Ecuación 7. Pérdidas en la sección de pruebas.....	65
Ecuación 8. Ecuación de Colebrook.....	66
Ecuación 9. Relación de factor de fricción.....	67
Ecuación 10. Número de mach.....	68
Ecuación 11. Ec. de continuidad.....	69
Ecuación 12. Ecuación de Bernoulli.....	71
Ecuación 13. Ecuación de la curva de perfil.....	73
Ecuación 14. Ecuación de pérdidas de contracción.....	74
Ecuación 15. Relación de áreas.....	77
Ecuación 16. Ángulo de apertura.....	78
Ecuación 17. Cálculo de pérdidas del difusor.....	79
Ecuación 18. Velocidad a la salida del difusor.....	80
Ecuación 19. Pérdida de carga total.....	83

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Diagrama de Túnel de Viento.....	34
Ilustración 2. Vista superior de un circuito cerrado, también conocido como túnel de viento de retorno cerrado.....	35
Ilustración 3. Comparación del diseño esquemático de los túneles de viento subsónicos y supersónicos.....	36
Ilustración 4. Proporciones de un túnel de viento de baja velocidad para aplicación general.....	37
Ilustración 5. Desarrollo de capa límite en una tubería.....	40
Ilustración 6. Caudalímetro PCE- 423.....	44
Ilustración 7. Medidor de flujo másico Coriolis SITRANS F C.....	45
Ilustración 8. Principio de funcionamiento básico de un manómetro.....	46
Ilustración 9. Rugosímetro PCE- RT 2200.....	47
Ilustración 10 Variación de la forma de la cámara de ensayos de un túnel en función del número de Mach.....	47
Ilustración 11. Diagrama de Ecuación de Continuidad.....	48
Ilustración 12. Zonas de aplicación de Bernoulli.....	49
Ilustración 13. Carrocería de un vehículo.....	50
Ilustración 14. Elementos que conforman un capó automotriz.....	52
Ilustración 15. Túnel de Viento según sección.....	59
Ilustración 16. Cálculo de secciones transversales y Perímetro mojado.....	62
Ilustración 17. Esquema de la sección de contracción.....	69
Ilustración 18. Cotas y sección de pruebas.....	72
Ilustración 19. Direccionadores de flujo.....	76

Ilustración 20. Geometría y notación del difusor	78
Ilustración 21. Gráfica de coeficientes de pérdidas para el difusor.	79
Ilustración 22. Ventilador SodecaTHT-56-4T-1	85
Ilustración 23. Rejilla direccionadora de flujo.....	86
Ilustración 24. Diámetro de agujeros de paso de la rejilla.	87
Ilustración 25. Velocidad de las Trayectorias de Flujo de contorno.....	95
Ilustración 26. Presión en las Trayectorias de Flujo de contorno.	96
Ilustración 27. Estructura de Soporte del Túnel de Viento.....	97
Ilustración 28. Cargas Aplicadas.	98
Ilustración 29. Mallado de la Estructura de Soporte.....	98
Ilustración 30. Límite Elástico de la Estructura.....	99
Ilustración 31. Desplazamiento y Deformación.	99
Ilustración 32. Factor de Seguridad.	100
Ilustración 33. Capó de la Mazda BT-50 Doble Cabina 2.5L 4x4 Di.	108
Ilustración 34. Capó Chevrolet D-MAX CD 4x4 Doble Cabina 2.5L 4x4.....	109
Ilustración 35. Mitsubishi L200 Doble Cabina de 2.5L 4x4.....	110
Ilustración 36. Velocidad de Trayectorias de Flujo de Contorno Chevrolet D-MAX.....	112
Ilustración 37. Velocidad de Trayectorias de Flujo de Contorno Chevrolet D-MAX.....	113
Ilustración 38. Presiones de Trayectorias de Flujo de Contorno Chevrolet D-MAX.	113
Ilustración 39. Presiones de Trayectorias de Flujo de Contorno Chevrolet D-MAX (lateral).	114
Ilustración 40. Presiones de las Trayectorias de Flujo de Contorno Mazda BT-50.....	114
Ilustración 41. Presiones de las Trayectorias de Flujo de Contorno Mazda BT-50. (lateral)	115
Ilustración 42. Velocidades de las Trayectorias de Flujo de Contorno Mazda BT-50.	115
Ilustración 43. Velocidades de las Trayectorias de Flujo de Contorno Mazda BT-50. (lateral) ..	116
Ilustración 44. Velocidades de las Trayectorias de Flujo de Contorno Mitsubishi L200.....	117
Ilustración 45. Velocidades de las Trayectorias de Flujo de Contorno Mitsubishi L200. (lateral)	117
Ilustración 46. Presiones de las Trayectorias de Flujo de Contorno Mitsubishi L200.	118
Ilustración 47. Presiones de las Trayectorias de Flujo de Contorno Mitsubishi L200 (lateral)....	118
Ilustración 48. Chevrolet D-MAX CD Doble Cabina 2.5L 4x4.	138
Ilustración 49. Mazda BT-50 Doble Cabina 2.5L 4x4.	138
Ilustración 50. Mitsubishi L200 Doble Cabina de 2.5L 4x4.....	138
Ilustración 51. Propuesta de diseño de capó.	140
Ilustración 52. Velocidad de trayectorias de Flujo de contorno del perfil propuesto.	141
Ilustración 53. Presiones de Trayectorias de Flujo de Contorno del perfil propuesto	141

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. FODA para control y manejo de pronósticos.....	153
Anexo 2. Características técnicas del ventilador.....	153
Anexo 3. Flujograma de Procesos para estudio de perfiles en un Túnel de viento.....	154
Anexo 4. Flujograma de procesos de Simulación de perfiles en el área de la Sección de Pruebas	155
Anexo 5. Propiedades de los aceros estructurales.....	156
Anexo 6. Especificaciones ASTM para pernos de acero	156
Anexo 7. Parámetros del perfil estructural ángulo L doblado.	157
Anexo 8. ACERO ASTM A36	158
Anexo 9. Diagrama de Moody	159

GLOSARIO

SÍMBOLO	DENOMINACIÓN	UNIDAD
f	Factor de fricción en la sección de pruebas	-
L_{pr}	Longitud de la sección de pruebas	mm
D_h	Diámetro hidráulico de la sección de pruebas	m
V_{pr}	Velocidad de la sección de pruebas	m/s
V_{df}	Velocidad en el direccionador de flujo	m/s
V_c	Velocidad en la contracción	m/s
V_L	Velocidad en el difusor	m/s
k_{df}	Coefficiente de pérdidas del direccionador de flujo	-
k_c	Coefficiente de pérdidas de la contracción	-
k_L	Coefficiente de pérdidas del difusor	-
P_2	Presión a la entrada del difusor	Pa
P_3	Presión a la salida del difusor	Pa
v_3^1	Velocidad a la salida del difusor	m/s
v_2^1	Velocidad a la entrada del difusor	m/s
A_3	Área de salida del difusor	m ²
A_2	Área de salida sección de pruebas	m ²
A_R	Relación de áreas	-
L	Longitud del difusor	M
R_2	Radio hidráulico de la sección final	M
R_1	Radio de la sección inicial	M
ϕ_a	Flujo de aire por unidad de tiempo	kg/s
ρ	Densidad del aire	kg/m ³
Ω	Humedad específica del aire	kg. Vapor de agua /kg. Aire seco
A_T	Área de la superficie de transferencia de calor	m ²
$b * a$	Área de impacto	m ²
C_p	Coefficiente calorífico del aire	kJ/kg°K
C_{pa}	Calor específico del aire	kJ/kg°C
H	Altura	m
I	Momento de inercia	m ⁴
M_a	Flujo másico de aire	kg/s
N	Factor de seguridad	
P	Presión total	N/m ²
P	Peso total	kg
Q_a	Velocidad del aire	m ³ /s
V	Volumen	m ³

CÓDIGO DUBLIN

Título	“DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS AERODINÁMICO (TÚNEL DE VIENTO) PARA LA VALIDACIÓN DE SIMULACIONES CON SOFTWARE CFD.”			
Autores	ZAMBRANO CRUZ JORGE GIANCARLOS BUSTILLOS HIDALGO BORIS ALFONSO			
Palabras claves	Aerodinámico	Simulación	CFD	Pruebas
F. publicación	2017			
Editorial	Quevedo: UTEQ, 2017			
Resumen	<p>El presente proyecto de investigación va direccionada a mecánica de fluidos cuyo objetivo principal es el diseño y simulación de un banco de pruebas aerodinámico o túnel de viento para la validación de simulaciones con software CFD, permitirá verificar los efectos de corriente de viento que se producen, demostrar la eficiencia y precisión aerodinámica de cuerpos a escala, rendimientos de prueba dentro de la simulación, todo esto justificado con su correspondiente manufactura como consideración de que el proyecto pueda ser construido en beneficio de la Carrera.</p>			
Descripción	... hojas: Dimensiones 29x21 cm			
URI				

INTRODUCCIÓN

El presente proyecto de investigación tiene como propósito evaluar mediante la simulación de fluidos el comportamiento aerodinámico de distintas estructuras y elementos de diversa índole desde el punto de vista académico, el túnel de viento o banco de pruebas aerodinámico es un instrumento de investigación preciso para efectuar un análisis, la funcionalidad comprende el estudio del efecto que se produce en determinado objeto (la interposición del aire), ver su comportamiento ante situaciones climáticas reales, en la actualidad su uso es utilizado generalmente para pruebas de industrias aeroespaciales, pero su desarrollo abarca desde la industria automotriz, construcción naval y diseño de edificaciones.

La Dinámica de Fluidos Computacional (CFD) corresponde al estudio de sistemas que implican flujo de fluidos, transferencias de calor y fenómenos asociados. La simulación computarizada determina el comportamiento de perfiles, así como de estructuras, lo que brinda un adecuado diseño, además permite observar la resistencia del material, la interacción con la atmósfera y el comportamiento según rangos de velocidades y la seguridad en la estructura.

El Ecuador está en constante progreso industrial, según datos de PROECUADOR, el Instituto de promoción de exportaciones e inversiones y la industria automotriz del Ecuador produce actualmente 6 tipos de vehículos y ofrece 11 distintos productos de la industria de fabricantes de autopartes, un sector como muchos que están en crecimiento y que necesitan adecuarse al sistema de reglas en normas nacionales y extranjeras en sus diseños y componentes aerodinámicos.

En consecuencia, el presente trabajo de investigación abarca el diseño y simulación de un banco de pruebas aerodinámico para la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, ya que a nivel académico no se puede desenvolver un estudio experimental apropiado. Al desarrollar la simulación del túnel de viento facilita al estudiante grabar los procesos que se realizan con mayor rapidez, menor esfuerzo técnico y se facilita el registro de control de fluido. El diseño 3D y simulación del banco de pruebas se realiza en el programa informático Solidworks 2017.

CAPITULO I

CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Problema de investigación

1.1.1. Problematización

En la actualidad el desarrollo urbanístico se ha incrementado exponencialmente, carreteras y ciudades que se ubican en zonas geográficas donde cada vez es más difícil su acceso. Adaptar la tecnología ante estas situaciones es una necesidad prioritaria, especialmente en el transporte como aeronaves y vehículos que según su uso soportan variadas condiciones, estas deben ser estudiadas para garantizar mayor seguridad al usuario y un adecuado funcionamiento. Para desarrollar esto se requiere un apropiado estudio de la aerodinámica de los perfiles, sin embargo, hacer esta investigación dificulta la experimentación al manejar dimensiones a escala natural, situaciones que pueden ser llevadas a un laboratorio.

El túnel de viento es un elemento de laboratorio donde se puede estudiar condiciones reales de diversos mecanismos. Se considera que la reducción del tamaño del modelado del túnel es importante debido que nos permitirá determinar la medida a escala en la que el elemento se deberá encontrar para poder realizar el estudio.

El comportamiento del aire es impredecible y no se puede controlar. Los flujos laminares y turbulentos, sus cambios con la presión y temperatura, la velocidad relativa respecto a las superficies, entre otros, elaborándose una amplia gama de posibilidades que se deben estudiar y variar en los diseños del estudio.

En la actualidad el avance de softwares de simulación (CFD) es muy amplio, y constituyen una herramienta que nos permitirá analizar de forma confiable el fenómeno que se genera en el sistema aerodinámico.

Diagnóstico.

La Universidad Técnica Estatal de Quevedo al no contar con un túnel de viento, no puede proporcionar el conocimiento experimental que la carrera de ingeniería mecánica debe ofrecer en la unidad de aprendizaje de mecánica de fluidos en relación al estudio y diseño de perfiles y mecanismos aerodinámicos. Para observar el análisis FODA ver Anexo 1.

Pronóstico.

Adaptar los conocimientos y desarrollo actual en un proyecto de construcción a futuro que permita complementar el desarrollo teórico, incrementar el estudio y análisis de los elementos cuyas partes necesitan ser evaluadas bajo consideraciones aerodinámicas normadas, de no desarrollarse y suspenderse se perdería un fuerte valor académico para la carrera de Ingeniería Mecánica en sus estudios de mecánica de fluidos bajo la consideración de que es una práctica no debidamente experimental y por lo tanto ineficaz. La Universidad Técnica Estatal de Quevedo puede ser el centro de estudios aerodinámicos en la región Costa, en la cual dicha tecnología no existe, por lo que esta práctica es más empleada en la región Sierra que cuenta con tres bancos de pruebas aerodinámicos.

1.1.2. Formulación del problema.

Determinación de la importancia de un túnel de viento a nivel académico para la Universidad Técnica Estatal de Quevedo en el estudio de perfiles y elementos aerodinámicos.

1.1.3. Sistematización del problema.

1. ¿Qué programas se pueden usar para su simulación?
2. ¿Qué beneficio se obtiene con la validación de la simulación?
3. ¿Cuáles son los elementos a los que se les planea hacer un análisis estructural?
4. ¿Cómo afecta la aerodinámica a los componentes de máquinas, estructuras y otros?
5. ¿Qué materiales y elementos constarían en su diseño?
6. ¿Qué parámetros y normas se utilizarán para su diseño?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Diseñar y simular el funcionamiento de un banco de pruebas aerodinámico (túnel de viento) para la validación de simulaciones de fluidos con software CFD (Dinámica de Fluidos Computacional).

1.2.2. Objetivos Específicos

- Determinar y especificar los componentes físicos que conforman el Túnel de Viento.
- Realizar los cálculos para el dimensionamiento del túnel de viento, especificando los resultados obtenidos en una tabla de datos.
- Desarrollar un Protocolo de pruebas del proceso de funcionamiento del Túnel de Viento.
- Seleccionar los perfiles a ser comprobados justificando y nombrando sus aplicaciones correspondientes en la industria de la región de planificación 5 (provincias de Guayas, Los Ríos, Santa Elena, Bolívar y Galápagos) del Ecuador.
- Comparar ventajas y desventajas de los perfiles seleccionados proponiendo la optimización de un perfil en base a los datos obtenidos.
- Efectuar un análisis económico para implementar un Túnel de Viento en la Universidad Técnica Estatal de Quevedo.

1.3. Justificación

Mediante este proyecto se pretende que a futuro se implemente un túnel de viento en el laboratorio de Dinámica de Fluidos de la Facultad de Ciencias de Ingeniería de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Un banco de pruebas aerodinámico que permita la realización de investigaciones, diseño y prácticas de laboratorio para estudiantes de la universidad, para crear un centro de investigación aerodinámico que fortalezca las actividades académicas que se desarrollan con este sistema mediante la simulación.

El túnel de viento se encarga de realizar pruebas de interacción simulada de los elementos en proceso y la resistencia que ejerce el fluido; éste será diseñado para proporcionar tanto al estudiante como al profesor una manera sencilla de entender los conocimientos impartidos en dinámica de fluidos.

La Universidad carece de elementos de ensayo, la simulación será realizada para que a posterior se pueda plantear la construcción del banco de pruebas aerodinámico, que será un beneficio principal para la Carrera de Ingeniería Mecánica que tendrá un método más efectivo y sencillo para realizar análisis con los estudiantes, otro punto a favor del proyecto es que será un elemento esencial para implementar posteriormente un laboratorio de dinámica de fluidos.

CAPITULO II

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Marco conceptual

2.1.1. Diseño

El diseño implica la representación mental de un equipo o plan que va a satisfacer una necesidad específica o a resolver un problema, es un boceto o bosquejo que luego se plasma en un formato gráfico o software para poner a la vista como será el producto una vez construido. El producto debe ser funcional, seguro, confiable, competitivo, útil, de fácil manufactura y comercialización. El diseño es un proceso innovador y altamente iterativo que exige estudios e investigación sobre modelado para permitir un mejor desarrollo del elemento que se procura crear. También se dice que es un proceso donde se toma decisiones, que en ocasiones se deben desarrollar con muy poca información. [1] [2]

2.1.2. Simulación

La simulación se refiere a un gran campo de métodos y aplicaciones que buscan imitar el comportamiento de sistemas reales, se puede decir que el modelo o diseño planteado se va desarrollando partiendo de un estado inicial que va alimentándose con el ingreso de información de entrada en un software y obteniendo de este modo una información de salida que serán los resultados a estudiar. De hecho, la éste puede ser un término extremadamente general dado que se utiliza en muchos campos, industrias y aplicaciones. [3]

Simulación es una técnica numérica para conducir experimentos con modelos que tratan de imitar ciertos aspectos de la realidad en una computadora digital, que permiten trabajar en condiciones equivalentes, pero con variables controladas en un ambiente semejante al real. Las condiciones a las que son expuestas a experimentación varían con el fin de facilitar procesos, éstas pueden ser mecánicas, eléctricas, térmicas y de fluido. [4]

2.1.3. Banco de pruebas

Un banco de pruebas es una plataforma para experimentación de proyectos de gran desarrollo, que brinda una manera de comprobar teorías científicas y nuevas tecnologías. [5]

2.1.4. Aerodinámica

La aerodinámica es una rama de la dinámica de fluido que tiene por objetivo el análisis del comportamiento del aire, particularmente cuando interactúa con objetos que se mueven y que generan que el aire entre en circulación. La aerodinámica es parte de la dinámica de fluidos y dinámica de gases, siendo de utilidad para explicar fenómenos conocidos como la aviación, también para la construcción y fabricación de autos. Se debe tomar en cuenta que muchos aspectos de la teoría de la aerodinámica son comunes a estos campos. [6]

Aerodinámica es el estudio de las fuerzas sobre un cuerpo en un movimiento relativo con el aire. La aerodinámica es un subconjunto de la mecánica de fluidos. [7]

2.1.5. Software CFD

La dinámica de fluidos computacional (CFD) es el análisis de sistemas que implican flujo de fluido, transferencia de calor y fenómenos asociados tales como reacciones químicas mediante simulación computarizada. [8]

CFD está especialmente dedicado al movimiento de los fluidos y ah cómo su comportamiento puede llegar a influir en otros tipos de procesos como: la transferencia de calor y posiblemente reacciones químicas en los flujos de combustión. [9]

La dinámica de fluidos computacional (CFD) complementa la dinámica de fluidos experimental y teórica proporcionando un medio alternativo y rentable de simular flujos condiciones reales. Softwares más utilizados en la simulación de fluidos:

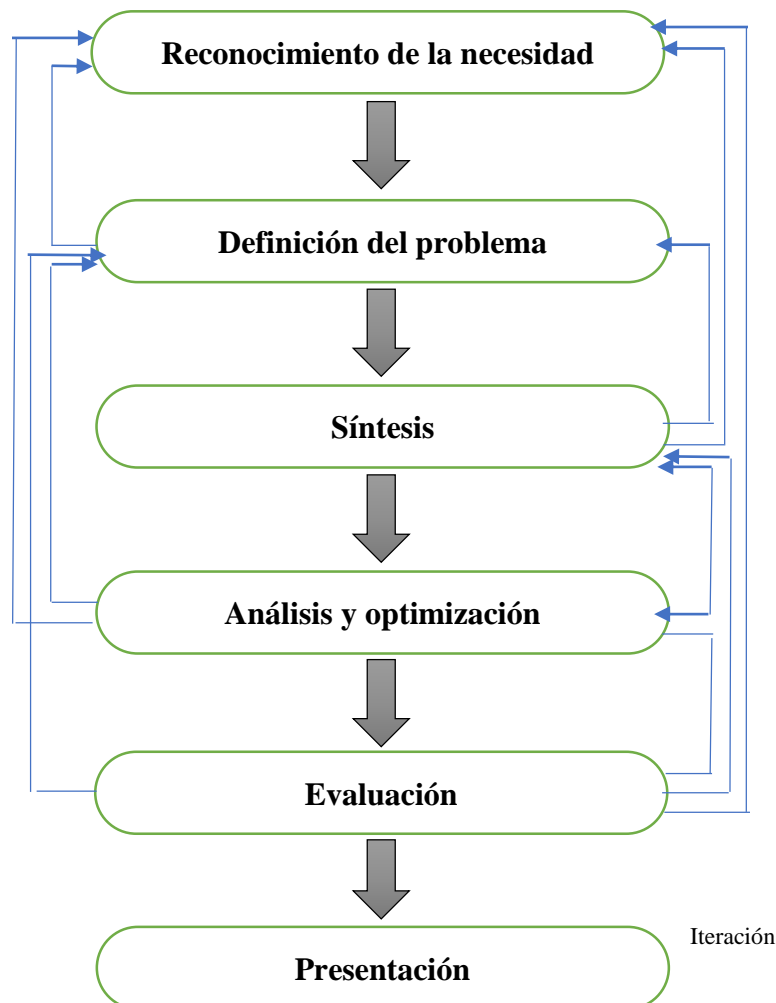
- Ansys
- Autodesk CFD
- Solidworks (Flow Simulation)
- Inventor CFD
- Flow 3D.

2.2.Marco Referencial

2.2.1. Fases e interacciones del proceso de diseño

- Definir el problema que siempre nace de una necesidad.
- La forma o esquema para resolver la necesidad y elegir uno para analizarlo. Estudio de factibilidad.
- Diseñar de forma preliminar la máquina, estructura, sistema o proceso seleccionado; permitiendo establecer las características globales y las específicas de cada componente.
- Realizar el análisis de todas y cada uno de los componentes y preparar los dibujos necesarios con sus respectivas especificaciones. [10]

Tabla 1. Fases del proceso de diseño que reconocen múltiples retroalimentaciones e iteraciones.



FUENTE: Budynas, Richard G.; Nisbett, J. Keith, [2012]

2.2.2. Consideraciones de diseño

Algunas veces la resistencia que requiere un elemento de un sistema significa un factor importante para determinar su geometría y dimensiones. En esa situación se dice que la resistencia es una consideración de diseño importante. Cuando se emplea la expresión consideración de diseño se involucra de manera directa alguna característica que influye en el diseño del elemento, o tal vez en todo el sistema. A menudo se deben considerar muchas de esas características en una situación de diseño dada. Entre las más importantes se mencionan (no necesariamente en orden de importancia): [1]

Tabla 2. Consideraciones de diseño

Consideraciones de diseño	
1. Funcionalidad	15. Estilo
2. Resistencia/esfuerzo	16. Forma
3. Distorsión/deflexión/rigidez	17. Tamaño
4. Desgaste	18. Control
5. Corrosión	19. Propiedades térmicas
6. Seguridad	20. Superficie
7. Confiabilidad	21. Lubricación
8. Facilidad de manufactura	22. Comercialización
9. Utilidad	23. Mantenimiento
10. Costo	24. Volumen
11. Fricción	25. Responsabilidad legal
12. Peso	26. Capacidad de reciclado/ recuperación de recursos
13. Vida	
14. Ruido	

ELABORADO POR: Budynas, Richard G.; Nisbett, J. Keith

FUENTE: Diseño En Ingeniería Mecánica De Shigley [2008]

Algunas de estas propiedades se relacionan de manera directa con las dimensiones, el material, el procesamiento y la unión de los elementos del sistema. Ciertas características pueden estar interrelacionadas, lo que afecta la configuración del sistema total. [1]

2.2.3. Simulación por computadora

La simulación por computadora se refiere a los métodos para estudiar una gran variedad de modelos de sistemas del mundo real mediante la evaluación numérica al usar un software diseñado para imitar las operaciones o características del sistema, a menudo en el transcurso del tiempo. Desde un punto de vista práctico, la simulación es el proceso de diseñar y crear un modelo computarizado de un sistema real o propuesto con la finalidad de llevar a cabo experimentos numéricos que den un mejor entendimiento del comportamiento de dicho sistema en un conjunto dado de condiciones. [3]

2.2.4. Tipos de simulaciones

Existen varias maneras de clasificar modelos de simulación, pero una forma útil es a través de estas tres dimensiones: [3]

2.2.4.1. Estático contra dinámico

El tiempo no desempeña un papel natural en los modelos estáticos, pero sí en modelos dinámicos. [3]

2.2.4.2. Continuo contra discreto

En un modelo continuo el estado del sistema puede cambiar continuamente en el tiempo. Sin embargo, en un modelo discreto el cambio puede ocurrir sólo en puntos separados en el tiempo, tal como un sistema de fabricación con partes que llegan y se van en tiempos específicos, máquinas que se apagan y encienden en momentos específicos y descansos para los trabajadores. Este puede tener elementos tanto del cambio continuo como del discreto en el mismo modelo, el cual recibe el nombre de modelo combinado continuo-discreto. [3]

2.2.4.3. Determinista contra estocástico

Los modelos que no tienen entradas aleatorias son deterministas. Por otra parte, los modelos estocásticos, operan con al menos algunas entradas aleatorias. [3]

2.2.5. Túnel de viento

Un túnel de viento es un espacio fundamentalmente diseñado y resguardado en el que el aire es extraído, o soplado del ambiente, ya sea por medios mecánicos con el fin de alcanzar una velocidad específica y un patrón de flujo predeterminado en un instante dado. El flujo así conseguido se puede observar desde el exterior del tubo de viento a través de ventanas transparentes que encierran la sección de prueba y las características de flujo se pueden medir utilizando instrumentos especializados. Un objeto, tal como un modelo, o una estructura de ingeniería a escala completa, típicamente un vehículo, o parte de él, puede sumergirse en el flujo establecido, perturbándolo de esta manera. Los objetivos de la inmersión incluyen ser capaces de simular, visualizar, observar y/o medir cómo el flujo alrededor del objeto sumergido afecta el objeto inmerso. [11]

Considerando como resumen básico los túneles de viento son grandes tubos que ingresa aire que se mueve dentro. Los túneles se utilizan para copiar las acciones de un perfil, puede ser este en vuelo o fijo. Los investigadores usan túneles de viento para aprender más sobre cómo un avión volará. [11]

2.2.5.1. Principios de funcionamiento del Túnel.

La mayoría de las veces, ventiladores potentes mueven aire a través del tubo. El objeto a probar se fija en el túnel para que no se mueva. El objeto puede ser un modelo pequeño de un vehículo. Puede ser sólo una pieza de un vehículo. Puede ser un avión de tamaño completo o nave espacial. Incluso puede ser un objeto común como una pelota de tenis. [12]

El aire que se mueve alrededor del objeto inmóvil muestra lo que sucedería si el objeto se moviera a través del aire. Cómo se mueve el aire puede ser estudiado de diferentes maneras. El humo o el tinte se pueden colocar en el aire y se puede ver mientras se mueve, a éste se le aplican aditivos de distintos colores para facilitar la visualización del estudio. Los hilos se pueden unir al objeto para mostrar cómo se mueve el aire. A menudo se utilizan instrumentos especiales para medir la fuerza del aire sobre el objeto. [12]

2.2.5.2. Tipos de túnel de viento

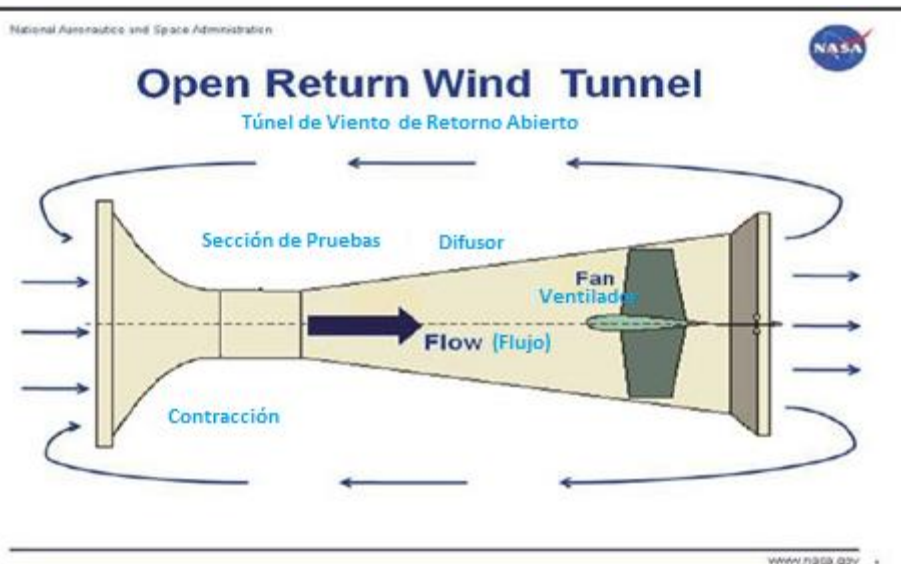
Los túneles de viento se pueden clasificar utilizando cuatro criterios diferentes.

Según la trayectoria seguida por el aire tenemos:

2.2.5.2.1. Túnel de viento abierto (retorno abierto)

Si el aire es extraído directamente del entorno hacia el túnel de viento y rechazado de nuevo al entorno, se dice que el túnel de viento tiene un circuito al aire libre. Un diagrama de tal túnel de viento se muestra en la Ilustración 1. [11]

Ilustración 1. Diagrama de Túnel de Viento

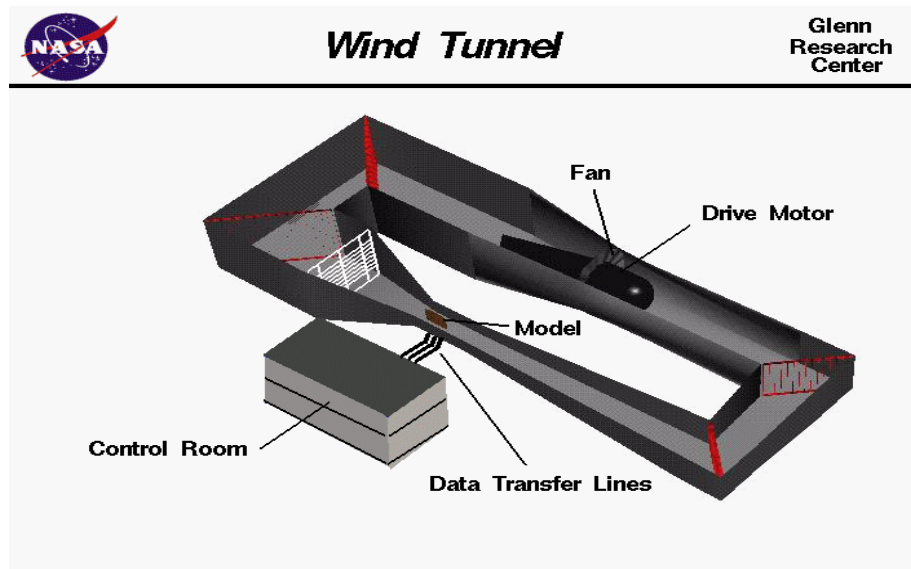


ELABORADO: Nancy Hall.

FUENTE: La Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio (NASA)

Un túnel de viento de circuito abierto también se conoce como túnel de viento de retorno abierto y el túnel de viento cerrado se conoce igualmente como de retorno cerrado. Si el mismo aire circula de tal manera que el túnel de viento no extrae aire nuevo de los alrededores, ni lo devuelve al entorno, se dice que el túnel de viento tiene un circuito de aire cerrado. Es convencional que un túnel de viento de circuito cerrado (de retorno cerrado), la Ilustración 2 demuestra esta configuración [13].

Ilustración 2. Vista superior de un circuito cerrado, también conocido como túnel de viento de retorno cerrado



ELABORADO: Nancy Hall.

FUENTE: La Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio (Nasa)

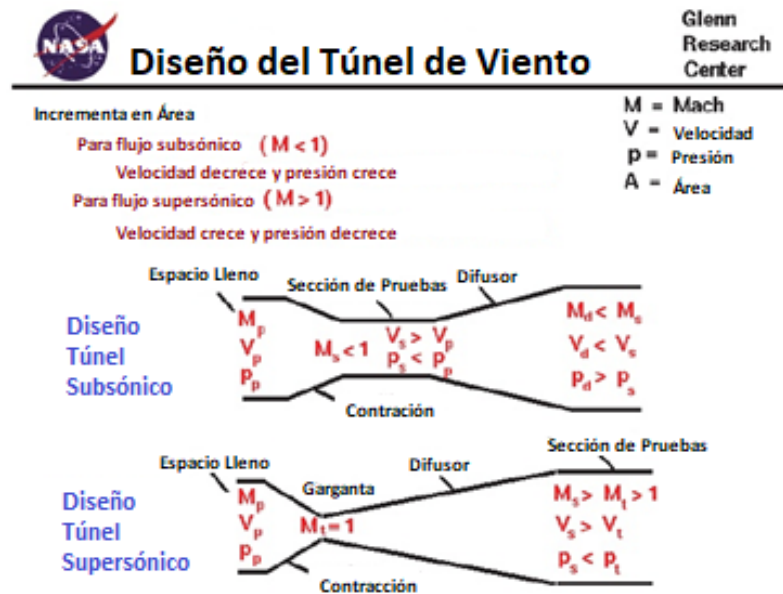
Es elemental utilizar la relación de la velocidad del fluido, o de cualquier otro objeto. Ese cociente se llama el número de Mach, La clasificación se resume en la Tabla 3 en la que se determina las condiciones de flujo en relación al efecto de túnel por los rangos del número de Mach. Los diseños esquemáticos de los túneles de viento subsónicos y supersónicos se comparan en la Ilustración 3, donde se verifica la influencia de su estructura en el número de Mach, velocidad, presión y área.

Tabla 3. Clasificación de los flujos basados en sus números de Mach.

Rangos del Número de Mach, M	Nombre de flujo, o condiciones
$M < 1$	Subsónico
$M = 1$, o cercano a 1	Transonic
$1 < M < 3$	Supersónico
$3 < M < 5$	Alto supersónico
$M > 5$	Hipersónico
$M \gg 5$	Alto hipersónico

FUENTE: NASA, [2017]

Ilustración 3. Comparación del diseño esquemático de los túneles de viento subsónicos y supersónicos.



FUENTE: NASA [2017].

Según la velocidad máxima alcanzada tenemos:

- **Túneles de viento subsónicos**

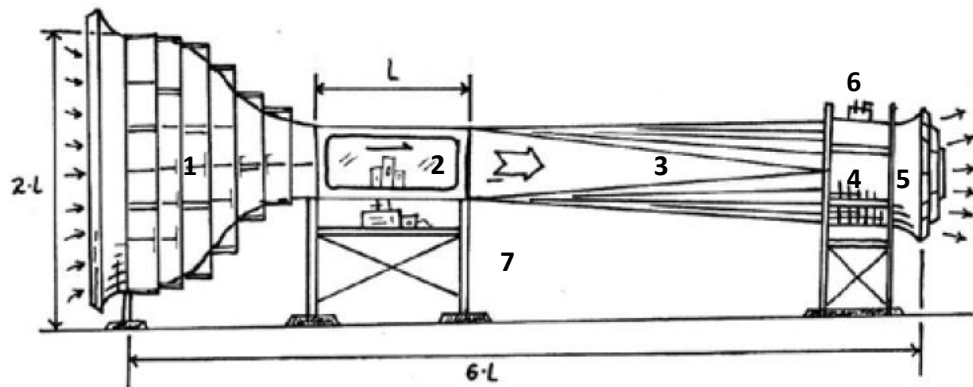
Si la velocidad máxima alcanzada por el túnel de viento es menor que la velocidad del sonido en el aire. La velocidad del sonido en el aire a temperatura ambiente es de aproximadamente 343 m/s, o 1235 km/h, o 767 millas/h y el número de Mach, $M < 1$.

- **Túneles de viento supersónicos.**

Si la velocidad máxima alcanzada por el túnel de viento es igual a la velocidad del sonido en el aire.

El túnel de viento es una estructura que varía mucho según el uso que vaya a proporcionar, para un diseño académico se considera lo descrito en la Ilustración 4. Como consecuencia se tiene que observar que elementos mecánicos lo componen y su descripción como lo expuesto en la Tabla 4. [11]

Ilustración 4. Proporciones de un túnel de viento de baja velocidad para aplicación general



ELABORADO POR: Ing. Juan Monge-Gapper M.Sc.

FUENTE: Concept for a Variable Vortex Wind Tunnel [2014]

Tabla 4. Partes de un Túnel de Viento.

Número de Elemento	Descripción	Especificación
1	Sección de Contracción	Incrementa la velocidad y el volumen de ingreso de flujo, también conocido como cono de contracción o aceleración busca estabilizar la turbulencia de entrada, posee rejillas para equilibrar presiones. [14]
2	Sección de área de pruebas o Cámara de ensayos.	Zona donde el objeto también conocido como perfil es estudiado bajo diversas condiciones expuestas ya sea para seguridad o análisis de material, en esta parte también están los sensores y elementos de sujeción. [13]
3	Difusor.	Reduce y regula la velocidad en que se expande el flujo saliendo no laminar de la sección de pruebas, el objetivo es controlarlo y que no provoque vibraciones indeseadas. [15]

4	Ventilador.	Se encarga de hacer circular el flujo por todo el túnel, la configuración y diseño de sus aspas incrementa o desacelera el flujo de aire. [15]
5	Sección de Empuje o filtración	Dependiendo del diseño del túnel puede variar, puede constar de uno o varios ventiladores dependiendo de su función, esta sección tiene que verificarse y mantener constantemente [15]
6	Motor.	Regula el empuje y su funcionamiento debe disminuir a lo mínimo el número e intensidad de oscilaciones. [12]
7	Estructura de Soporte	Elemento mecánico que soporta las cargas del túnel de viento, su estructura tiene que ser bien diseñada para evitar vibraciones. [15]

ELABORADO POR: Autores [2017].

2.2.6. Consideraciones de poder y carga eléctrica.

Se debe determinar las condiciones con respecto al consumo de energía general, en específico para reconocer el consumo de electricidad de varios componentes específicos de un túnel de viento que se desenvuelven en cada acción, en sí el túnel es un elemento mecánico, son sus adaptaciones las que consumen energía, como son los sensores y el ventilador. [16]

Las condiciones en cualquier sección transversal de un circuito de túnel de viento se consideran representadas por el valor promedio ponderado de área de los parámetros de flujo sobre la sección. La suposición de una dimensionalidad introduce cierta ambigüedad e inexactitud, pero los resultados son bastante valiosos para comprender el comportamiento del flujo en un circuito de túnel de viento. Es probable que la mayoría de los túneles de viento existentes se hayan configurado utilizando esta suposición para los cálculos de diseño. [14]

2.2.7. Fluidos

Una sustancia en la fase líquida o en la gaseosa se conoce como fluido. La diferencia entre un sólido y un fluido se hace con base en la capacidad de la sustancia para oponer resistencia a un esfuerzo cortante (o tangencial) aplicado que tiende a cambiar su forma. Un sólido puede oponer resistencia a un esfuerzo cortante aplicado por medio de la deformación, en tanto que un fluido se deforma de manera continua bajo la influencia del esfuerzo cortante, sin importar lo pequeño que sea. En los sólidos, el esfuerzo es proporcional a la deformación, pero en los fluidos el esfuerzo es proporcional a la razón de deformación. [15] [16]

2.2.8. Clasificación de los flujos de fluidos.

- Regiones viscosas de flujo en comparación con las no viscosas.
- Flujo interno en comparación con el externo.
- Flujo compresible en comparación con el incompresible.
- Flujo natural (o no-forzado) en comparación con el forzado.
- Flujo estacionario en comparación con el no-estacionario.
- Flujos unidimensional, bidimensional y tridimensional.
- Flujo laminar en comparación con el turbulento. [15]

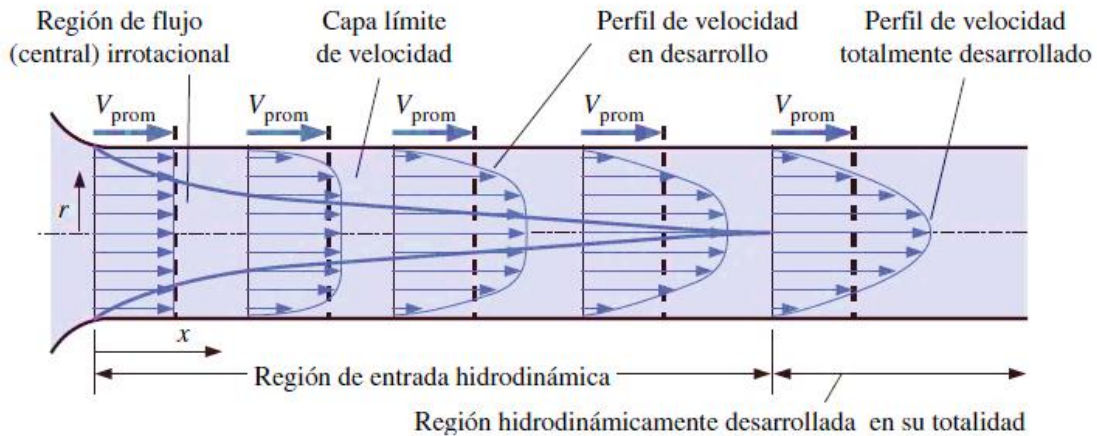
2.2.8.1. Flujo laminar

El flujo laminar se caracteriza por presentar líneas de corriente suaves y movimiento adecuadamente ordenado; mientras que en un segundo caso el flujo se presenta como turbulento, y se caracteriza por fluctuaciones en la velocidad y movimiento, es decir, desordenado. La transición de un flujo de laminar a turbulento no ocurre repentinamente, más bien, sucede sobre cierta región en la que el flujo fluctúa entre flujos laminar y turbulento antes de volverse totalmente turbulento. La mayoría de los flujos que se encuentran en la práctica son turbulentos. [15]

El flujo en tuberías es laminar para $RE \leq 2\ 300$ y está totalmente desarrollado si la tubería es suficientemente larga (en relación con la longitud de entrada) de modo que los efectos de

entrada son despreciables. La investigación actual en estudios de túneles de viento se hace con el objetivo de analizar los fenómenos de interacción de la capa límite de ondas de choque. [15] [16]

Ilustración 5. Desarrollo de capa límite en una tubería.



ELABORADO POR: Cengel, Cimbala.

FUENTE: Mecánica de Fluidos, [2006].

En flujo laminar totalmente desarrollado, cada partícula de fluido se desplaza a una velocidad axial constante a lo largo de una línea de corriente y el perfil de velocidad $u(r)$ permanece invariable en la dirección del flujo. No hay movimiento en la dirección radial y por tanto el componente de velocidad en la dirección normal al flujo es cero en todas partes. No hay aceleración porque el flujo es estacionario y totalmente desarrollado. [16]

2.2.8.2. Flujo turbulento.

La mayoría de los flujos que se encuentran en la práctica de ingeniería son turbulentos, por esta razón es importante entender cómo afecta la turbulencia el esfuerzo de corte de pared. Sin embargo, el flujo turbulento es un mecanismo complejo dominado por fluctuaciones, y pese a las innumerables investigaciones realizadas en esta área, la teoría del flujo turbulento aún no se conoce totalmente. En consecuencia, se debe apoyar en experimentos y en correlaciones empíricas o semi-empíricas ideadas para diferentes situaciones. El flujo turbulento se caracteriza por fluctuaciones aleatorias y rápidas de regiones giratorias de

fluido, llamadas remolinos, a través del flujo. Dichas fluctuaciones proporcionan un mecanismo adicional para transferir movimiento y energía.

En flujo laminar, las partículas fluyen en orden a lo largo de trayectorias, y la cantidad de movimiento y la energía se transfieren a través de líneas de corriente mediante difusión molecular. En el flujo turbulento, los remolinos giratorios transportan masa, cantidad de movimiento y energía a otras regiones del flujo con mayor rapidez que la difusión molecular, y aumentan enormemente la masa, la cantidad de movimiento y la transferencia de calor. Como resultado, el flujo turbulento está relacionado con valores mucho más altos de coeficientes de fricción, transferencia de calor y transferencia de masa [15] [16].

2.2.9. Número de Reynolds.

La transición de flujo laminar a turbulento depende de la geometría, la rugosidad de la superficie, la velocidad del flujo, la temperatura de la superficie y el tipo de fluido, entre otros factores. [18]

Después de experimentos exhaustivos en los años de 1880, Osborne Reynolds descubrió que el régimen de flujo depende principalmente de la razón de fuerzas inerciales a fuerzas viscosas en el fluido. Esta razón se llama número de Reynolds y se expresa para flujo interno en una tubería circular como la ecuación 4. [16]

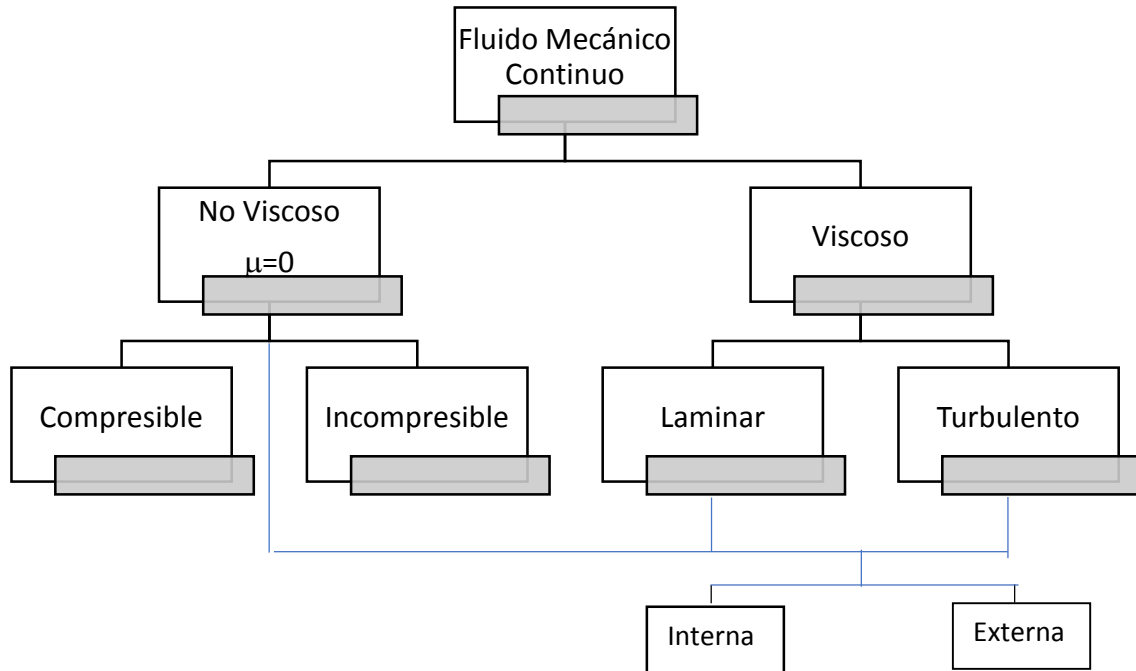
2.2.10. Viscosidad.

La viscosidad es una medida cuantitativa de la resistencia de un fluido a fluir, es decir, determina la velocidad de deformación del fluido cuando se le aplica un esfuerzo cortante. [19]

La fuerza que un fluido fluyente ejerce sobre un cuerpo en la dirección del flujo se llama fuerza de arrastre, y la magnitud de ésta depende, en parte, de la viscosidad por lo que es un elemento indispensable a tomar en consideración en un estudio. [18]

Ésta se representa así:

Tabla 5. Clasificación de fluido mecánico continuo



ELABORADO POR: Robert W. Fox, Alan T. McDonald, Phipip J. Pritchard.

FUENTE: Introducción a Mecánica de Fluidos, [2003].

2.2.11. Diámetro Hidráulico.

El diámetro hidráulico (D_h) es un elemento muy usado en los principios de la Hidráulica en sí y se trata del estudio de un fluido en canales de un conducto tubular, que ocasiona igual pérdida de cargas en una sección del elemento, de igual velocidad al aire e igual coeficiente de fricción que el conducto rectangular estimado como tubo. Su exposición se puede demostrar en la ecuación 3, donde se observa que es la resultante de A es el área de la sección transversal del conducto requerido y PM es la consideración de perímetro mojado por el cual se circula el flujo. [16]

Recordando que la ecuación expuesta se modifica según el elemento a ser estudiado, es decir, el cálculo del área se determinará por la forma del elemento ensayado ya sea esta una sección anular, circular, rectangular, etc.

2.2.11.1. Radio Hidráulico.

Es especificada como la relación que existe entre el área mojada (A_m) y el perímetro mojado (P_m) y como una medida de la resistencia a fluir en procesos de la geometría de la sección transversal de la conducción. [17]

Es muy útil para diversos campos en fluidos más desarrollando al manejo de flujo en tuberías, pero su mayor dirección es el control en las pérdidas de carga que es especificada en las fórmulas de Manning lo cual es la observación clásica de un canal de flujo abierto dirigido al control específicamente a líquidos tomando como referencia el agua. [21]

2.2.12. Sensores

Dispositivo que detecta una determinada acción externa, como es la temperatura, presión, calor, velocidad, etc., y la transmite adecuadamente. Se considera como una herramienta de medición, de manipulación digital, que expresa resultados en tiempo real, bajo las condiciones a las que está sometido a estudio. [22]

2.2.12.1. Caudal y caudalímetro.

Según la mecánica de fluidos el caudal puede ser explicado como la cantidad de un fluido o flujo que pasa por el área de una sección de una tubería o cualquier elemento por la unidad de tiempo. Donde el volumen del flujo (V) se quiere comprobar por el área (A) de la sección que se planea medir, ver ecuación 5. [23]

El caudal tiene diversos alcances y para facilitar su estudio se han desarrollado herramientas que faciliten su cálculo y se tenga un control más estricto en cuanto a su variación refiere como es el caudalímetro. De distintos caudalímetros en el mercado para análisis de flujos en grandes proporciones y de gran impacto se recomiendan sensores con tester de hilo térmico que son más fáciles de colocar en distintas estructuras.

Ilustración 6. Caudalímetro PCE- 423.



FUENTE: Catálogo de Productos De PCE Instruments.

2.2.12.2. Flujo Másico.

Los medidores de flujo están diseñados para producir una señal de salida que es proporcional a la velocidad promedio de flujo o del flujo volumétrico. Esto es satisfactorio sólo si se necesita el volumen distribuido a través del medidor sobre todo para situaciones en los que un flujo abarca bastante contenido y sus cantidades tienen que ser supervisadas ya sea en cualquier empresa o estudio ya que constantemente en los procesos se requiere una medición de la masa del fluido que se envía; un ejemplo son las plantas de procesamiento de alimentos es en lo que es habitual que la producción se exteriorice como la cantidad transportada ya sea en kilogramos, libras masa o slugs. [16]

Los fluidos normalmente son considerados en dos fases: como vapor son muy complicados de medir con exactitud, si la temperatura y presión varían lo suficiente éstas pueden representar alteraciones bruscas significativas como para causar cambios característicos en la cantidad de líquido y vapor presentes. Si son líquidas es más sencillo y por lo tanto presentará un rango de errores bajo. [16]

Si se conoce la densidad del fluido el flujo másico puede medirse de manera beneficiosa, éste sería un cálculo relativamente natural. Para ciertos fluidos, es posible calcular la densidad si se conoce su temperatura. A veces, especialmente con gases, también se necesita la presión. Es fácil conseguir medidores de temperatura y transductores de presión que proporcionen los datos necesarios. [16]

La densidad de algunos fluidos se mide directamente con un densitómetro y también sus otros datos pueden ser medidos con distintos aparatos para certificar mayor eficacia y mayor precisión, la medición de estos procesos por separado sin embargo pueden ocasionar leves errores en los resultados sobre todo en el final, por lo tanto se recomienda un medidor de flujo de masa listo y adecuado uno de las reconocidos es el tubo de flujo másico de Coriolis, aunque existen sensores en la actualidad que funcionan con similar o mayor eficiencia. [24]

En caso de no poseer se relacionan las señales que se forman para partir con el flujo másico como son el flujo volumétrico, presión, gravedad específica, temperatura, densidad cuyos datos se introducen en los dispositivos electrónicos adecuados para su correspondiente función [24]

Ilustración 7. Medidor de flujo másico Coriolis SITRANS F C.



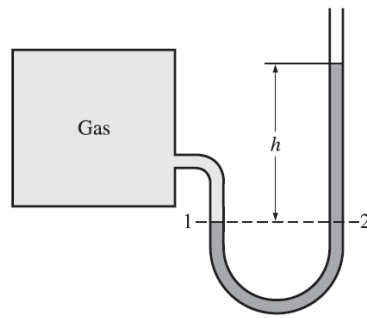
FUENTE: Catálogo de Productos Siemens [2016].

2.2.13. Manómetro.

Es un instrumento que funciona bajo el principio de usar una columna de fluido para medir diferencias en la presión. Su manipulación es de uso común para medir las diferencias en la presión ya sean pequeñas y moderadas. [15]

Un manómetro consta principalmente de un tubo en U de vidrio o plástico que contiene uno o más fluidos como mercurio, agua, alcohol o aceite; su diseño puede ser digital. Para mantener el tamaño del manómetro dentro de límites manejables se usa fluidos pesados. [15]

Ilustración 8. Principio de funcionamiento básico de un manómetro.



ELABORADO POR: Cengel, Cimbala.

FUENTE: Mecánica de Fluidos, [2006].

Regulador de frecuencia

2.2.14. Control de rugosidad superficial.

La rugosidad es una medida cuantitativa de la topografía superficial, que, aunque no debe considerarse en sí una propiedad mecánica, tiene una influencia importante en algunas de las propiedades mecánicas más características de la superficie de los sólidos. En el desarrollo de cualquier herramienta de medida demasiado magna se considera verificar su rugosidad ya que busca establecer precisión, en un túnel de viento se considera revisar su interior para verificar si no existen imperfecciones superficiales que alteren el desarrollo de su capa límite, y por lo tanto alteren el flujo y resultados.

Se conoce que las superficies de diversos componentes utilizados en la ingeniería muestran siempre irregularidades superficiales sin importar incluso las superficies mejor pulidas ya que aunque a simple vista se vean lisas tienen defectos microscópicos que son muy difíciles de detectar pero que están presentes, existiendo diversos métodos para su determinación, de los que el más utilizado es la medida de su perfil mediante un aparato conocido como rugosímetro que sirve para determinar con rapidez la rugosidad en superficies o perforaciones significativas, cuyo principio de funcionamiento se muestra la profundidad de la rugosidad media R_z y el valor de rugosidad medio R_a en μm . Las siguientes normas se ocupan del control de la rugosidad: DIN 4762, DIN 4768, DIN 4771, DIN 4775, el alcance de la rugosidad de superficies lo encontrará en DIN 4766-1. [22]

Ilustración 9. Rugosímetro PCE- RT 2200

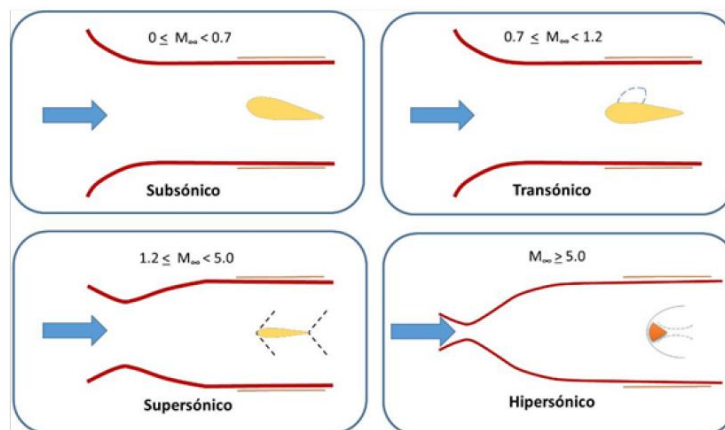


FUENTE: Catálogo web de PCE Ibérica [2017].

2.2.15. Número de Mach.

El número de Mach relaciona la velocidad del fluido con la velocidad del sonido, éste fluido se presenta en similares condiciones termodinámicas, de forma que: $M=c/a$. Cuando $M > 1$ el flujo se denomina supersónico, cuando $M < 1$ el flujo se llama subsónico y cuando $M = 1$ el flujo será sónico. En este sentido, un flujo compresible con número de Mach $< 0,3$ se puede considerar incompresible de cara a su comportamiento y análisis. [23]

Ilustración 10 Variación de la forma de la cámara de ensayos de un túnel en función del número de Mach.



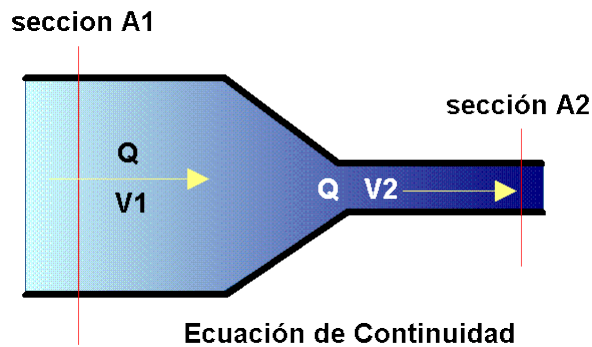
FUENTE: RUIZ, 2007

Recordemos entonces su consideración es basada en el principio de Mach y es el resultado entre la velocidad (v) de un móvil que se traslada en un fluido, y c es la velocidad local del sonido que en ese fluido. Como ya se había especificado, el control y manejo del flujo depende siempre de la velocidad y puede dirigirse en ciertos focos mediante la adaptación adecuada para direccionar al flujo. [24]

2.2.16. Ecuación de Continuidad.

La ecuación de la continuidad demuestra que la masa de cualquier elemento dentro de un sistema permanece constante en el tiempo. Son deducidas como fundamentos del flujo de fluidos, en consecuencia, puede plantarse bajo las condiciones de flujo permanente no permanente o si el flujo es o no compresible donde su peso específico y caudal permanecerán iguales en ambas secciones. [25]

Ilustración 11. Diagrama de Ecuación de Continuidad.

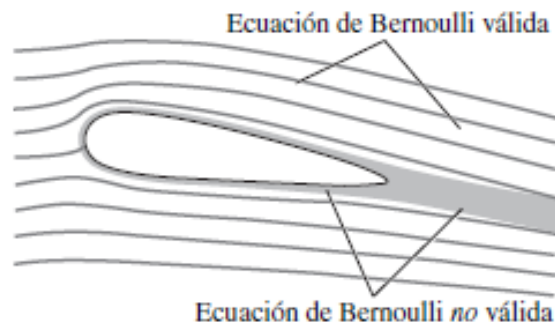


FUENTE: Editorial de construcción arquitectónica de la Universidad de las Palmas de Gran Canaria.

2.2.17. Ecuación de Bernoulli.

La ecuación de Bernoulli se presenta como una de las ecuaciones más importantes en la Dinámica de fluidos ya que es básicamente la demostración de la conservación de la energía mecánica, es decir, cinética, potencial y de flujo de fluidos, y a la par que la ecuación de la continuidad si hay un estrechamiento en el conducto por donde pasa el fluido, como en un túnel de viento, se incrementa la velocidad de circulación del fluido y disminuye en cambio la presión estática. Se considera que las fuerzas netas de fricción para realizar esta ecuación son despreciables y por lo tanto no se puede aplicar en todas las paredes y área del fluido, es mejor considerar las regiones no viscosas del flujo, tomando en cuenta que un fluido por ende siempre tiene viscosidad. [26]

Ilustración 12. Zonas de aplicación de Bernoulli



ELABORADO POR: Yunes A. Çengel

FUENTE: Mecánica de Fluidos, [2006].

Sin embargo, hay que considerar que bajo el criterio expuesto la ecuación de Bernoulli puede no aplicarse según los siguientes casos:

- Flujo Estacionario.
- Flujo sin fricción.
- “Destrucción” de las líneas de corriente o error de trabajo en la flecha.
- Flujo incompresible.
- Ninguna transferencia de calor.
- Flujo a lo largo de una línea de corriente.

Mediante estos parámetros de manejo de la fórmula se sabe si se puede aplicar o no. Considerando su aplicación en un túnel de viento puede ser probada sin dificultad siendo la región de menor viscosidad cerca de la zona de pruebas. [14]

2.2.18. Pérdidas en la sección de pruebas.

Como en todo elemento tiene que haber cierto grado de pérdidas. Corresponde a un buen manejo, control y medición ingenieril para que éstas sean consideradas como aceptables para cualquier producción. Bajo este término se pueden considerar pérdidas mayores y menores sin embargo las consideradas siempre será el límite superior.

2.2.19. Perfil

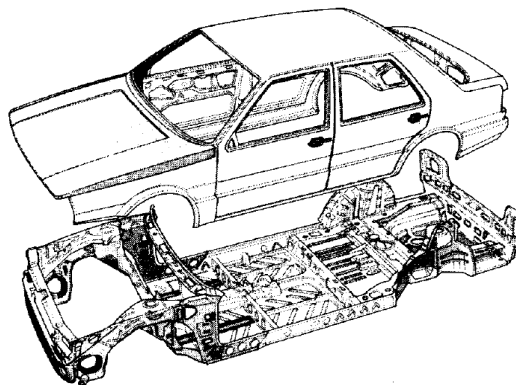
Según la Real Academia Española de la Lengua, el término perfil, direccionado a la ingeniería es el diseño especial de un objeto (sin considerar dimensión) para que cumpla una determinada función (ya sea como un elemento completo o una parte), o con carácter meramente ornamental. Como concepto geométrico es la figura que representa un cuerpo cortado real o imaginariamente por un plano vertical. [22]

En la Aerodinámica el perfil es un elemento que cumple con el criterio de la RAE, un elemento completo o parte de él que se quiere estudiar, ésta puede considerar sus dimensiones variables, el perfil es aplicado al contacto de varios fluidos que actúan directamente, es observar su comportamiento el objetivo de investigación. [22]

2.2.20. Automóvil

El automóvil puede ser descrito como un vehículo motorizado que recibe su nombre a partir de la capacidad de auto movimiento, es decir que no necesita la fuerza un animal para trasladarse de un lugar a otro. Se trata de un vehículo movido por un motor de explosión o de combustión interna que está especialmente destinado al transporte terrestre de personas. [30]

Ilustración 13. Carrocería de un vehículo



ELABORADO POR: Arias Paz

FUENTE: Manual De Automóviles, [2004]

2.2.21. Camioneta

Se considera entre varios tipos de vehículo a la camioneta bajo estos criterios:

La camioneta es un excelente vehículo de trabajo y óptimo para recreación especialmente para una familia, proporcionan un alto confort y gran espacio, más que otros vehículos de carga liviana.

Buena capacidad de carga, el balde de una camioneta puede ser usado para transporte de muebles pesados o un gran número de artículos. Buena aptitud de 4*4 lo que permite movilizarse con mayor destreza y rapidez en carreteras, caminos pedregosos, colinas y terrenos blandos y un gran confort de cambio de marcha. [31]

Como desventajas se considera:

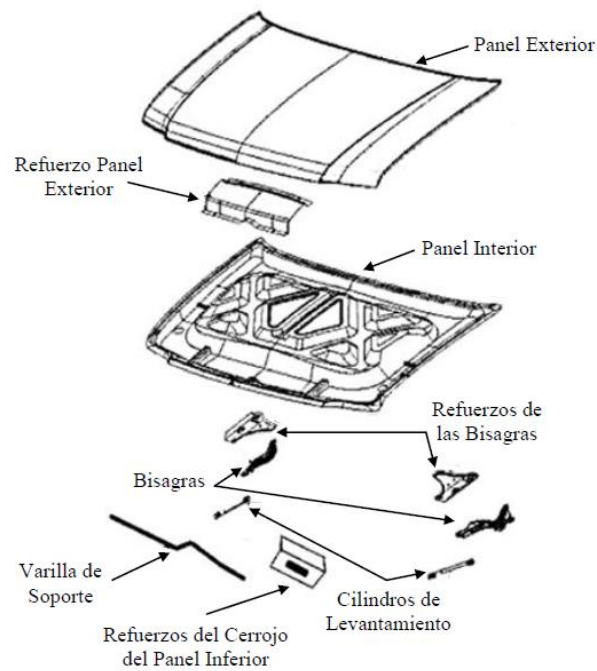
- ✓ Su larga distancia entre ejes, puede provocar golpes en la parte inferior de la camioneta.
- ✓ Su altura libre al suelo, a mayor altura menor estabilidad en los vehículos lo cual vuelve por consecuencia complicado de maniobrar.
- ✓ Su longitud ocasiona problemas de espacio en sectores urbanos, difícil encontrar lugares de parqueo.
- ✓ Por su tamaño y su relación peso-potencia consume mucho más combustible que un auto común, que en condiciones económicas actuales por elevados precios de combustible se considera una desventaja enorme.

Sin embargo, con lo anteriormente señalado, se considera que la estructura de su carrocería tiene que brindar estabilidad y aerodinamismo al momento de conducir, configuraciones que son implementadas y patentadas según cada industria automotriz. [31]

2.2.22. Capó

También conocido como cofre, es la cubierta con bisagras que cubre el motor de un automóvil y permite el acceso al motor para realizar mantenimiento y reparaciones. En vehículos de pasajeros es común que el cofre se conserve enganchado con y un seguro oculto. En asegurarse con pernos. [32]

Ilustración 14. Elementos que conforman un capó automotriz.



ELABORADO POR: Arias Paz

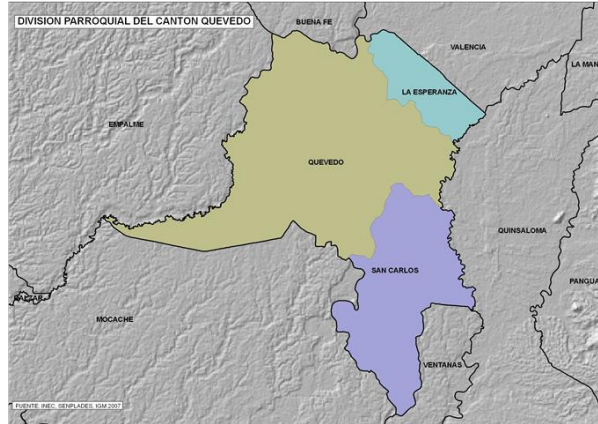
FUENTE: Manual De Automóviles, [2004].

CAPÍTULO III
MÉTODOLÓGICA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Localización.

El presente proyecto de investigación se localiza en la Universidad Técnica Estatal de Quevedo que se encuentra ubicada en la Av. Quito km. 1 1/2 vía a Santo Domingo de los Tsáchilas dentro del cantón Quevedo, provincia de Los Ríos.

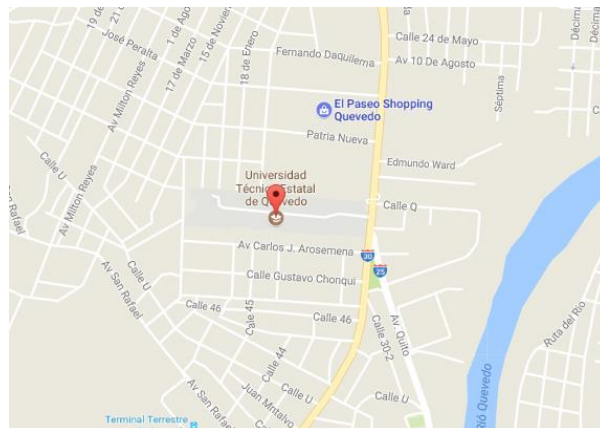
Ilustración 11. Cantón Quevedo y sus delimitaciones.



ELABORADO POR: Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo

FUENTE: INEN, SENPLADES, [2007].

Ilustración 12. Ubicación Universidad Técnica Estatal de Quevedo



ELABORADO POR: ALPHABET INC.

FUENTE: Google Maps, [2017]

Latitud: -1.012715,

Longitud: -79.469502

Altitud sobre el nivel del mar: 51m

3.2. Tipo de investigación.

3.2.1. Investigación exploratoria.

En el presente proyecto se aplica este tipo de investigación debido a que el tema no cuenta con antecedentes de estudios técnicos y por medio del cual se determinan los distinguidos elementos en la problemática y la importancia de dicha investigación, así como el bosquejo de una solución para la necesidad determinada de este proyecto.

3.3. Métodos de investigación.

3.3.1. Método analítico.

El desarrollo de este método se empleó para conocer más sobre el objeto de estudio y la problemática, mediante el análisis y simulación del funcionamiento del túnel de viento el cual consistió en una estricta examinación del funcionamiento para que el diseño cumpla con esta necesidad.

3.3.2. Método bibliográfico.

Se emplea para la recopilación de información diferentes fuentes bibliográficas como revistas, artículos científicos, libros sobre el funcionamiento que permiten resumir los datos y objetivar la investigación de acuerdo con el problema planteado.

3.4. Fuentes de recopilación de información.

Para el desarrollo de la investigación se obtuvo información por medio de fuentes primarias y secundarias, como libros, artículos científicos, revistas y mediante la observación directa del proceso de elaboración del producto, entre otros.

3.5. Diseño de la investigación.

3.5.1. Diseño experimental.

Para el desarrollo de este proyecto de investigación se estudia en la aerodinámica el efecto que produce el aire dentro del túnel de viento. El diseño se considera experimental puesto que se tiene que adaptar a las necesidades académicas de aprendizaje, el correcto funcionamiento del conjunto ensamblado es de utilidad para el estudio de tres perfiles de capós de camioneta seleccionados y uno desarrollado, cuya justificativa es que la herramienta logre ser implementada a futuro en la Universidad Técnica Estatal de Quevedo usando un software de diseño asistido por computador (CAD) Solidworks.

El software de diseño y simulación seleccionado es Solidworks, donde se analiza su estructura, componentes que van a soportar, y el estudio de perfiles a través del módulo de simulación de Flow Simulation, que es una extensión integrada del programa ya mencionado.

3.6. Instrumentos de investigación.

Para elaborar esta investigación se desarrollan procesos que tienen que ser guiados en torno a procedimientos empíricos para determinar los parámetros a los que se quiere llegar, es decir, seleccionar elementos que se adecuen al grado de implementación que se dispone y que se pueda ubicar sin dificultades en la ubicación expuesta en la problemática mediante el análisis, recopilación y estudio de documentos y datos.

3.7. Tratamiento de los datos.

Los datos fueron tratados como redacción e imagen en resultados y como informe de iteraciones de los procesos de simulación del túnel de viento, de los tres perfiles seleccionados y del perfil innovador diseñado todos estos desarrollados en el programa Solidworks.

3.8. Recursos humanos y materiales.

3.8.1. Recurso humano.

- ✓ Docentes
 - FCI de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo
- ✓ Autores
 - Zambrano Cruz Jorge Giancarlos
 - Bustillos Hidalgo Boris Alfonso
- ✓ Director
 - Ing. Guadalupe Almeida Jorge Luis Msc.

3.8.2. Recursos materiales.

Tabla 6. Requerimientos De Hardware

Cantidad	Equipo	Características
2	Computadora Portátil	Intel® Core™ i7-7500U CPU @ Processor 8GB RAM
1	Impresora	CANON MP280 Sistema de tinta continua
1	Memoria USB	ADATA USB Flash Drive Capacidad 32GB

FUENTE: Autores [2017].

Materiales (software).

Tabla 7. Requerimientos De Software

Tipo	Descripción
Software Utilitario	Microsoft Office 2016 <ul style="list-style-type: none">• Word• Excel• PowerPoint
Software de Diseño	Solidworks 3D (CAD) 2016 (Versión estudiantil)

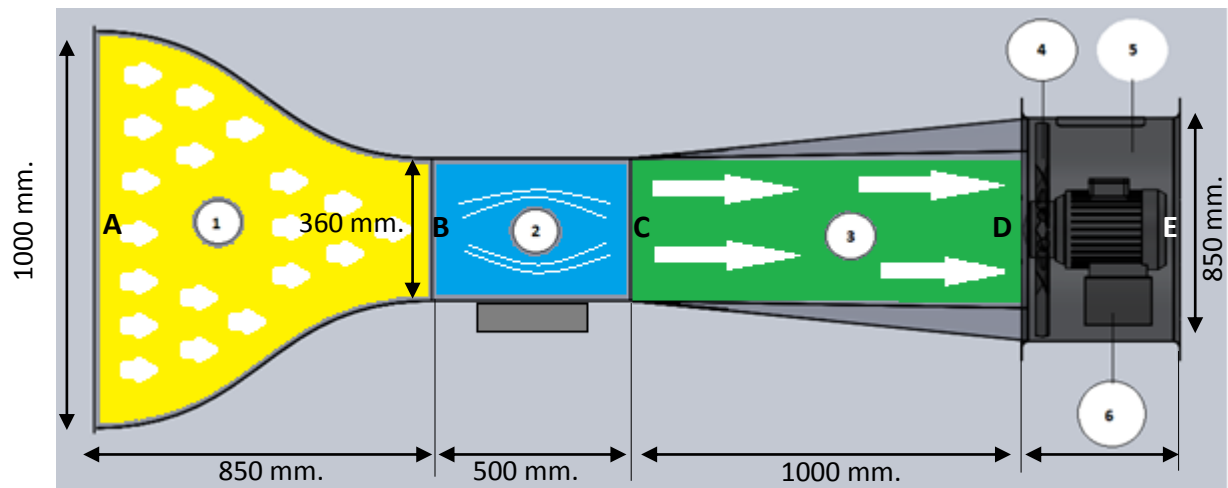
FUENTE: Autores [2017].

CAPÍTULO IV
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Ilustración y componentes del Túnel de Viento.

Determinar el túnel de viento es muy importante ya que tanto su tamaño como componentes varían según su uso, en el presente proyecto de investigación se direcciona el diseño del túnel como un elemento académico universitario cuyas partes serán enumeradas y justificadas a continuación.

Ilustración 15. Túnel de Viento según sección



ELABORADO POR: Autores [2017].

Tabla 8. Proceso de funcionamiento de un Túnel de Viento.

Número de Elemento	Descripción	Proceso
1	Sección de Contracción	Ingresa el flujo a cierta velocidad desde las rejillas hacia el cono de contracción. A→B
2	Sección de área de pruebas o Cámara de ensayos.	El flujo controlado pasa e impacta el objeto o perfil fijo estudiado por los sensores. B→C
3	Difusor.	Pasa a reducir y regular la velocidad en que se expande el flujo saliendo de la sección de pruebas. C→D
4	Ventilador.	Expulsa el flujo de fluido extraído. D→E

FUENTE: Autores [2017].

4.2. Dimensionamiento y Rendimiento de Prueba.

El túnel ya seleccionado se debe de verificar que sus componentes estén acorde a las condiciones de diseño e ingeniería a la que tiene que estar especificado, determinando por consiguiente que su dirección es para estudio académico.

4.2.1 Consideraciones del diseño.

Se procede a analizar cada uno de los elementos poniendo atención en la geometría para dimensionarlos correctamente y así alcanzar los objetivos propuestos, considerando su uso y funcionalidad.

4.2.1.1 Diseño de la Sección de pruebas

Esta sección es una cámara donde se realizan observaciones y mediciones, su tamaño y forma son en gran parte determinados por los requisitos de prueba.

Pondremos las dimensiones que posteriormente deberán ir variando hasta alcanzar las más adecuadas para el resultado final.

Dimensiones propuestas

Velocidad (v)= 25 m/s = 90 km/h

Altura (a)= 400 mm

Ancho (b)= 400 mm

Sección rectangular = 0.16 m²

Para los cálculos, es necesario conocer las propiedades termodinámicas de la zona en la que se utiliza el túnel. Se determina que dicho túnel podría trabajar en la ciudad de Quevedo que se encuentra ubicada a 90 msnm, con este dato podemos obtener los demás datos necesarios tanto experimentalmente o por medio de consulta de datos tabulados.

Al realizar la búsqueda en datos tabulados se obtiene la siguiente información que es solo una aproximación de los datos necesarios, debido a que no existe una información exacta

con respecto a la altura de 90 msnm es necesario interpolar para determinar los datos faltantes.

En la tabla 9 se muestran los datos tabulados e interpolados para la altura de 90msnm.

Tabla 9. Propiedades termodinámicas del aire en Quevedo.

Altura [msnm]	Presión [kPa]	Densidad [kg/m³]	Velocidad del sonido [kg/m³]	Viscosidad dinámica [kg/m· s]
0	101,33	1,225	340,3	$1,789 \times 10^{-5}$
90*	100,20	1,215	339,94	$1,786 \times 10^{-5}$
200	98,95	1,202	339,5	$1,777 \times 10^{-5}$

(*) Datos obtenidos a través de interpolación.

ELABORADO POR: Yunus A. Cengel, [2006].

FUENTE: Termodinámica

Como resumen las propiedades son:

Altitud de Quevedo = 90 msnm

Presión = 100,20 [kPa]

Densidad = 1,215 [kg/m³]

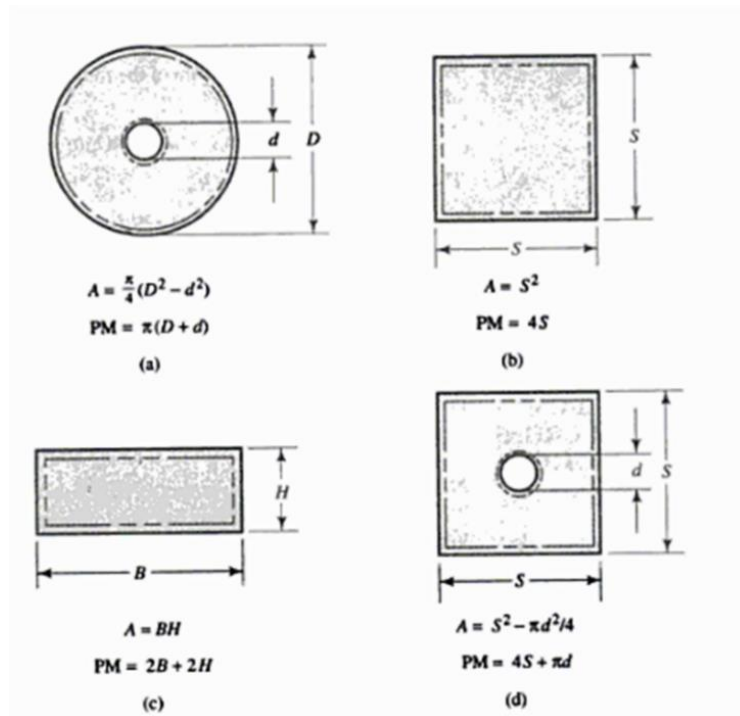
Viscosidad dinámica = 1.786×10^{-5} [kg/m· s]

Estos datos son la base para todos los cálculos, debido a que no es lo mismo diseñar para una ciudad que se encuentra a 0msnm y una que se encuentra a 200msnm, esta altura hace que los demás datos varíen y como resultado final los datos no podrían ser favorables para el túnel si este llegara a trabajar en un lugar para el que no fue diseñado.

4.2.1.2. Determinación del tipo de flujo

Mediante la ecuación del número de Reynolds se puede determinar qué tipo de flujo se obtendrá al hacer fluir el aire a través de una sección cerrada. Debido a que el diseño que se está planteando es una sección no circular es necesario hacer una aproximación al diámetro hidráulico utilizando las fórmulas de la Ilustración 16 para de esta manera poder aplicar la ecuación 4 (número de Reynolds).

Ilustración 16. Cálculo de secciones transversales y Perímetro mojado.



ELABORADO POR: Mott Robert.

FUENTE: Mecánica Fluidos Aplicada, [2006]

La sección de pruebas deberá contar con una sección de 400mm x 400mm, esto indica que se debe utilizar las ecuaciones de la Ilustración 16.

Área transversal:

Ec. 1. [22] .

$$A = s^2$$

s= lado del cuadrado

$$A = (0,4m)^2$$

$$A = 0,16[m^2]$$

Esta será el área por donde se hará circular el aire con la velocidad necesaria pruebas.

Perímetro mojado:

Ec. 2. [22]

$$PM = 4s$$

$$PM = 4(0,4m)$$

$$PM = 1,6[m]$$

Este dato y área transversal encontrados serán utilizados para encontrar el diámetro hidráulico.

Diámetro Hidráulico:

Ec. 3 [22]

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

$$D_h = 0,4[m]$$

Finalmente tenemos que el diámetro hidráulico es de 0,4m el mismo que se reemplaza en la ecuación 4. para determinar el número Re.

Número de Reynolds:

Ec. 4. [22]

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

$\rho = 1,215 \text{ Kg}/\text{m}^3$ densidad del aire en Quevedo

$\mu = 1,786 \times 10^{-5} \text{ Kg}/\text{m} \cdot \text{s}$ viscosidad del aire en Quevedo

$$Re = \frac{25 \text{ m}/\text{s} \cdot (0,4\text{m}) \cdot 1,215 \text{ kg}/\text{m}^3}{1,786 \times 10^{-5} \text{ kg}/\text{m} \cdot \text{s}} \Rightarrow Re = 680291,15$$

El número de Reynolds para la sección de pruebas es 680291,15 y con este valor se determina el flujo que se va a tener dentro de la cámara de pruebas.

Cálculo del Caudal necesario

El caudal es uno de los parámetros importantes dentro del diseño del túnel, siendo uno de los primeros parámetros que determinan el tipo de ventilador a utilizar, también se determinan las velocidades en cada sección y otros datos como las pérdidas y presiones.

El caudal se expresa en la ecuación 5.

Ec. 5. [21].

$$Q = v \cdot A$$

$$Q = 25 \text{ (m/s)} \cdot 0,16 \text{ (m)}^2$$

$$Q = 4 \text{ [m}^3\text{/s]}$$

El resultado será el caudal de aire necesario que debe fluir dentro de la sección de pruebas para poder alcanzar la velocidad máxima necesaria.

Debemos también calcular el flujo másico para luego utilizar la ecuación de la continuidad entre las secciones que en conjunto con la ecuación de Bernoulli se determinan las presiones y velocidades.

Ec. 6. [22]

$$\dot{m} = \rho \cdot Q$$

$$\dot{m} = 1,215 \text{ [kg/m}^3\text{]} \cdot 4 \text{ [m}^3\text{/s]}$$

$$\dot{m} = 4,86 \text{ [kg/s]}$$

El cálculo del flujo másico es de 4,86 kg/s, que es la cantidad de aire que debe circular por la sección para alcanzar la velocidad planteada.

4.2.1.3. Análisis dimensional del flujo de aire en el túnel

Con este análisis dimensional, se calculan las pérdidas de presión que se tiene en las secciones del túnel. Estas pérdidas se determinan a partir de coeficientes obtenidos por tablas o gráficas. La manera de fijar dichos coeficientes es de acuerdo a la geometría o la longitud del componente de sección uniforme.

Considerando la propuesta de diseño se debe calcular la pérdida mayor que corresponde a los componentes de sección recta del túnel que es la cámara de pruebas y las pérdidas menores que pertenecen a los componentes de sección variables que son la contracción y difusor.

4.2.1.4. Pérdidas en la sección de pruebas.

Las pérdidas mayores se determinan con la ecuación 7, la cual es utilizada para conductos de secciones circulares constantes donde utiliza el diámetro, como en este caso es un conducto de sección no circular el diámetro será reemplazado por el diámetro hidráulico al igual que se hizo con el número de Reynolds.

Ec. 7.[22]

$$h_{L\text{ mayor}} = f \frac{LV^2}{D_h 2g}$$

$f \Rightarrow$ Factor de fricción

$V^2 \Rightarrow$ Velocidad en la sección de pruebas

$g \Rightarrow$ Gravedad

$D_h \Rightarrow$ Diámetro hidráulico en la sección de pruebas

$L \Rightarrow$ Longitud del conducto

Para determinar el término f deberemos utilizar la ecuación de Colebrook o el diagrama de Moody.

Ecuación de Colebrook:

Ec. 8. [22]

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{\epsilon/D_h}{3,7} + \frac{2,51}{Re\sqrt{f_n}} \right)$$

Para cualquiera de los dos casos, se necesita conocer la rugosidad equivalente del material a utilizar. Debido a que la cámara de pruebas deberá ser de vidrio o plástico, en lo general el túnel deberá tener una rugosidad equivalente baja para así amenorar las pérdidas por fricción.

La tabla 10 indica las rugosidades equivalentes de algunos materiales

Tabla 10. Rugosidad equivalente para conductos nuevos.

Rugosidad Equivalente ϵ	
Conducto	Milímetros
Acero de remaches	0.9 – 9.0
Concreto	0.3 – 3.0
Tubería de madera	0.18 – 0.9
Hierro fundido	0.26
Hierro galvanizado	0.15
Acero comercial o hierro forjado	0.015
Conducto estirado	0.0015
Plástico, Vidrio	0.0 (liso)

ELABORADO POR: Mott Robert.

FUENTE: Mecánica fluidos aplicada., [2006].

La rugosidad equivalente para el vidrio es de cero teóricamente, como no es recomendable despreciar la rugosidad para realizar estos cálculos tomaremos el dato del material de conducto estirado que tendrá una rugosidad de 0,0015mm. Utilizaremos los dos métodos para encontrar el factor de fricción debido a que para las iteraciones es necesario partir de un valor inicial hasta llegar a uno más próximo.

En el anexo 9 se tiene el diagrama de Moody. Se puede observar una doble dependencia de f con Re y ϵ/D , los mismos que tienen los valores de $Re = 6,80 \times 10^5$ y $\epsilon/D_h = (0,0015 \times 10^{-3}) / (0,4)$ que da como resultado $0,00375 \times 10^{-3}$ al aproximarlos al diagrama de Moddy obtendremos el primer valor de f .

El factor de fricción apreciado es de aproximadamente de 0,13 vemos que el valor superior es de 0,015, por lo que tomaremos ese valor como f_n para dar inicio a la iteración con la ecuación de Colebrook hasta que la diferencia entre los valores iterados nos de uno que cumpla con la condición de ser $<0,001$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \cdot \left(\frac{0,0015 \times 10^{-3} / 0,4}{3,7} + \frac{2,51}{6,80 \times 10^5 \cdot \sqrt{0,015}} \right)$$

Reemplazando el valor de 0,015 en f_n , encuentra que el nuevo valor de f es de 0,0123 la diferencia es:

Ec. 9. [22]

$$f - f_n = 0,015 - 0,0123 = 0,003 > 0,001$$

El resultado es mayor a 0.001, esto indica que se requiere de una segunda iteración para obtener un valor menor a 0.001

Al reemplazar f_n con el nuevo valor de f se obtiene otro valor de 0,0144.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \cdot \left(\frac{0,0015 \times 10^{-3} / 0,4}{3,7} + \frac{2,51}{6,80 \times 10^5 \cdot \sqrt{0,003}} \right)$$

Se realizan nuevamente la diferencia entre los valores.

$$f - f_n = 0,003 - 0,0144 = -0,01 < 0,001$$

Se obtiene una respuesta de valor negativo por lo tanto es menor que 0,001, es decir que el nuevo $f=0,0144$ cumple con la condición y con este valor se pueden calcular las pérdidas mayores.

$$h_{L \text{ mayor}} = f \frac{LV^2}{D_h 2g} = 0,0144 \cdot \left(\frac{0,5 \text{ m}}{0,4 \text{ m}} \right) \cdot \left(\frac{(25 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,81 \text{ m/s}^2} \right)$$

$$h_{L \text{ mayor}} = 0,573 \text{ [m]}$$

El resultado obtenido de las pérdidas es 0,573 m. Este valor indica que las pérdidas no son demasiadas altas.

4.2.1.5. Sección de contracción

Esta sección cumple con dos funciones importantes dentro del túnel, la primera es la de estabilizar el flujo de aire que ingresa y la segunda incrementar la velocidad del flujo que va a pasar por la cámara de pruebas.

La sección de contracción es una tobera que tiene dos propiedades la primera es incrementar la velocidad con respecto a la entrada, pero a la vez reduciendo la presión en el mismo punto, al existir una variación en la presión se considera que existe una variación en la densidad ley que se cumple en los flujos compresibles. Al variar la densidad es necesario determinarla para poder aplicar la ecuación de Bernoulli y poder continuar con los cálculos.

Si en la presión no existe una gran variación se puede considerar entonces que en densidad no tendrá una variación significativa por lo que se podría tomar al aire como un flujo incompresible para esto se necesita demostrar mediante alguna ley o ecuación teórica.

Para poder determinar si en estas en condiciones se puede considerar el aire como un flujo incompresible se tiene que calcular el número de Mach con la ecuación 10 cuyo valor debe ser menor a 0,3 si cumple con esta condición se puede considerar la densidad del aire como constante en todos los puntos del túnel y continuar con los cálculos.

Número de Mach:

Ec. 10. [25]

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

$M \Rightarrow$ Número de Mach

$v \Rightarrow$ Velocidad propuesta en la sección de pruebas

$vs \Rightarrow$ Velocidad del sonido

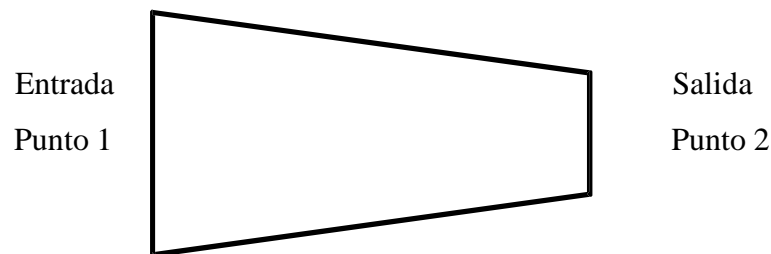
$$M = \frac{25 \text{ m/s}}{339,9 \text{ m/s}}$$

$$M = 0,074 < 0,3 \text{ Flujo incompresible}$$

El resultado es menor a 0,3 lo cual indica que se puede tratar con un flujo incompresible, se considera una densidad constante en todos los puntos.

Para realizar los cálculos de la contracción, nuevamente se imponen las dimensiones de entrada y se calculan los demás datos.

Ilustración 17. Esquema de la sección de contracción



ELABORADO POR: Autores, [2017].

Velocidad de salida (v_2) $\Rightarrow 25 \text{ m/s}$

Área de entrada (A_1) $\Rightarrow 1 \text{ m}^2$

Área de salida (A_2) $\Rightarrow 0,16 \text{ m}^2$

Densidad (ρ) $\Rightarrow 1,215 \text{ kg/m}^3$

Presión atmosférica (P_1) $\Rightarrow 10020 \text{ [Pa]}$

Cálculo de la velocidad de entrada de la contracción.

Se conoce que el flujo másico en un conducto en teoría será constante. Por lo que se debe cumplir la ecuación de continuidad.

Ec. de continuidad.

Ec. 11 [22]

$$\dot{m} = \dot{m}_0 = \dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dots = \dot{m}_n$$

Como se observa anteriormente en la ecuación 5, el caudal se determina a través del producto de la velocidad y el área transversal de la sección, por lo tanto, para que se cumpla la ecuación de la continuidad a través de todas las áreas transversales, la velocidad deberá reducirse o incrementarse de forma inversamente proporcional a la sección transversal. De esta forma se puede explicar por qué en una tobera convergente la velocidad se incrementa al reducir su área, a su entrada la velocidad es menor por ser un área mayor según ecuación 11.

$$\rho_1 \cdot v_1 \cdot A_1 = \rho_2 \cdot v_2 \cdot A_2$$

Se obtiene el dato de la velocidad y área en el punto dos porque es la misma área de la sección de pruebas, el área de ingreso esta la se la conoce que es la que se impuso, y por medio del cálculo del número de mach se demostró que se puede suponer que la densidad será igual en todos los puntos al tratarse al aire como un flujo incompresible lo que permite tomar la ecuación 12 y simplificarla para quedar de la forma que se tiene la ecuación 13.

$$\therefore v_1 \cdot A_1 = v_2 \cdot A_2$$

Remplazamos los datos y al despejar tenemos que:

$$v_1 \cdot 1m^2 = (25 \text{ m/s}) \cdot (0,16 \text{ m}^2)$$

$$v_1 = \frac{(25 \text{ m/s}) \cdot (0,16 \text{ m}^2)}{1 \text{ m}^2}$$

$$v_1 = 4 \text{ [m/s]}$$

Es un resultado que se esperaba debido a la afirmación realizada anteriormente, si esta velocidad se la multiplicada por el área transversal de la entrada nos dará, el mismo caudal que se calculó para la sección de pruebas.

4.2.1.6. Cálculo de presiones de la contracción

Para determinar las presiones entre la entrada y la salida de esta sección, debemos acudir a la ecuación de Bernoulli que se indica a continuación.

Ecuación de Bernoulli.

Ec. 12. [22]

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho \cdot v_1^2 + \gamma \cdot z_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho \cdot v_2^2 + \gamma \cdot z_2$$

Esta es una de las ecuaciones más conocidas e importantes en mecánica de fluidos, ayudando a resolver una gran cantidad de problemas que se encuentran presente en la vida real, para poder aplicarla debemos cumplir con dos condiciones que son: el flujo que debe ser de régimen estacionario e incompresible.

El diseño propuesto es de un túnel de viento de flujo de aire horizontal, este deberá estar completamente nivelado para realizar las pruebas, en la ecuación 12 se ve el término $\gamma \cdot z$ que se refiere a la energía potencial que es generada al tener diferencia de altura, Pero al ser la altura $z_1 = z_2$ por ser un túnel de flujo de aire horizontal se eliminan estos términos simplificando la ecuación y quedando de la siguiente manera:

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho \cdot v_1^2 = P_2 + \frac{1}{2}\rho \cdot v_2^2$$

La mayoría de los datos necesarios en la ecuación son conocidos, es decir las velocidades, densidades y la presión P_1 que es la atmosférica, el valor que se busca es P_2 que es la presión a la salida de la contracción. Se reemplazan los datos y se despeja el valor que interesa encontrar:

$$100200 \text{ Pa} + \frac{1}{2}(1,215 \text{ kg/m}^3) \cdot (4 \text{ m/s})^2 = P_2 + \frac{1}{2}(1,215 \text{ kg/m}^3) \cdot (25 \text{ m/s})^2$$

$$P_2 = \left[100200 \text{ Pa} + \frac{1}{2}(1,215 \text{ kg/m}^3) \cdot (4 \text{ m/s})^2 \right] - \left[\frac{1}{2}(1,215 \text{ kg/m}^3) \cdot (25 \text{ m/s})^2 \right]$$

$$P_2 = 99830,03 \text{ [Pa]}$$

Una vez más se hace la diferencia entre las presiones para comprobar que los cálculos concuerdan con la teoría.

$$\Delta P = P_1 - P_2 = 100200 [Pa] - 99830,03 [Pa] = 369,97 [Pa] = 0,370 [kPa]$$

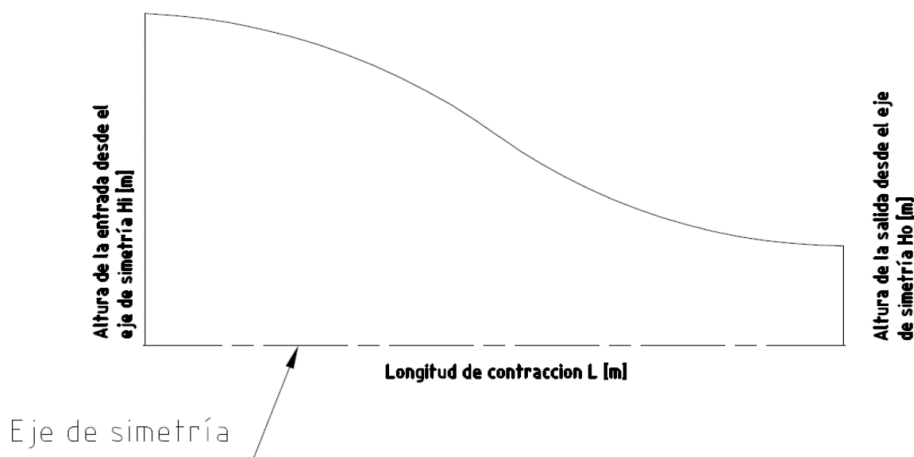
Se puede observar que la presión P2 ha disminuido y la diferencia entre ambas presiones es de 0,370 kPa, cumpliéndose de esta manera los cálculos con la teoría que decía: cuando se reduce un área transversal se incrementa la velocidad, pero se pierde presión. Estos resultados indican que el dimensionamiento y la aplicación de ecuaciones van un por buen trayecto.

4.2.1.7. Diseño de la geometría de la contracción

El diseño de esta sección no es menos importante que las demás, de este depende un adecuado de flujo de aire para reducir las turbulencias y también las pérdidas.

Para comenzar se partirá de una geometría obtenida a partir de una ecuación polinómica de quinto orden, la que sugiere que el radio de curvatura a la salida sea mayor que a la entrada. Las cotas y la forma de la sección de pruebas se muestran en la Ilustración 18.

Ilustración 18. Cotas y sección de pruebas



ELABORADO POR: Mott Robert.

FUENTE: Mecánica fluidos aplicada, [2006].

La siguiente ecuación es la que se va a utilizar para obtener la curva que una vez generada, se tendrán que evaluar las pérdidas que provoca la geometría y si resulta ser factible se abra terminado con el diseño, de lo contrario es necesario redimensionarlo hasta conseguir un resultado satisfactorio.

Ec. 13. [14]

$$h = [-10(\xi)^3 + 15(\xi)^4 - 6(\xi)^5](H_i - H_o) + H_i$$

$$\xi = \frac{x}{L}$$

Donde:

$\xi \Rightarrow$ Razón de longitud

$x \Rightarrow$ Longitud de la contracción parcializada en pequeños tramos (m)

$L \Rightarrow$ Longitud de la contracción (m)

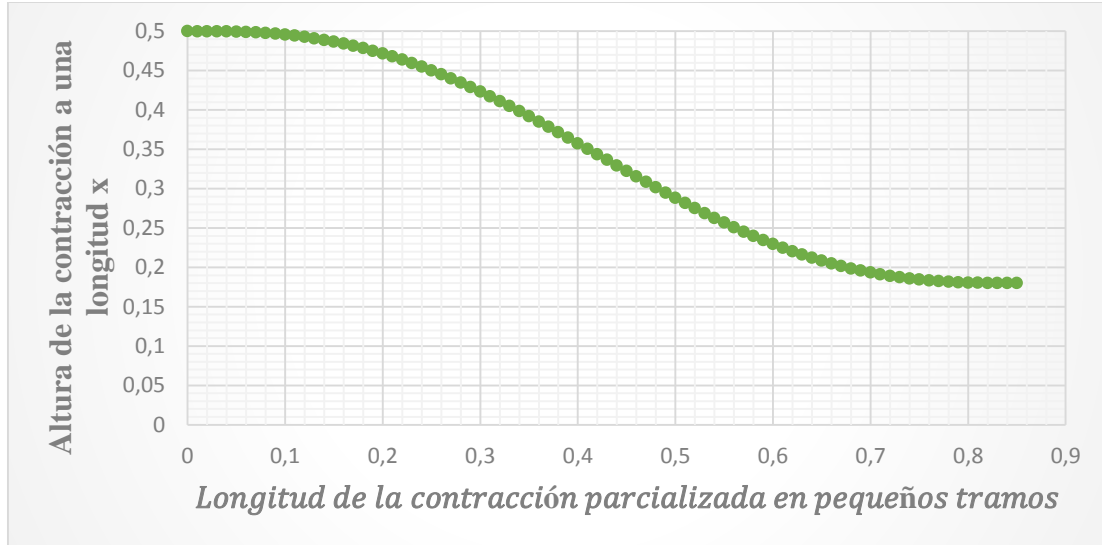
$H_i \Rightarrow$ Altura de la contracción en la entrada de aire a partir del eje de simetría (m)

$H_o \Rightarrow$ Altura de la contracción en la salida de aire a partir delo eje de simetría (m)

$h \Rightarrow$ Altura de la contracción a una longitud “x” (m)

Al introducir valores en la ecuacion 13 se va a generar la grafica del perfil de la sección de contracción que se presenta en la tabla 11, para estos resultados se va realizar el cálculo de las pérdidas, de este manera se podra determinar la factibilidad del diseño en cuestión.

Tabla 11. Perfil lateral de la sección de contracción.



FUENTE: Autores [2017].

Cálculo de la pérdida de la contracción:

La forma más sencilla de determinar las pérdidas de esta sección, es el uso de diferentes tablas que existen en textos de mecánica de fluidos al tratar de temas de conductos. Es necesario determinar una relación entre el radio de contracción r y el diámetro final al que se reducirá vendría a ser D_h .

Al realizar la división del r/D_h tenemos un valor próximo a 0,8, el libro de mecánica de fluidos de Mott indica que si este cálculo da un valor mayor a 0,15 se debe tomar un coeficiente de pérdida de 0,04 ya que este resultado refleja es que una contracción redondeada y existe una pérdida de energía mínima.

Tabla 12. Tabla de pérdidas para tuberías en contracción.

r/D_2	K
0	0.50
0.02	0.28
0.04	0.24
0.06	0.15
0.10	0.09
>0.15	0.04 (Bien redondeada)

ELABORADO POR: Mott Robert.

FUENTE: Mecánica fluidos aplicada, [2006].

$$hf = k_c \frac{v^2}{2g}$$

donde:

$k_c \Rightarrow$ Coeficiente de pérdidas de contracción

$v^2 \Rightarrow$ Velocidad a la salida de la sección de contracción

$g \Rightarrow$ Gravedad

Si se tiene la geometría prediseñada de la sección de contracción, se hace la relación entre el dato de r que es de 1000 mm y valor calculado de D_h que es de 400 mm, este resultado encontrado es de 2,5, Se ubica este valor en la tabla 8 trazando una recta vertical hasta el punto de intersección con la curva obteniendo de esta manera el valor del coeficiente a encontrar.

$$hf = k_c \frac{v^2}{2g}$$

$$hf = 0,022 \frac{(25 \text{ m/s})^2}{2(9,81 \text{ m/s}^2)}$$

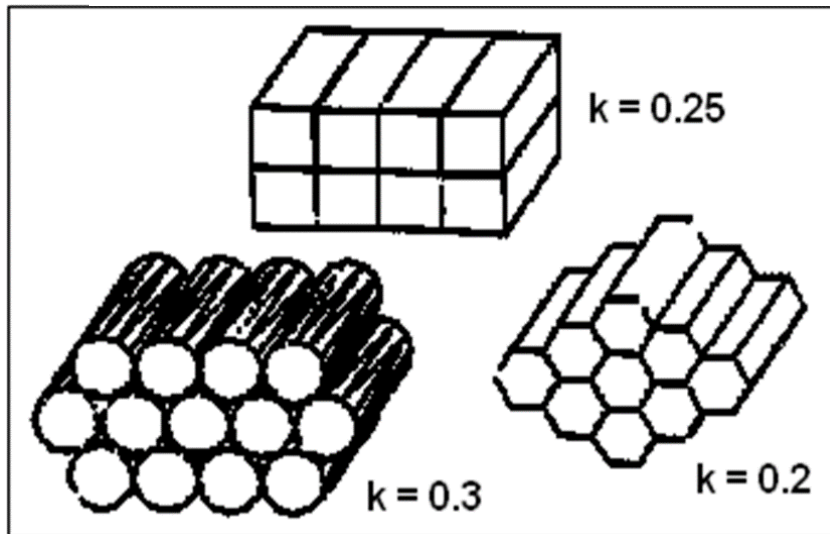
$$hf = 0,701 \text{ [m]}$$

4.2.1.8. Direccionador de flujo

Este es un dispositivo que debe ir ubicado al inicio del túnel, este se encarga de rectificar el flujo de aire que ingresa al túnel. Se tienen varias opciones para su geometría, estos son el cuadrado, hexagonal y circular como se puede observar en la Ilustración 19 y debería ir preparado en forma de panel, sin embargo, para este proyecto se escoge un direccionador de flujo circular que se justifica por su facilidad de adquisición. Para hacer la selección se deberá considerar las pérdidas que cada uno de estos induce y en la complejidad de construcción.

4.2.1.9. Cálculo de pérdidas.

Ilustración 19. Direccionadores de flujo



ELABORADO POR: Mott Robert.

FUENTE: Mecánica fluidos aplicada, [2006].

En la ilustración 19 se puede observar que cada tipo de malla tiene un coeficiente de pérdida, de acuerdo al valor del coeficiente el más conveniente sería el hexagonal, pero si se toma en cuenta la construcción resultaría más conveniente el circular, aunque su coeficiente sea mayor.

De igual manera, se deben considerar las pérdidas que genera el direccionador de flujo con la ecuación 14 que es la misma que se utilizó anteriormente en el cálculo de pérdidas en la sección de pruebas.

$$hf = k_{df} \frac{V^2}{2g}$$

donde:

k_{df} \Rightarrow Coeficiente de pérdidas del direccionar de flujo

V^2 \Rightarrow Velocidad a la salida de la sección de contracción

g \Rightarrow gravedad

$$hf = 0,3 \frac{(4 \text{ m/s})^2}{2(9,81 \text{ m/s}^2)}$$

$$hf = 0,245 \text{ [m]}$$

El resultado de las pérdidas comparada con las pérdidas de la contracción da un valor menor.

4.2.1.10. Difusor.

Esta sección tiene como objetivo reducir la velocidad del flujo de aire que sale del túnel expulsándolo lentamente.

La manera más sencilla y adecuada de disminuir la velocidad es con una expansión para así reducir las pérdidas y evitar la turbulencia en esta sección, manteniendo así la el flujo uniforme dentro del túnel.

Cálculo del difusor

Para el dimensionamiento del difusor existen tablas adquiridas de manera experimental que también son utilizadas para otros elementos.

Para esto se debe calcular el ángulo de apertura del difusor, el cual debe estar en función de la relación de áreas con este resultado obtener el coeficiente de pérdida que dará el cálculo de la pérdida total de carga.

La relación de áreas mencionada anteriormente se da entre el área de salida del difusor y el área de entrada del difusor que esta vendría ser el área de salida de la sección de entrada.

Relación de áreas

Ec. 15. [33]

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

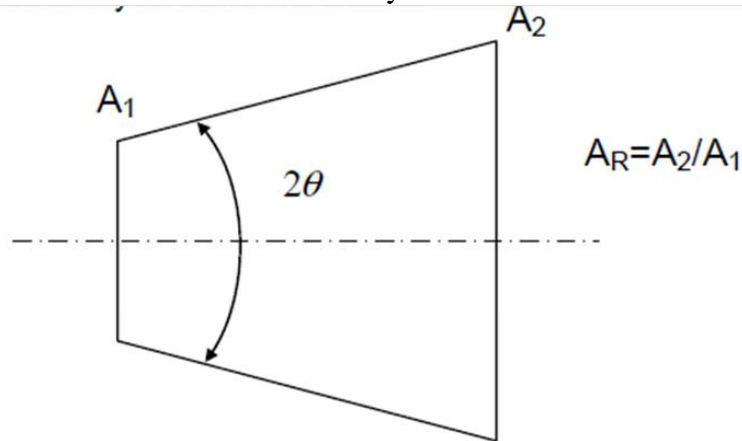
donde:

$A_2 \Rightarrow$ Área de salida del difusor (m)

$A_1 \Rightarrow$ Área de entrada del difusor (m)

Se conoce el A_1 y es necesario imponer un A_2 que después será modificado cuando se tenga el dato exacto del diámetro del ventilador conveniente para el diseño.

Ilustración 20. Geometría y notación del difusor



FUENTE: Munson [1999]

Con un área 1 de $0,16 \text{ m}^2$ conocidas y un radio impuesto de 250 mm tenemos un área 2 de $0,2 \text{ m}^2$ donde continúa como:

$$A_R = \frac{0,2}{0,16}$$

$$A_R = 1,25$$

A través de esta relación de área se puede obtener el ángulo de apertura del difusor mediante la utilización de la ecuación siguiente:

Ec. 16. [14]

$$\theta = \arctan\left(\frac{R_2 - R_1}{L}\right) = \arctan\left(\frac{1}{2} \frac{\sqrt{A_R - 1}}{\frac{L}{D_h}}\right)$$

donde:

$R_2 \Rightarrow$ Radio hidráulico de la sección final (m)

$R_1 \Rightarrow$ Radio de la sección inicial (m)

$A_R \Rightarrow$ Relación de áreas

$L \Rightarrow$ Longitud del difusor (1000 mm)

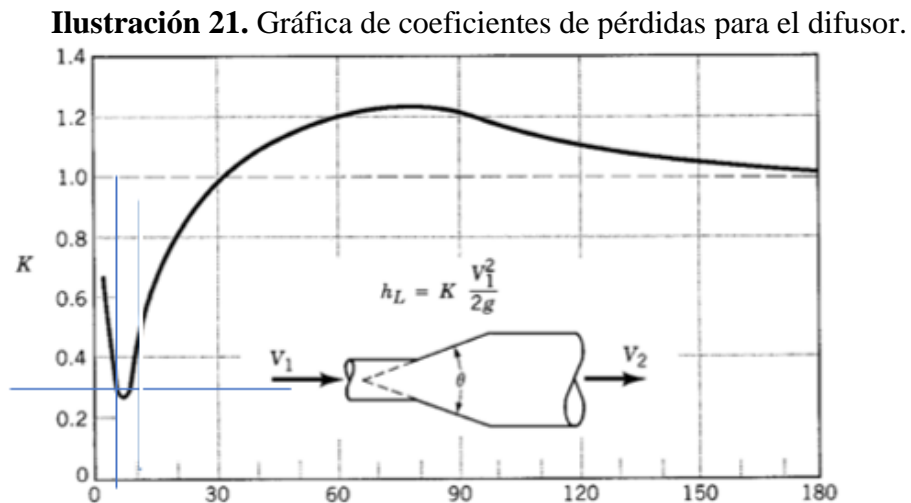
$D_h \Rightarrow$ Diámetro hidráulico

Otro dato que debe ser impuesto para seguir con este cálculo es la longitud del difusor que será de 1000 mm.

$$\theta = \arctan\left(\frac{1}{2} \frac{\sqrt{1,225 - 1}}{\frac{1000}{400}}\right)$$

$$\theta = 5,41^\circ$$

En la Ilustración 21 tenemos la tabla de valores donde se puede obtener el coeficiente de pérdidas en función del ángulo de apertura calculado.



FUENTE: Bruce r. Munson [1999]

Una vez ubicado el coeficiente en la gráfica que es de 0,28 aproximadamente se procede a calcular las pérdidas con la ecuación de pérdidas menores de flujo.

Cálculo de pérdidas del difusor

Ec. 17. [22]

$$h_L = k_L \frac{V_3^2}{2g}$$

donde:

$k_L \Rightarrow$ Coeficiente de pérdidas

$V_3^2 \Rightarrow$ Velocidad a la salida del difusor

$g \Rightarrow$ gravedad

$$h_L = 0,28 \frac{V_3^2}{2g}$$

La velocidad de salida del difusor es la incógnita la misma que se puede calcular con los caudales los cuales deben ser los mismos a lo largo de todo el túnel o también pueden ser calculados con la ecuación de continuidad.

Velocidad a la salida del difusor

Ec. 18. [14]

$$V_{dif} = V_{secc\ pr} \cdot \frac{A_2}{A_3}$$

donde:

$A_3 \Rightarrow$ Área de salida del difusor

$A_2 \Rightarrow$ Área de salida sección de pruebas

$V_{dif} \Rightarrow$ Velocidad del difusor

$V_{secc\ pr} \Rightarrow$ Velocidad de la sección de pruebas

Al hacer el respectivo reemplazo de unidades tenemos que:

$$V_{dif} = (25\ m/s) \cdot \frac{0,16\ m^2}{0,2\ m^2}$$

$$V_{dif} = 20\ m/s$$

Para finalizar se calcula la presión a la salida del difusor conociendo la presión de entrada que no es más que la presión de salida de la sección de pruebas, este cálculo se lo empieza a realizar con la utilización de la ecuación 12

Ecuación de Bernoulli

$$P_2 + \frac{1}{2} \rho \cdot v_2^2 + \gamma \cdot z_2 = P_3 + \frac{1}{2} \rho \cdot v_3^2 + \gamma \cdot z_3$$

Como ya se dijo anteriormente el peso específico, la altura y la densidad no varían por lo que la ecuación se simplifica y se despeja la incógnita a obtener.

$$P_2 + \frac{1}{2} \cdot v_2^2 = P_3 + \frac{1}{2} \cdot v_3^2$$

Ecuación de Bernoulli simplificada

$$P_3 = P_2 + \frac{1}{2} \cdot v_2^2 - \frac{1}{2} \cdot v_3^2$$

donde:

$P_2 \Rightarrow$ Presión a la entrada del difusor

$P_3 \Rightarrow$ Presión a la salida del difusor

$v_3^2 \Rightarrow$ Velocidad a la salida del difusor

$v_2^2 \Rightarrow$ Velocidad a la entrada del difusor

Reemplazando los valores conocidos tenemos que la presión en la salida del difusor es de:

$$P_3 = 99830,03 [Pa] + \frac{1}{2} \cdot (25 \text{ m/s})^2 - \frac{1}{2} \cdot (20 \text{ m/s})^2$$

$$P_3 = 99942,53 [Pa]$$

Al encontrar esta presión se puede decir que se han realizado todos los cálculos del túnel, estos resultados deben ser analizados para observar si se deben variar sus dimensiones en el caso de ser necesario.

4.2.1.11. Resultados y replanteo del diseño.

Una vez que se ha logrado obtener todos los resultados de velocidades presiones y pérdidas de cargas que existirán en el interior del túnel, se pasa resumir los siguientes resultados en contracción, sección de pruebas y difusor.

Contracción

Altura: 1000 mm

Ancho: 1000 mm

Longitud: 850 mm

Área: 1m²

Sección de pruebas

Altura: 400 mm

Ancho: 400 mm

Longitud: 500 mm

Área: 0,16 m²

Difusor

Diámetro final: 375 mm

Longitud: 1000 mm

Área: 0,2 m²

4.2.1.12. Condiciones físicas del medio de trabajo.

Presión: 100200 Pa.

Densidad del aire: 1,215 kg/m³

Velocidad de sección de pruebas: 25 m/s

Tabla 13. Resumen de resultados de dimensiones y pérdidas del diseño propuesto.

Elemento	Velocidad v[m/s]	Presión P [Pa]	Caudal Q	Pérdidas hf
Direccionador de flujo	4,0	100200	14400	0,25
Reducción	4,0	100200	14400	3,19
Sección de pruebas	25	99830	14400	2,45
Difusor	20	99942	14400	4,52

ELABORADO POR: Autores, [2017].

Tabla 14. Resultados generales de las demandas del túnel de viento.

Caudal	4,5 [m ³ /s]	9534,96 [CFM]	
Flujo másico	4,28 [kg/s]		
Pérdidas hf	10,58 [m]		
Presión estática	97,70 [Pa]	9,97 [mmH2O]	0,392

ELABORADO POR: Autores, [2017].

Los resultados que se obtuvieron aparte de ser útiles al momento de diseñar el túnel también nos van a servir para determinar el ventilador adecuado para el túnel. De una manera más general el dato más importante para la selección del ventilador será el caudal de aire a mover.

En los resultados que se obtuvieron tenemos una velocidad requerida de 25 m/s, y que se necesita de un caudal un caudal de 4 m³/s, por otra parte, las presiones estáticas dentro del túnel, esta resulta de la sumatoria de las pérdidas de cada uno de los elementos del túnel, esto se ve representado en la ecuación siguiente:

Pérdida de carga total:

Ec. 19. [34]

$$h = f \frac{L_{pr} V_{pr}^2}{D_h 2g} + \sum_{i=1}^n k \frac{V_i^2}{2g}$$

$$h = f \frac{L_{pr} V_{pr}^2}{D_h 2g} + k_{df} \frac{V_{df}^2}{2g} + k_c \frac{V_c^2}{2g} + k_L \frac{V_L^2}{2g}$$

Siendo:

f \Rightarrow factor de fricción en la sección de pruebas

L_{pr} \Rightarrow Longitud de la sección de pruebas

D_h \Rightarrow Diámetro hidráulico de la sección de pruebas

V_{pr} \Rightarrow Velocidad de la sección de pruebas

V_{df} \Rightarrow Velocidad en el direccionador de flujo

V_c \Rightarrow Velocidad en la contracción

V_L \Rightarrow Velocidad en el difusor

k_{df} \Rightarrow Coeficiente de pérdidas del direccionador de flujo

k_c \Rightarrow Coeficiente de pérdidas de la contracción

k_L \Rightarrow Coeficiente de pérdidas del difusor

$$h = 1,954 + 0,31 + 3,8 + 4,52$$

$$h = 10,58 [m]$$

Este resultado es la pérdida total de carga que se va a tener dentro del túnel, en la tabla 13 se tienen los resultados generales del túnel de viento, resultados que serán útiles para hacer la selección del ventilador.

4.2.1.13. Selección del ventilador

El ventilador que se va a utilizar fue seleccionado tomado en cuenta el caudal necesario para que la sección de prueba alcance la velocidad de viento estimada que se asume al inicio de los cálculos. Véase Anexo 2.

El ventilador a emplear es un ventilador de marca SODECA THT 56-4T-1 tiene las siguientes características:

Tabla 15. Especificaciones del ventilador.

VENTILADOR SODECA THT 56-4T-1	
Caudal	11250 m ³ /h
Velocidad	1430 rpm
Potencia	0,75 Kw

ELABORADO POR: Autores, [2017].

Ilustración 22. Ventilador SodecaTHT-56-4T-1



Fuente: Catálogo de www.tracepartsonline.net

4.2.1.14. Diseño final del túnel de viento.

Luego de haber hecho la selección del ventilador, se varía la velocidad haciendo que se mantenga dentro del rango que se estableció, se harán diferentes iteraciones para así estimar cual será la velocidad y dimensiones finales del túnel especialmente de la sección de pruebas. En lo cual se llegó al siguiente resumen de datos para el diseño de dicho túnel de viento.

Contracción

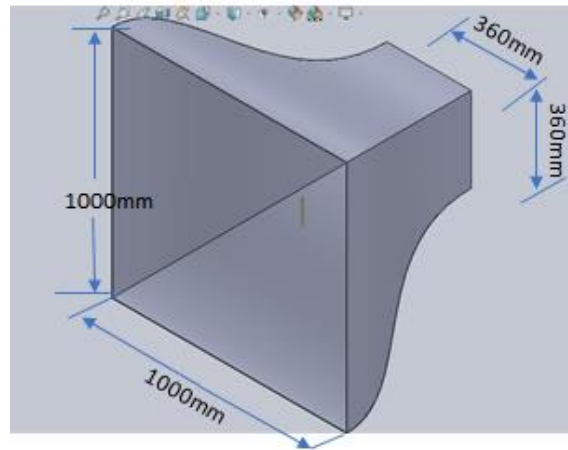
El diseño de la parte de contracción empieza al realizar el cálculo de la curva del perfil que tendrá este elemento, los demás resultados fueron obtenidos realizando una iteración después de la selección del ventilador y dando el diseño final con las siguientes dimensiones.

Tabla 16. Dimensiones de la zona de contracción.

DIMENSIONES DE LA CONTRACCION	
Altura de la entrada	1000 mm
Ancho de la entrada	1000 mm
Altura a la salida	360 mm
Ancho a la salida	360 mm
Longitud	850 mm
Velocidad	3,24 m/s

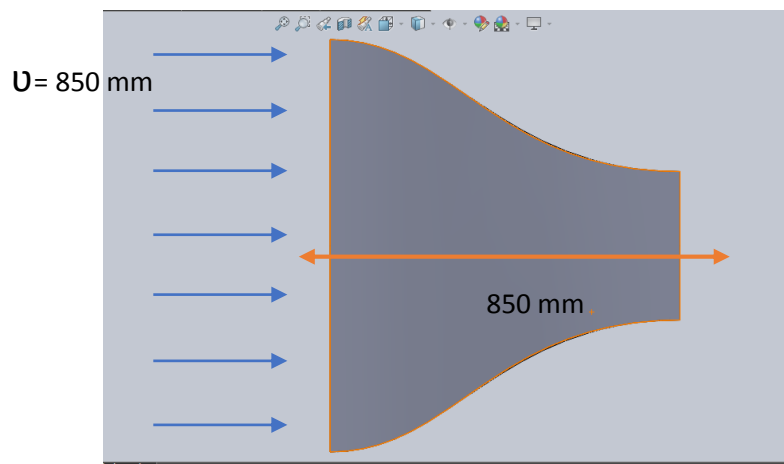
ELABORADO POR: Autores, [2018].

Ilustración 18. Diseño del elemento de contracción



ELABORADO POR: Autores, [2018]. (Solidworks)

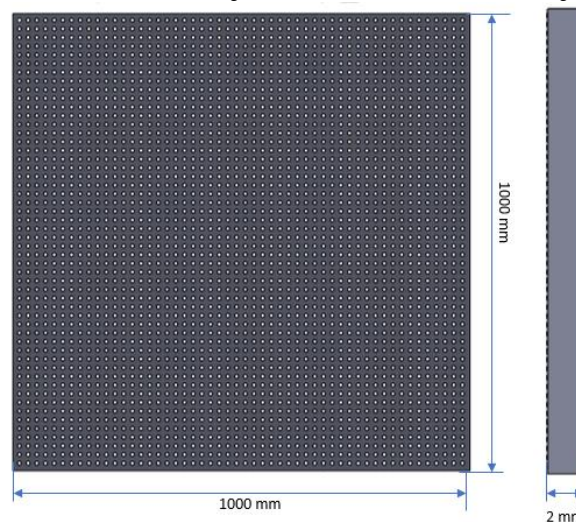
Ilustración 19. Diseño del perfil de la curva



ELABORADO POR: Autores, [2018]. (Solidworks)

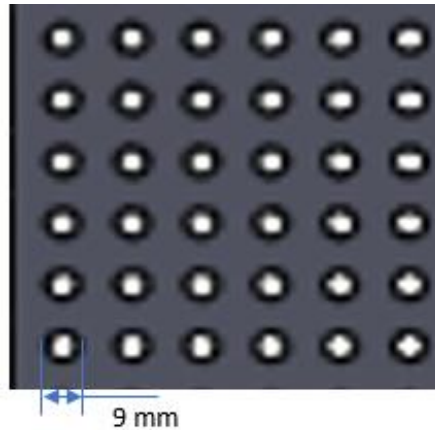
Rejilla direccionadora de flujo

Ilustración 23. Rejilla direccionadora de flujo



ELABORADO POR: Autores, [2018].

Ilustración 24. Diámetro de agujeros de paso de la rejilla.



ELABORADO POR: Autores, [2018].

Tabla 17. Dimensiones de la rejilla

DIMENSIONES DE LA REJILLA	
Altura	1000 mm
Ancho	1000 mm
Espesor	2 mm
Área	1 m ²
Diámetro de agujero	9 mm

ELABORADO POR: Autores, [2018].

Sección de pruebas

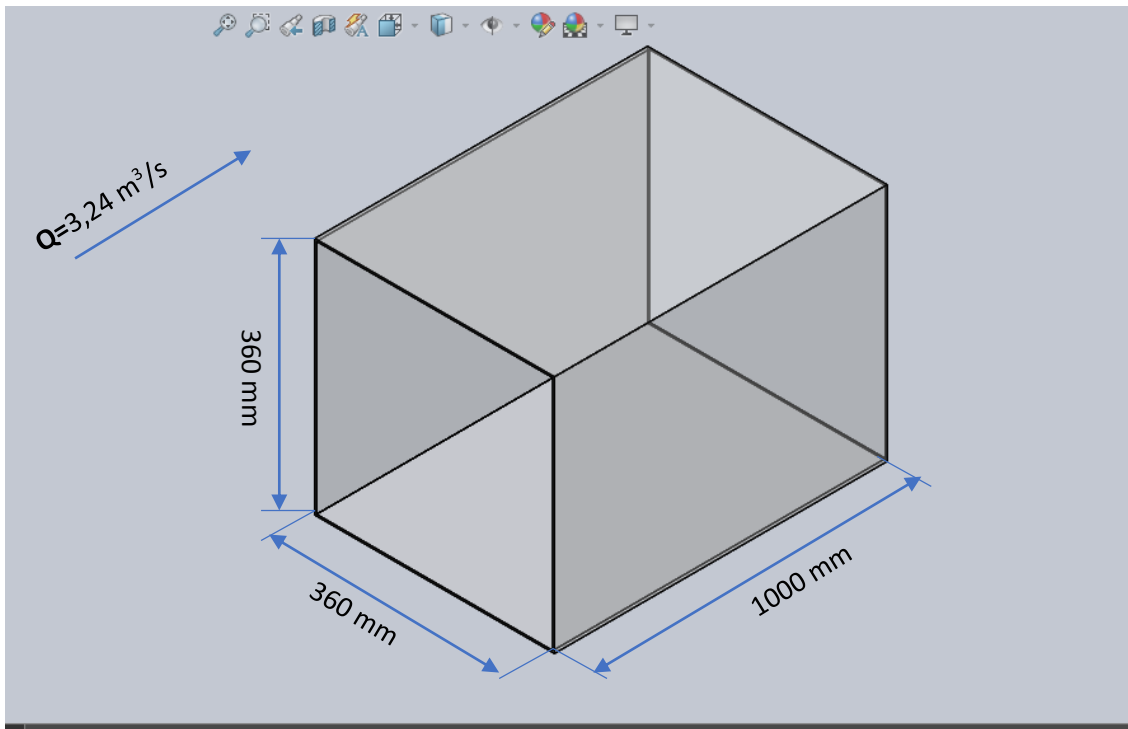
Para la sección de pruebas se establece la forma que va a tener el elemento, en este caso es de área cuadrada, a partir de los cálculos en esta sección se obtiene la siguiente tabla:

Tabla 18. Dimensiones de la Sección de Pruebas.

DIMENSIONES SECCION DE PRUEBAS	
Altura	360 mm
Ancho	360 mm
Longitud	500 mm
Área	0,13 m ²
Presión	99855,96 Pa
Caudal	3,24 m ³ /s

ELABORADO POR: Autores, [2018].

Ilustración 20. Diseño de la sección de pruebas.



ELABORADO POR: Autores, [2018].(Solidworks)

Difusor

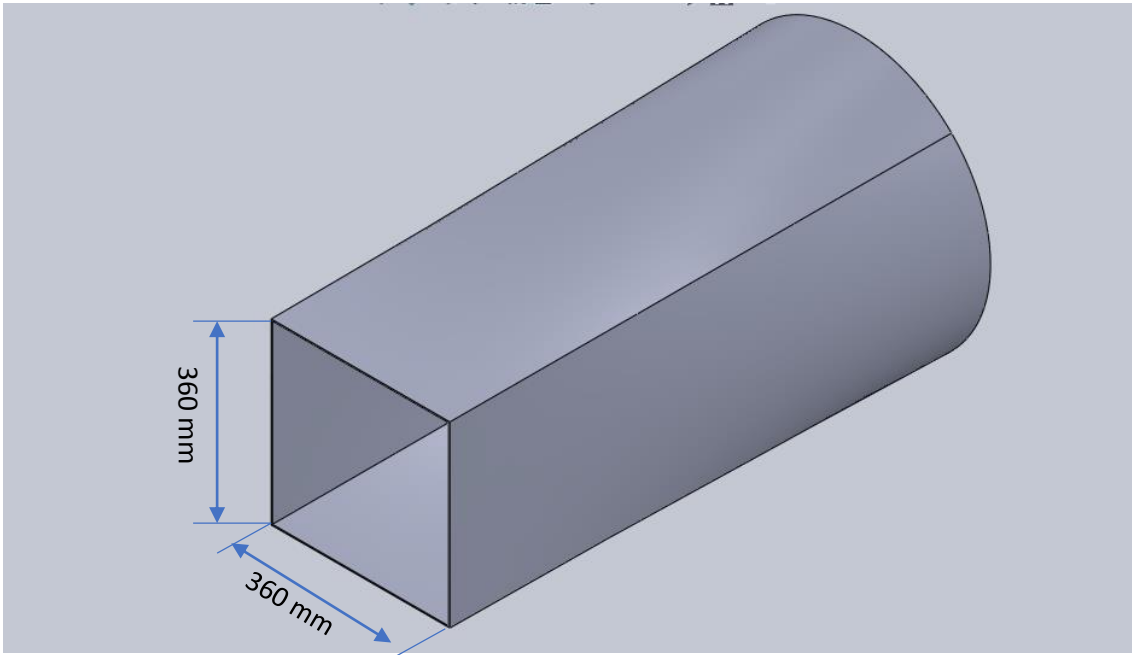
Para el diseño del difusor que es la parte del túnel por donde va salir el viento ingresado se determina el ángulo de inclinación, el radio de la parte circular depende del diámetro del ventilador seleccionado, lo que nos deja de difusor de las siguientes dimensiones:

Tabla 19. Dimensiones del Difusor.

DIMENSIONES DEL DIFUSOR	
Diámetro final	560 mm
Longitud	1000 mm
Altura a la entrada	360 mm
Ancho a la entrada	360 mm
Presión	100064,22 Pa
Velocidad	9,47 m/s

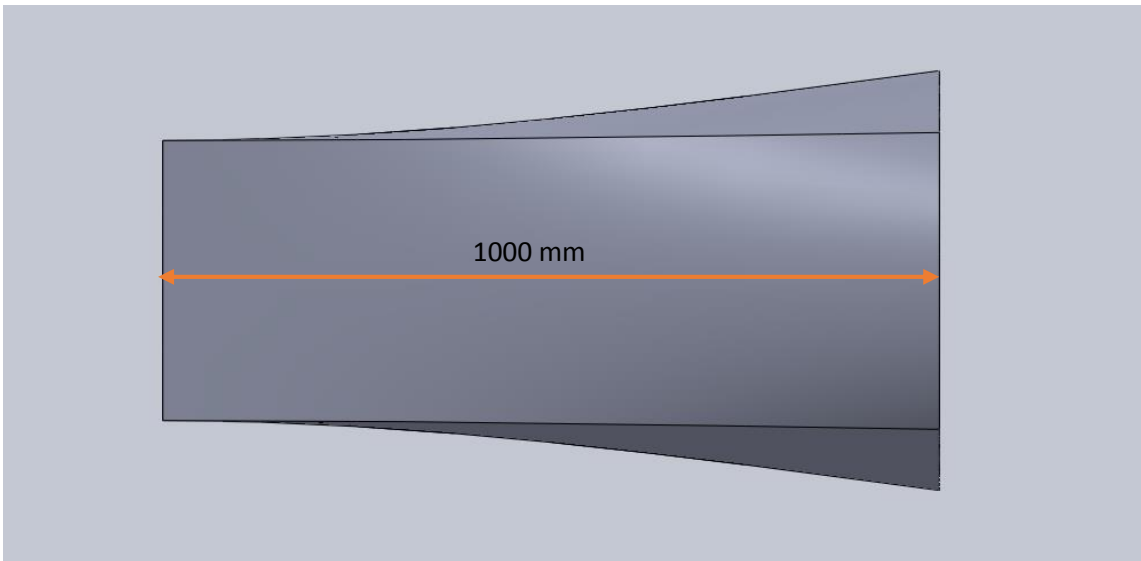
ELABORADO POR: Autores, [2017].

Ilustración 21. Diseño del difusor.



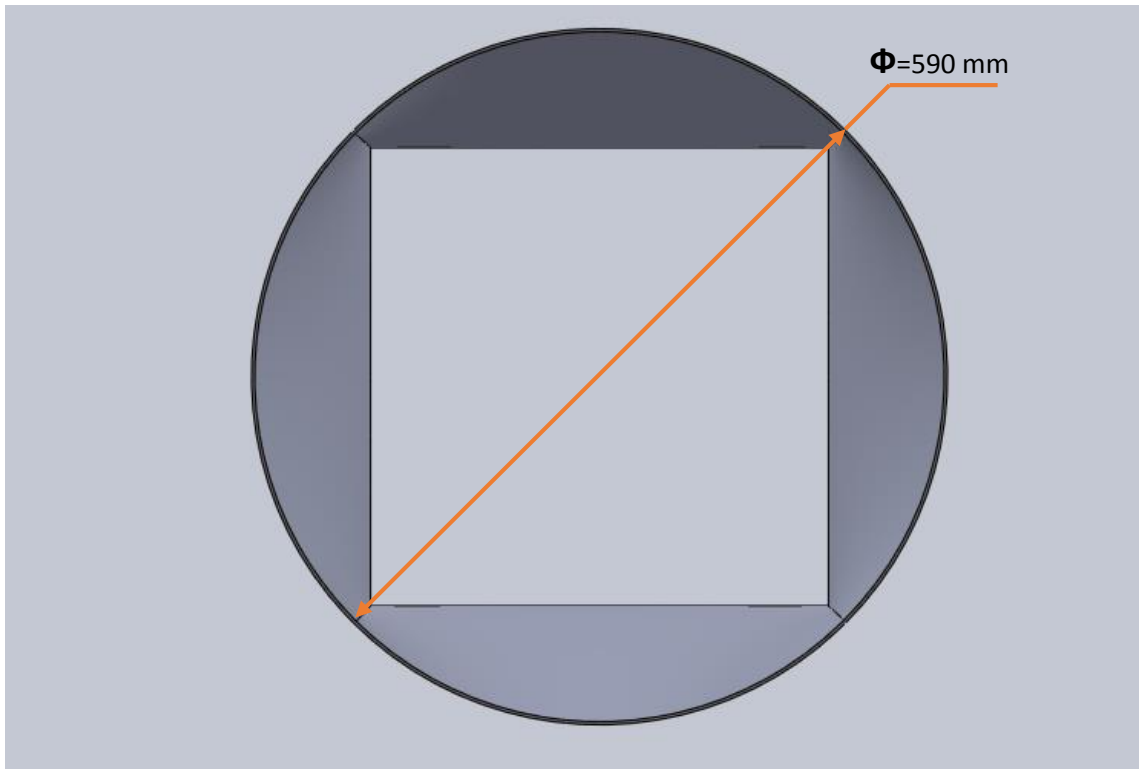
ELABORADO POR: Autores, [2017]. (Solidworks)

Ilustración 22. Diseño del difusor.



ELABORADO POR: Autores, [2017]. (Solidworks)

Ilustración 23. Diseño del ángulo del difusor.



ELABORADO POR: Autores, [2018]. (Solidworks)

Condiciones físicas del medio de trabajo

Presión: 100200 Pa.

Densidad del aire: 1,215 kg/m³

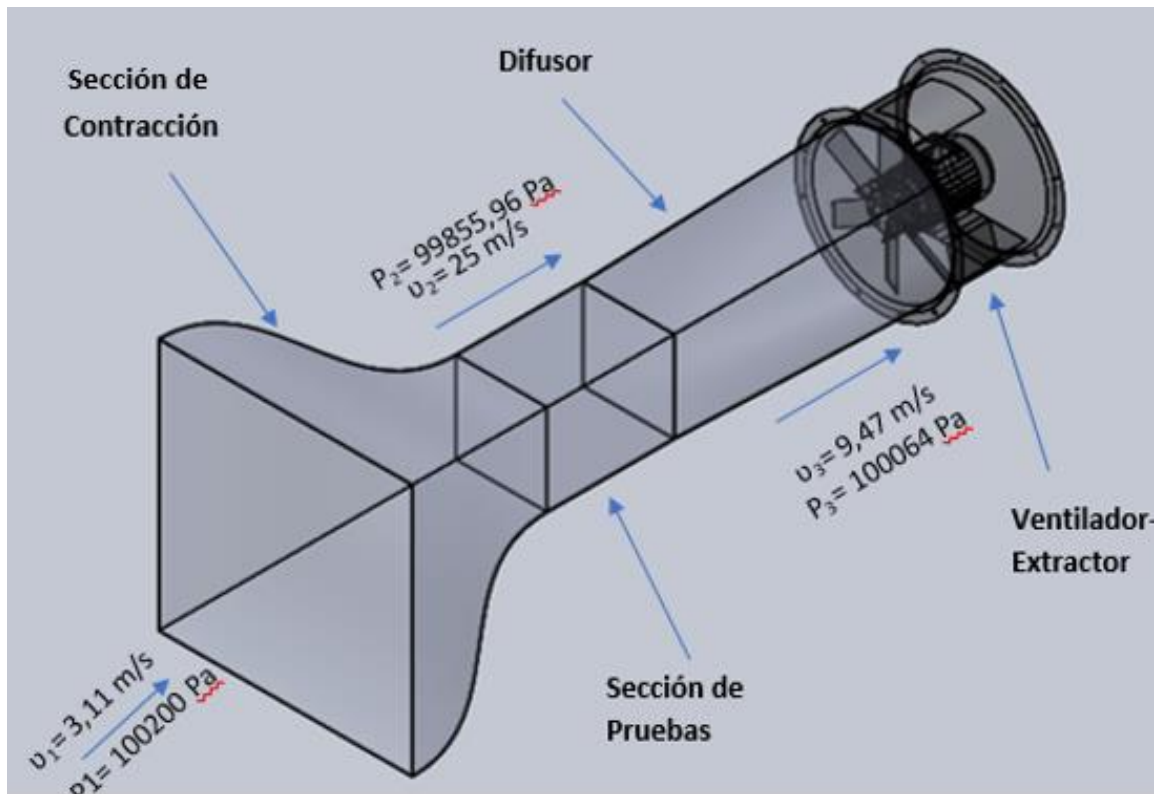
Velocidad de sección de pruebas: 25 m/s

Tabla 20. Resultados generales de las demandas del túnel de viento.

Caudal	3,24 [m ³ /s]	[CFM]
Flujo másico	3,94 [kg/s]	
Pérdidas <i>hf</i>	2,74 [m]	
Presión estática	32,65 [Pa]	3,33 [mmH2O]

ELABORADO POR: Autores, [2017].

Ilustración 23. Ensamble del túnel de viento.



ELABORADO POR: Autores, [2017]. (Solidworks)

Tabla 21. Resumen de resultados de dimensiones.

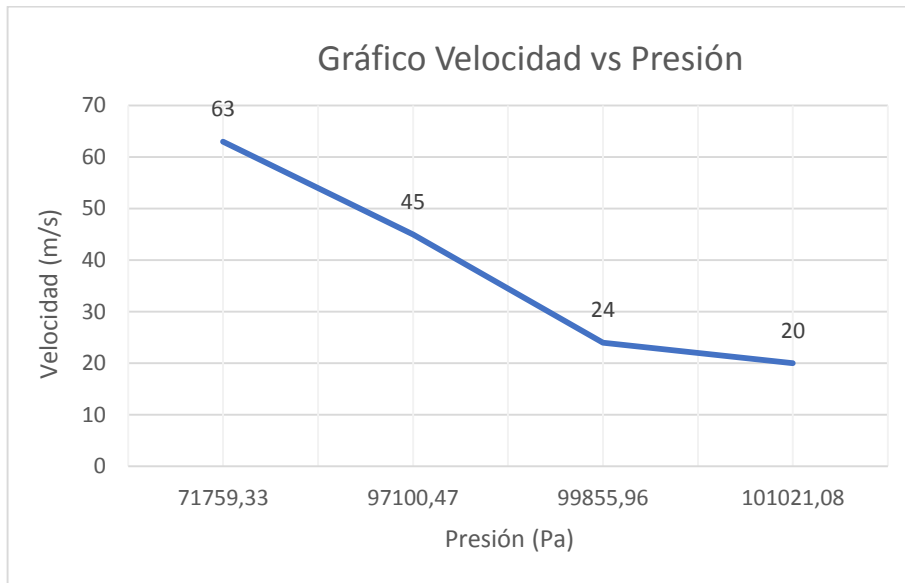
Elemento	Velocidad v [m/s]	Presión P [Pa]	Caudal Q	Pérdidas [hf]
Direccionador de flujo	3,11	100200	11197,44	0,02
Contracción	3,11	100200	11197,44	0,80
Sección de pruebas	25	99855,96	11197,44	0,55
Difusor	9,47	100064,22	11197,44	1,37

ELABORADO POR: Autores, [2017].

4.2.1.15. Relación Velocidad- Presión

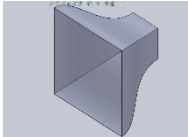
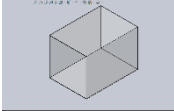
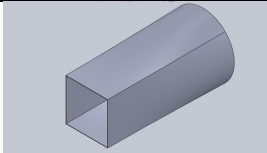
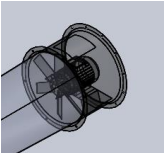
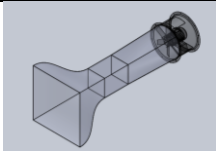
En la gráfica velocidad - presión se puede observar como al momento en el que la velocidad del fluido aumenta el valor la presión disminuye

Tabla 22. Gráfica de relación Velocidad-Presión



ELABORADO POR: Autores, [2018].

Tabla 23. Dimensiones del Túnel de Viento por elementos y completo.

<i>Túnel de Viento</i>						
<i>Partes</i>	Sección de Contracción	Sección de pruebas	Difusor	Sección de Empuje	TOTAL	
<i>Medidas</i>						
<i>Altura</i>	1000 mm- 360 mm	360 mm	360 mm	d= 590 mm	d= 590 mm	1000 mm- 590 mm
<i>Ancho</i>	1000 mm- 360mm	360 mm	360 mm			1000 mm- 590 mm
<i>Longitud</i>	850 mm	500 mm	1000 mm	500mm	2850 mm	
<i>Área</i>	1m ²	0,13 m ²	0,2 m ²	0,97 m ²	-	

ELABORADO POR: Autores, [2018].

4.3. Protocolo de Pruebas.

¿Cómo se desarrolla un estudio en un túnel de viento?, pues depende de diversos factores, sin embargo, se puede detallar su proceso de la siguiente manera.

4.3.1. Simulación en Flow Simulation Solidworks.

En base a los procedimientos establecidos se considera ahora lo más importante, el presente proyecto es simulación así que una vez establecido el programa a utilizarse se determina a qué es lo que se va a estudiar, como comprensión se entiende que el túnel de viento es una herramienta para el estudio de la Aerodinámica del perfil de cualquier elemento, ya este seleccionado considerando tomar un parámetro de ubicación y un elemento similar de referencia se procede con el programa. El proceso está descrito en el Anexo 3.

Pasos para la simulación en Flow Simulation.

- 1) Una vez seleccionado el sólido a realizar la simulación se debe activar la pestaña de Flow Simulation.
- 2) Se escoge la opción nuevo estudio y se selecciona el tipo de estudio a realizar.
- 3) Crear un nuevo proyecto donde se ingresan todos los parámetros importantes para realizar la simulación
- 4) Se envía a correr el proyecto donde se abre otra ventana donde aparece el cálculo de iteraciones.
- 5) Una vez terminado el cálculo de iteraciones se puede tomar la opción de “cut plots” la cual mostrará una ventana de opciones donde se seleccionará el plano donde se puede observar los colores que representan los valores de la simulación a realizar.
- 6) Clic derecho en la opción Flow trajectories, insert y selecciona las caras a estudiar, y el parámetro a obtener, aceptar, obteniendo la barra de colores con los valores a interpretar.

Una vez culminado el desarrollo del proyecto es conveniente desarrollar un análisis comparativo como base a la referencia previamente establecida, se verifican los resultados y por consiguiente se determinan si la estructura del perfil es conveniente para las

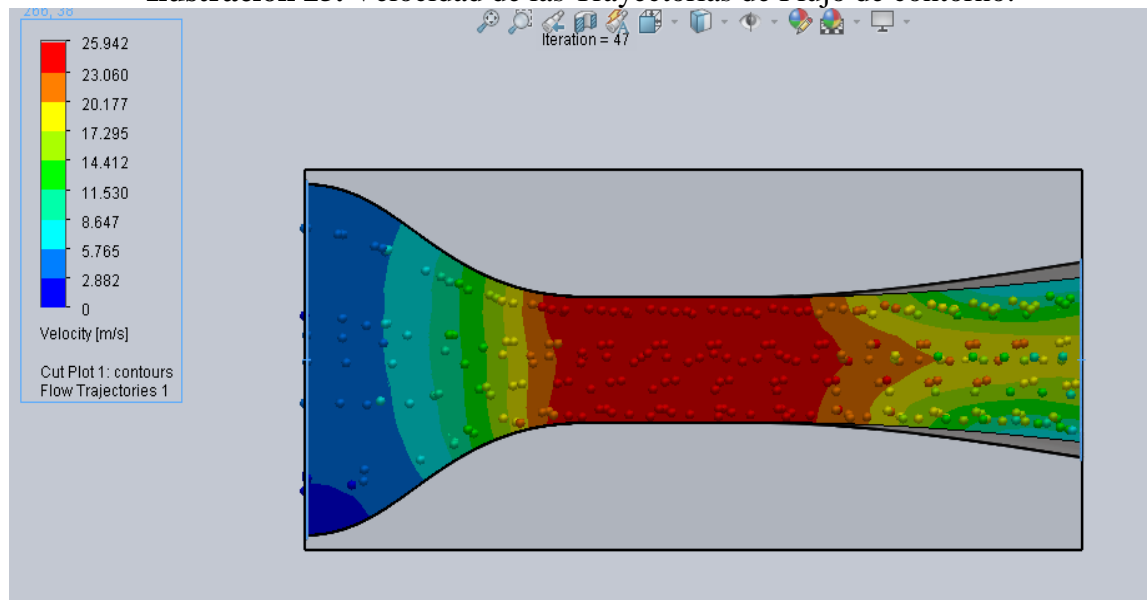
condiciones ambientales a las que estará expuesto. Su detalle de proceso se demuestra en el Anexo 4.

4.3.2. Procesos de Simulación en el Túnel de Viento.

El Túnel de viento es considerado una herramienta, un banco de pruebas para el estudio de la Aerodinámica, como tal tiene que estar en perfecto estado, estar adecuado para las situaciones a las que estará expuesta y a las que expondrá los elementos de instrucción. Por consiguiente, no solo la simulación debe ser aplicada a los perfiles si no que primero se tiene que observar qué tan adecuado está el túnel, en estas condiciones se expone las más importantes como son: presión, soporte, cavitación y velocidad de flujo.

Considerado la velocidad de flujo un parámetro primordial en general para túneles de viento éstas son variadas puesto que no todos los diseños y aplicaciones son similares. Direccionado al área académica se expone la Ilustración 25 donde se puede ver la aplicación de flujo en la estructura.

Ilustración 25. Velocidad de las Trayectorias de Flujo de contorno.



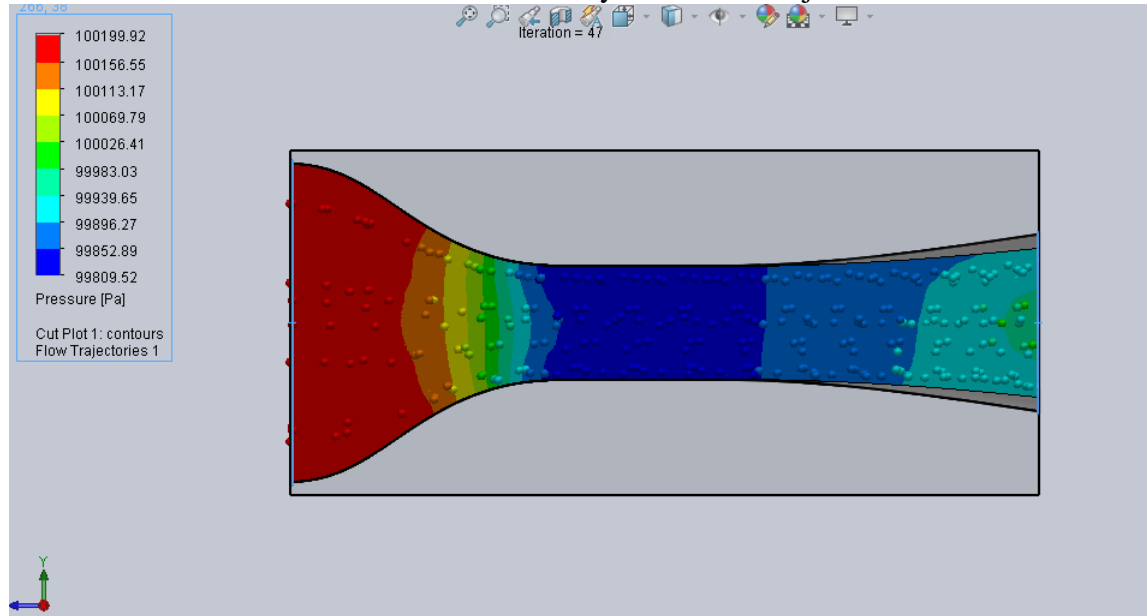
ELABORADO POR: Autores, [2018].

Al realizar la simulación en el programa Solidworks ingresando las condiciones iniciales del túnel se obtiene el resultado indicado en la Ilustración 25 donde se determina que la velocidad máxima en la sección de pruebas será de 25,94 m/s que comparándola con la

velocidad inicial planteada con al inicio la diferencia es insignificante y se encuentra como tolerante entre el rango de valores. Además, se observa que tanto la velocidad en la entrada como en la salida tomaran un valor que se encuentran dentro de un rango donde en la cual también entra el resultado del cálculo analítico.

Trayectorias del flujo en contornos.

Ilustración 26. Presión en las Trayectorias de Flujo de contorno.



ELABORADO POR: Autores, [2018].

En el caso de la presión se conocía solo la presión inicial a temperatura ambiente (20°C) al realizar la simulación se obtiene que los valores de la gráfica están dentro del rango de los resultados que se obtuvieron en el desarrollo del cálculo analítico considerando que el programa realiza un número de 47 iteraciones.

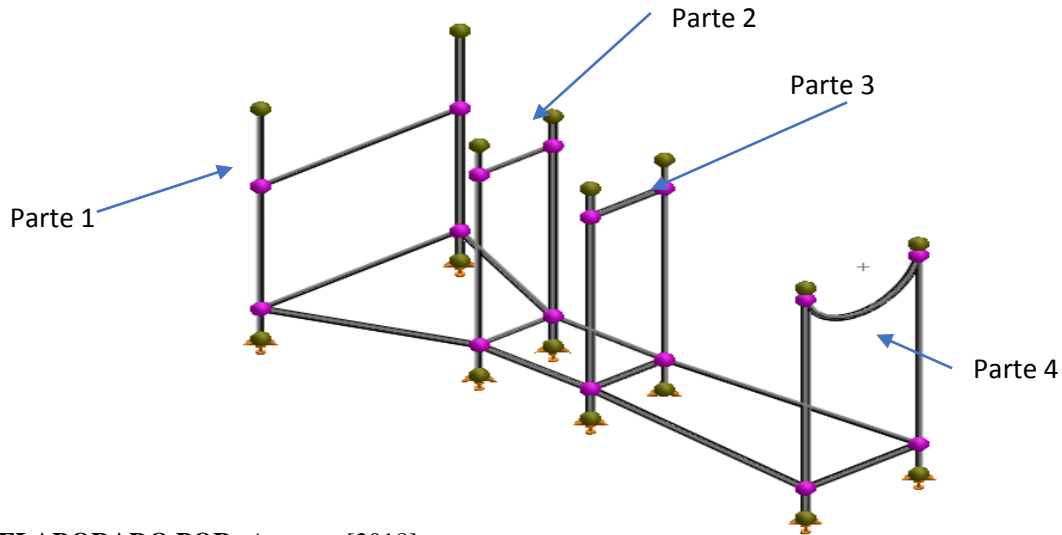
4.3.3. Diseño estructura del túnel.

En la estructura del túnel se considera tomar tubo cuadrado ASTM A-36, la estructura debe soportar el peso de todos los componentes del túnel incluyendo el ventilador (extractor) el cual es de 1077,87 N el programa Solidworks proporciona la acción de hacer un análisis estático que permitirá determinar si la estructura es válida o no. Este análisis es

proporcionado para conseguir una estructura básica de soporte y puede ser variable a disposición de facilidad de operación.

Restricción fija de la estructura para realizar el estudio

Ilustración 27. Estructura de Soporte del Túnel de Viento.



ELABORADO POR: Autores, [2018].

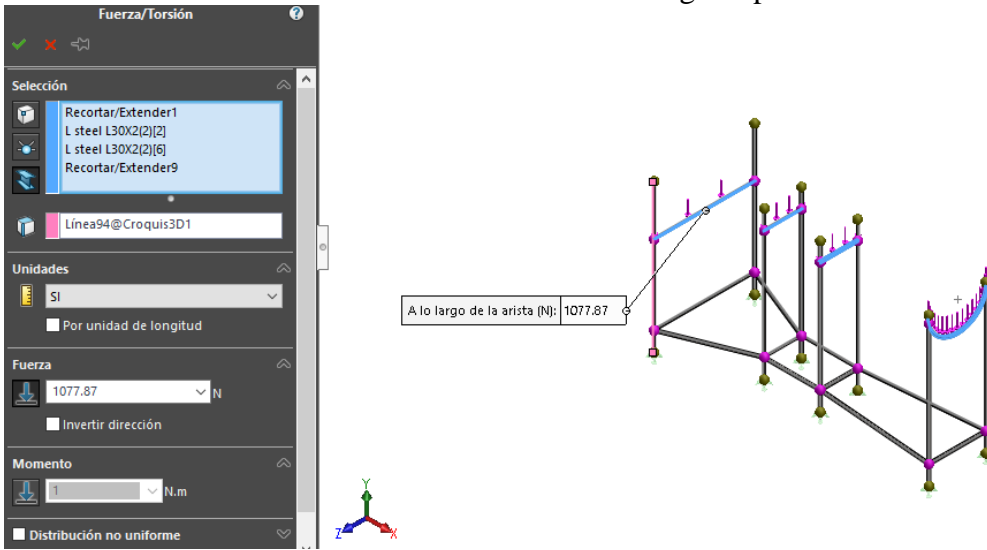
Tabla 24. Carga soportada por sección

SECCIÓN	CARGA
PARTE 1	269.46 [N]
PARTE 2	269,46 [N]
PARTE 3	269, 46 [N]
PARTE 4	269,46 [N]

ELABORADO POR: Autores, [2018].

La estructura debe amoldarse al diseño del túnel sin provocar desbalance o vibraciones que entorpezca el cálculo y mediciones que realicen los sensores del banco de pruebas, por lo tanto, debe estar fijo en el suelo y que sea lo más eficiente evitando desperdicio de recursos al momento de su manufactura. A esta estructura se van a aplicar cargas como son demostradas en la Ilustración 19. para comprobar su resistencia. Véase los perfiles en Anexo

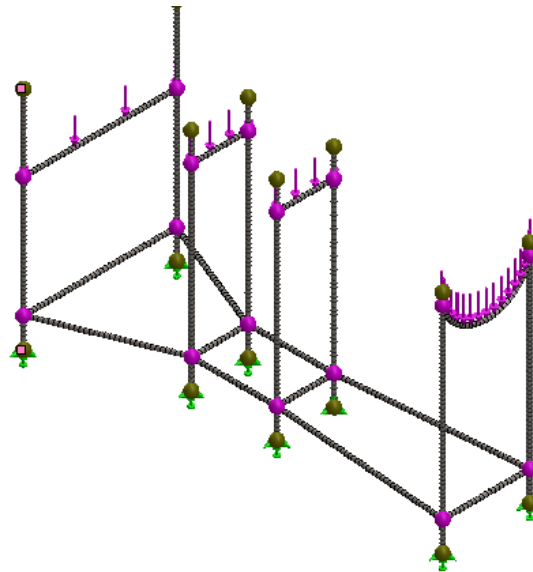
Ilustración 28. Cargas Aplicadas.



ELABORADO POR: Autores, [2018].

Malla creada para el estudio de la estructura.

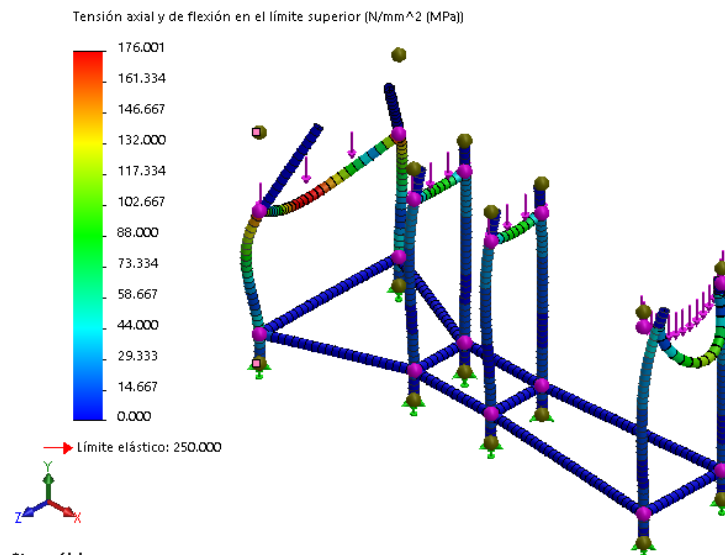
Ilustración 29. Mallado de la Estructura de Soporte.



ELABORADO POR: Autores, [2018].

Tensión axial y deflexión.

Ilustración 30. Límite Elástico de la Estructura.

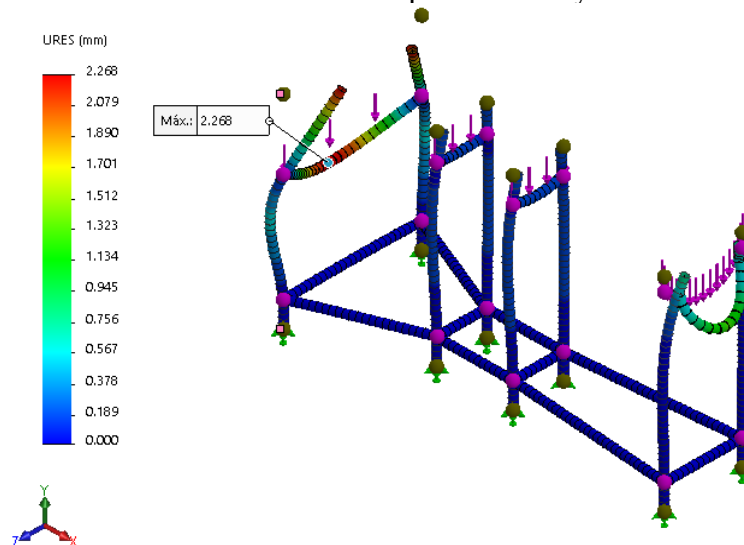


ELABORADO POR: Autores, [2018].

La estructura tiene que brindar una sujeción adecuada, verificar la tensión y deflexión es una parte importante para comprobar si el material resiste el límite elástico, en caso de no resistir se tiene que modificar el diseño o seleccionar otro tipo de material para hacer los tubos que lo componen

Desplazamiento de la estructura.

Ilustración 31. Desplazamiento y Deformación.



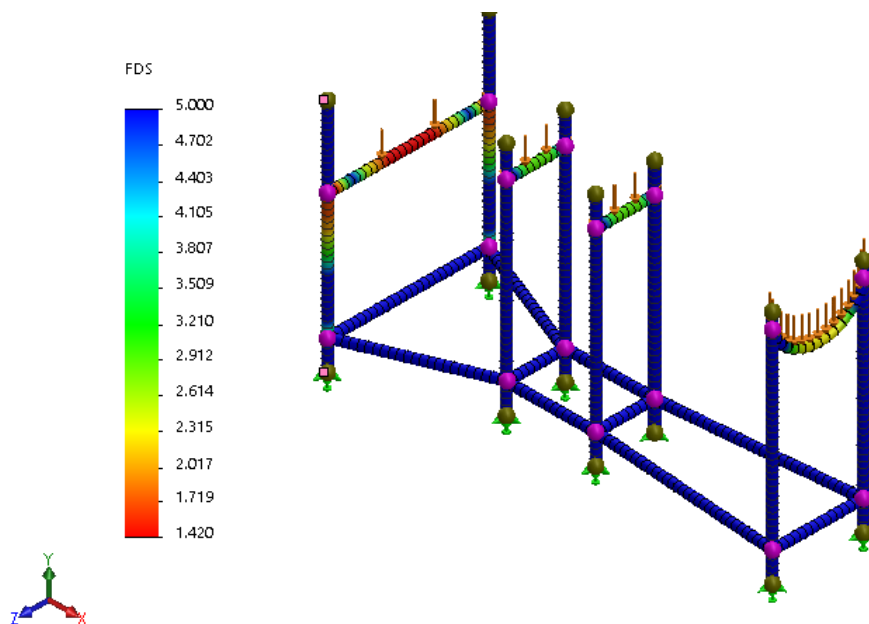
ELABORADO POR: Autores, [2018].

El túnel presenta una escala de deformación que muestra la anotación en "URES" que es expresada en milímetros y es para indicar que los valores **U** son las resultantes del desplazamiento, pero ¿Qué es la letra U? La letra "U" es el vector que representa el desplazamiento que se presenta en la estructura, una opción más para verificar su resistencia expresado en un rango desde cero hasta el límite superior, en este caso su máximo es de 1.113 mm.

Factor de seguridad

Factor importante para cualquier estructura, normativa que se debe considerar para distinguir su tenacidad muy importante en diseño mecánico, sin unidad de medida es un cociente entre la capacidad máxima del elemento y su requerimiento necesario real.

Ilustración 32. Factor de Seguridad.



ELABORADO POR: Autores, [2018].

Tabla 25. Condiciones necesarias para la estructura de sujeción.

Nombre	Mínimo	Máximo
Tensión de Von Mises	0,000 MPa	176,27 MPa
Desplazamiento	0 mm	2,27 mm
Coefficiente de seguridad	1,42	-

ELABORADO POR: Autores, [2018].

Resumen de los resultados del análisis de la estructura

En la tabla 25 que se presenta se observa los resultados obtenidos del estudio de la estructura el cual concluye que el diseño de la estructura es válido para soportar la carga del túnel y dando como resultado un coeficiente de seguridad de 1,42 significando que el material utilizado para la estructura cumple con lo necesario.

Propiedades de material

Propiedades	Componentes
Nombre: ASTM A36 Acero	Sólido 1(Recortar/Extender1[1])(estructura con L), Sólido 2(Recortar/Extender6[1])(estructura con L), Sólido 3(Recortar/Extender8[2])(estructura con L), Sólido 4(L steel L40X3(1)[8])(estructura con L), Sólido 5(L steel L40X3(1)[4])(estructura con L), Sólido 6(Recortar/Extender7[2])(estructura con L), Sólido 7(L steel L40X3(1)[3])(estructura con L), Sólido 8(L steel L40X3(1)[7])(estructura con L), Sólido 9(Recortar/Extender6[2])(estructura con L), Sólido 10(L steel L40X3(1)[6])(estructura con L), Sólido 11(Recortar/Extender1[2])(estructura con L), Sólido 12(Recortar/Extender1[3])(estructura con L), Sólido 13(Recortar/Extender3[2])(estructura con L), Sólido 14(Recortar/Extender4[2])(estructura con L), Sólido 15(L steel L40X3(1)[2])(estructura con L), Sólido 16(Recortar/Extender5[1])(estructura con L), Sólido 17(L steel L40X3(1)[5])(estructura con L), Sólido 18(L steel L40X3(1)[1])(estructura con L), Sólido 19(Recortar/Extender8[1])(estructura con L), Sólido 20(Recortar/Extender9)(estructura con L), Sólido 21(Recortar/Extender5[2])(estructura con L), Sólido 22(Recortar/Extender7[1])(estructura con L)
Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal	
Criterio de error predeterminado: Desconocido	
Límite elástico: 250 N/mm²	
Límite de tracción: 400 N/mm²	
Módulo elástico: 200000 N/mm²	
Coefficiente de Poisson: 0.26	
Densidad: 7.85 g/cm³	
Módulo cortante: 79300 N/mm²	

Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	-1.90735e-006	4311.48	0	4311.48

Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	1.0431	0.0940448	0.684759	1.25132

Vigas

Fuerzas de viga

Nombre de viga	Juntas	Axial(N)	Momento1(N.m)	Momento2(N.m)	Torsión(N.m)
Viga-1(Recortar/Extender1 [1])	1	123.512	69.8412	1.00185	-4.65649
	2	-123.512	-69.9343	-0.973344	-5.14947
Viga-2(Recortar/Extender6 [1])	1	22.4879	-1.64731	-0.322922	-0.0234604
	2	-22.4879	-3.48504	-0.77626	0.0234604
Viga-3(Recortar/Extender8 [2])	1	54.2368	-1.02268	-0.699414	-0.000780143
	2	-54.2368	1.16697	0.756597	0.000780143
Viga-4(L steel L40X3(1)[8])	1	549.491	6.88031	-1.78148	-0.0133683
	2	0	3.9712e-011	-2.63675e-011	2.52487e-011
	3	-538.849	-65.3498	-0.246886	-0.16169
	4	-549.491	23.8553	6.13622	0.0133683
Viga-5(L steel L40X3(1)[4])	1	539.48	-1.50151	0.0257225	-0.000929993
	2	0	-2.16145e-011	1.71328e-011	-7.07239e-011
	3	-538.925	-5.24281	-1.60982	0.289151
	4	-538.925	17.351	-1.61151	0.289006
Viga-6(Recortar/Extender7 [2])	1	16.6308	-0.361116	0.607029	0.0185252
	2	-16.63	-0.105729	0.767955	-0.000114815
Viga-7(L steel L40X3(1)[3])	1	542.436	-2.24631	-0.0224214	0.00592521
	2	0	-1.2822e-011	8.68198e-012	-8.81828e-012
	3	-538.953	17.0215	0.00151751	0.040431
	4	-542.436	-6.20105	-1.62664	-0.00592521
Viga-8(L steel L40X3(1)[7])	1	-538.945	5.23651	-1.6137	-0.288203
	2	540.388	1.57363	-0.78352	-0.000994459
	3	0	2.11221e-011	1.76252e-011	7.06155e-011
	4	-538.945	-17.3573	-1.6118	-0.288065
Viga-9(Recortar/Extender6 [2])	1	-26.8882	5.16351	-6.83707	-0.0118263
	2	26.8882	2.28262	-3.35589	0.0118224
Viga-10(L steel L40X3(1)[6])	1	-541.148	6.0155	-1.76268	0.00762039
	2	541.148	2.68158	-1.07666	-0.00761775
	3	-3.63798e-012	1.28923e-011	8.45087e-012	8.0691e-012
	4	-538.917	-17.0137	-0.00153823	-0.0377621
Viga-11(Recortar/Extender 1[2])	1	-22.0995	-17.0378	-0.164132	-4.8501
	2	22.0995	17.1679	0.174741	-4.45973
Viga-12(Recortar/Extender 1[3])	1	-22.1802	-17.0215	0.249367	4.65363
	2	22.1802	17.0137	-0.246764	4.6562
Viga-13(Recortar/Extender 3[2])	1	39.4835	-2.43602	-0.897945	0.00281526
	2	-39.4835	1.19988	1.59432	-0.00281526
Viga-14(Recortar/Extender 4[2])	1	-18.876	0.490528	1.41513	0.000180687
	2	18.876	0.116519	1.13996	-0.000180294

Viga-15(L steel L40X3(1)[2])	1	-538.639	-6.88859	0.224496	0.0443268
	2	535.564	-1.06033	0.654424	0.00219445
	3	0	-1.25004e-011	8.19965e-012	-9.82681e-012
	4	-538.639	16.2127	0.199117	0.0442939
Viga-16(Recortar/Extender 5[1])	1	-67.0926	1.76479	0.823677	0.00143414
	2	67.0926	-1.62227	-0.552861	-0.00143414
Viga-17(L steel L40X3(1)[5])	1	-539.232	6.75852	-0.222727	-0.0332517
	2	521.211	1.84112	0.0658997	0.00326678
	3	-3.63798e-012	1.31637e-011	-8.74228e-012	7.51055e-012
	4	-539.232	-16.3429	-0.19909	-0.0332283
Viga-18(L steel L40X3(1)[1])	1	541.762	-7.12543	2.23311	0.0476557
	2	0	-3.8667e-011	2.62871e-011	-2.83125e-011
	3	-539.021	65.443	0.246885	0.190694
	4	-541.762	-24.3984	0.986313	-0.0476557
Viga-19(Recortar/Extender 8[1])	1	305.013	-4.22342	-0.702527	0.0157243
	2	-305.013	2.67263	2.27783	-0.0157243
Viga-20(Recortar/Extender 9)	1	-2.05378e-007	1.41007e-010	-1.96662e-010	0.00128608
	2	2.05393e-007	2.98141e-011	9.15951e-011	0.00128622
	3	-82.1459	-0.549135	0.140507	-0.185486
	4	433.104	-17.4073	3.55538	0.0422139
Viga-21(Recortar/Extender 5[2])	1	32.2579	0.117707	0.971504	-0.0027363
	2	-32.2578	-0.312155	0.76754	0.00273283
Viga-22(Recortar/Extender 7[1])	1	10.7829	0.438267	-0.191077	-0.0143437
	2	-10.7698	0.501054	-0.0921388	0.0104611

Tensiones de viga

Nombre de viga	Juntas	Axial(N/m ²)	Torsional (N/m ²)	Tensión axial y de flexión en el límite superior(N/m ²)
Viga-1(Recortar/Extender1[1])	1	-565080	- 2.77002e+008	1.70664e+008
	2	-565080	- 3.06328e+008	1.70965e+008
Viga-2(Recortar/Extender6[1])	1	-102884	- 1.39559e+006	3.37541e+006
	2	-102884	1.3956e+006	6.79618e+006
Viga-3(Recortar/Extender8[2])	1	248139	-46408.6	1.10125e+006
	2	248139	46408.6	1.26215e+006
Viga-4(L steel L40X3(1)[8])	1	- 2.51398e+006	-795243	2.39169e+007
	2	0	0.00150197	0.00016328
	3	- 2.46529e+006	- 9.61849e+006	1.63332e+008

	4	- 2.51398e+006	795243	4.62971e+007
Viga-5(L steel L40X3(1)[4])	1	- 2.46817e+006	-55322.7	6.24191e+006
	2	0	-0.00420717	9.57432e-005
	3	- 2.46564e+006	1.72008e+00 7	1.14426e+007
	4	- 2.46564e+006	1.71922e+00 7	4.93212e+007
Viga-6(Recortar/Extender7[2])	1	-76087.8	1.10201e+00 6	683729
	2	-76084	-6830.02	1.71242e+006
Viga-7(L steel L40X3(1)[3])	1	-2.4817e+006	352474	7.97683e+006
	2	0	- 0.000524575	5.31355e-005
	3	- 2.46576e+006	2.40513e+00 6	4.45216e+007
	4	-2.4817e+006	-352474	1.37849e+007
Viga-8(L steel L40X3(1)[7])	1	- 2.46573e+006	- 1.71444e+00 7	1.14176e+007
	2	- 2.47233e+006	-59157.6	4.42467e+006
	3	0	0.00420072	9.57432e-005
	4	- 2.46573e+006	- 1.71362e+00 7	4.93375e+007
Viga-9(Recortar/Extender6[2])	1	-123016	-703513	6.06799e+006
	2	-123016	703283	2.91629e+006
Viga-10(L steel L40X3(1)[6])	1	- 2.47581e+006	453316	1.29844e+007
	2	- 2.47581e+006	-453159	6.44152e+006
	3	-1.66441e-008	0.000480009	5.27549e-005
	4	-2.4656e+006	- 2.24636e+00 6	4.45097e+007
Viga-11(Recortar/Extender1[2])	1	-101107	- 2.88519e+00 8	4.17952e+007
	2	-101107	- 2.65297e+00 8	4.20905e+007
Viga-12(Recortar/Extender1[3])	1	-101477	2.76832e+00 8	4.27772e+007
	2	-101477	2.76984e+00 8	4.27515e+007
Viga-13(Recortar/Extender3[2])	1	180641	167472	3.98116e+006
	2	180641	-167472	1.56486e+006
Viga-14(Recortar/Extender4[2])	1	-86359.6	10822.4	2.32059e+006
	2	-86359.6	-10798.9	2.56298e+006
Viga-15(L steel L40X3(1)[2])	1	- 2.46432e+006	2.63688e+00 6	2.00405e+007
	2	- 2.45026e+006	130542	6.68735e+006

	3	0	-0.00058457	5.11491e-005
	4	- 2.46432e+006	2.63492e+00 6	4.20333e+007
Viga- 16(Recortar/Extender5[1])	1	306955	85313.3	2.63242e+006
	2	306955	-85313.3	2.94942e+006
Viga-17(L steel L40X3(1)[5])	1	- 2.46704e+006	- 1.97805e+00 6	1.97174e+007
	2	- 2.38459e+006	194331	6.77109e+006
	3	-1.66441e-008	0.000446782	5.41453e-005
	4	- 2.46704e+006	- 1.97666e+00 6	4.23576e+007
Viga-18(L steel L40X3(1)[1])	1	- 2.47861e+006	2.83491e+00 6	2.56032e+007
	2	0	-0.00168423	0.000160499
	3	- 2.46608e+006	1.13438e+00 7	1.63563e+008
	4	- 2.47861e+006	- 2.83491e+00 6	6.52033e+007
Viga- 19(Recortar/Extender8[1])	1	1.39546e+006	935396	1.00955e+007
	2	1.39546e+006	-935397	3.84787e+006
Viga- 20(Recortar/Extender9)	1	0.000939627	76505.6	0.00177399
	2	0.000939693	76513.9	0.00109235
	3	-375825	- 1.10341e+00 7	2.0799e+006
	4	1.98149e+006	2.51119e+00 6	5.37795e+007
Viga- 21(Recortar/Extender5[2])	1	-147583	-163894	2.78536e+006
	2	-147583	163686	1.2474e+006
Viga- 22(Recortar/Extender7[1])	1	-49332.9	-853267	660129
	2	-49272.9	622301	1.05969e+006

Resultados del estudio

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	Tensión axial y de flexión en el límite superior	0.000 N/mm ² (MPa) Elemento: 623	189.048 N/mm ² (MPa) Elemento: 14




Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0.000 mm Nodo: 73	2.27 mm Nodo: 113

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Automático	1.42 Nodo: 14	4.82e+012 Nodo: 421

4.4. Selección de Perfiles para simular en el Túnel de Viento.

En el estudio de la aerodinámica existen diversos modelos, estructuras y perfiles que pueden ser seleccionados, se escogerá el elemento de un vehículo y comparar el mismo elemento con otros de dos vehículos diferentes, que presenten iguales condiciones de ser doble cabina, año y 4x4; la justificación de su selección se presenta en su correspondiente diseño. Se presentan los perfiles de los siguientes vehículos:

Tabla 26. Perfiles seleccionados.

Vehículo-Perfil escogido	Marca	Año	Visual
	Mazda BT-50 Doble Cabina 2.5L 4x4 Di	2017	
Capó o cofre	Mitsubishi L200 Doble Cabina de 2.5L 4x4.	2017	
	Chevrolet D- MAX CD Doble Cabina 2.5L 4x4	2017	

ELABORADO POR: Autores, [2018].

FUENTE: Mazda Motor Corporation, Mitsubishi Motors Corporation, General Motors.

Descripción: Se escogen los siguientes capós por ser un elemento que necesita ser determinado bajo condiciones aerodinámicas específicas, su diseño es muy importante no solamente es la cubierta o protección del motor en un vehículo, es un elemento indispensable en diversos aspectos que se distinguen de los demás componentes de una camioneta que se expondrán a continuación:

- Regula el impacto de las corrientes de aire provocadas por el entorno o altas velocidades al que el vehículo pueda alcanzar.
- Se diseña como modelo preventivo ante el choque de un peatón o contra una estructura (en diversos países esta condición se normaliza para reducir la tasa de mortalidad provocada por accidentes ya sea del conductor o del peatón).
- Según el tipo de vehículo su estructura cambia, en vehículo deportivos o cuya función es que alcance altas velocidades suele tener agujeros para disminuir el calor interno e incrementar velocidad, mientras vehículos urbanos su estructura busca reducir esto para facilitar su conducción en zonas pobladas y delimitar el grado de velocidad que pueda obtener en cierto tiempo.

Por lo tanto, se considera que es un elemento interesante y plausible para ser estudiado, con la selección y muestra de los tres perfiles anteriores se pueden diseñar siguiendo las especificaciones de cada uno de ellos, para tomarlos como guía en el proceso de diseño de una propuesta. El estudio se desarrolla en el Túnel de Viento para proporcionar recomendaciones en cuanto a mejorar el diseño de los perfiles.

4.4.1. Justificación de su aplicación en la Industria de la región 5.

La región 5-Litoral del Ecuador que comprenden las provincias de Guayas, Los Ríos, Santa Elena, Bolívar y Galápagos. Provincias que tienen una demografía bastante irregular y que como principal fuente de ingresos es desarrollada por la agricultura (a excepción de Galápagos), vehículos como camionetas son los favoritos por los profesionales y obreros que trabajan en cultivos y plantaciones, ya sea por:

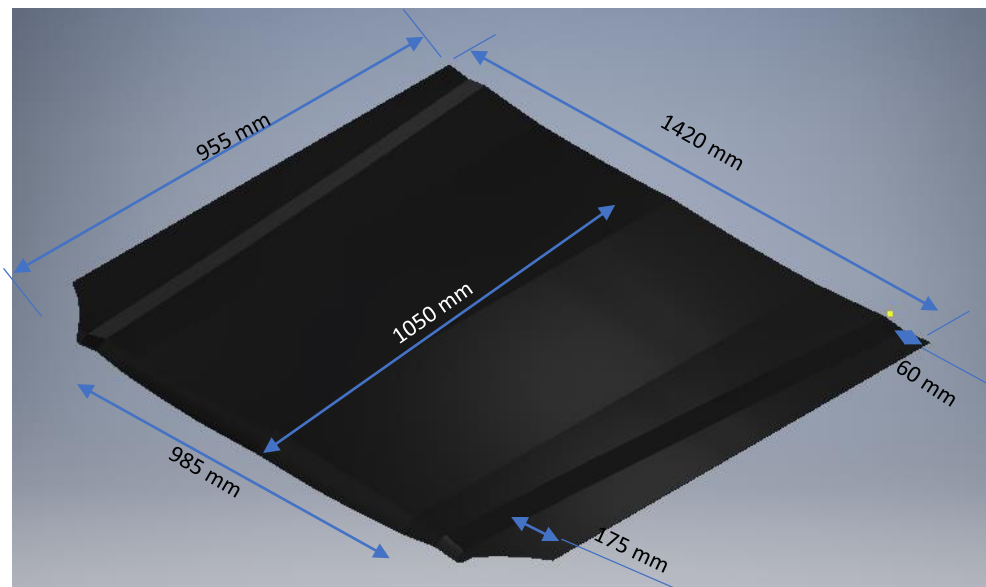
- a) Facilidad en transporte de insumos agrícolas al por menor.
- b) Mejor conducción en zonas de carreteras e ingreso irregular, es decir rurales, sin provocar daños al transporte.
- c) Mayor espacio, que comúnmente es usado para transporte de trabajadores, maquinaria pequeña o químicos para fumigación.
- d) Menor consumo de combustible, un aspecto importante ya que estas regiones de difícil acceso suelen estar a largas horas de distancia de sectores poblados.

4.4.2. Diseño y dimensionamiento de los perfiles seleccionados.

Perfil # 1

Descripción: Capó de una Mazda posee un ancho de 1420 mm en la parte superior y su parte inferior es de 985 mm, tiene una longitud de 955 mm en las partes laterales y en la parte central una medida de 1050mm que finaliza en un punto donde comienza una curvatura aproximadamente de unos 60 mm posee dos pliegues inclinados comprendidos entre 15 - 17 gr de inclinación aproximadamente estos se encuentran formados por 2 longitudes la una de 1338 mm y la otra de 1300mm respectivamente y tienen una separación de 60 mm.

Ilustración 33. Capó de la Mazda BT-50 Doble Cabina 2.5L 4x4 Di.



ELABORADO POR: Autores, [2018]. (Solidworks)

FUENTE: Mazda Motor Corporation.

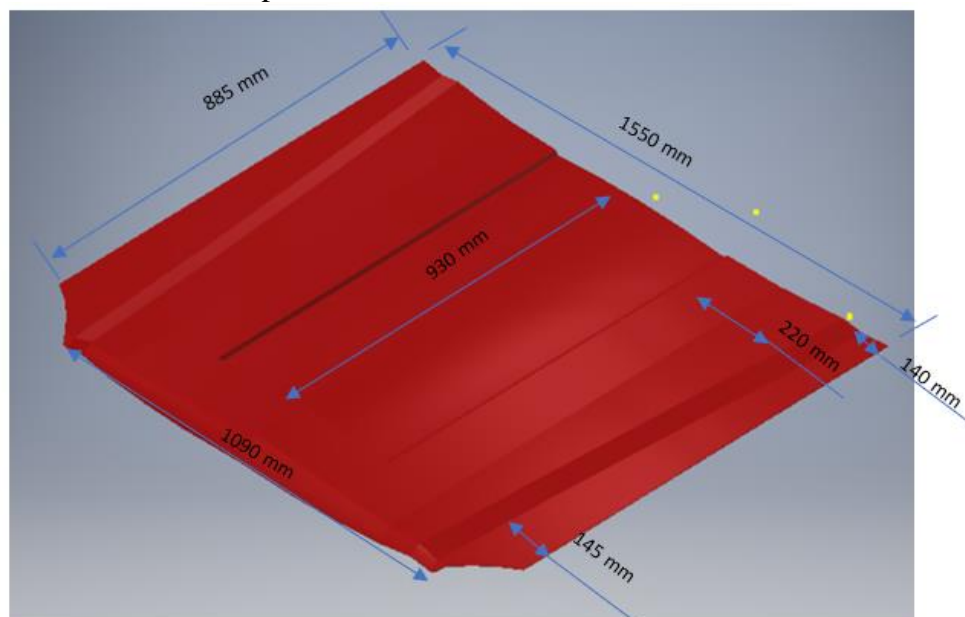
¿Por qué es seleccionado?

Se selecciona esta camioneta porque es muy común en la Costa ecuatoriana, el enfoque que la empresa le da es más a seguridad, su sistema de protección integral es de 5 estrellas EURO NCAP y ANCAP. Sistema MAIDAS de auto-deformación, para una protección total de la cabina, además de un DSC (Control dinámico de estabilidad) ambos relacionados al diseño y construcción del capó. En conclusión, se eligió este perfil por su alto enfoque en seguridad para sus ocupantes.

Perfil # 2

Descripción: Este capó tiene unas medidas de 1550mm en la parte superior y de 1090 en su parte inferior, una longitud de 855 mm en sus laterales y 930mm en la parte del centro, en su parte inferior posee un dobléz de unos 90 mm aproximadamente, además tiene 4 pliegues inclinado comprendido por 2 líneas cada uno; dos de estos pliegues tienen una longitud 884 mm y los otros dos tienen una longitud de 873 mm estas inclinaciones se encuentran entre los 12 y 15 gr respectivamente.

Ilustración 34. Capó Chevrolet D-MAX CD 4x4 Doble Cabina 2.5L 4x4



ELABORADO POR: Autores, [2018]. (Solidworks)

FUENTE: General Motors.

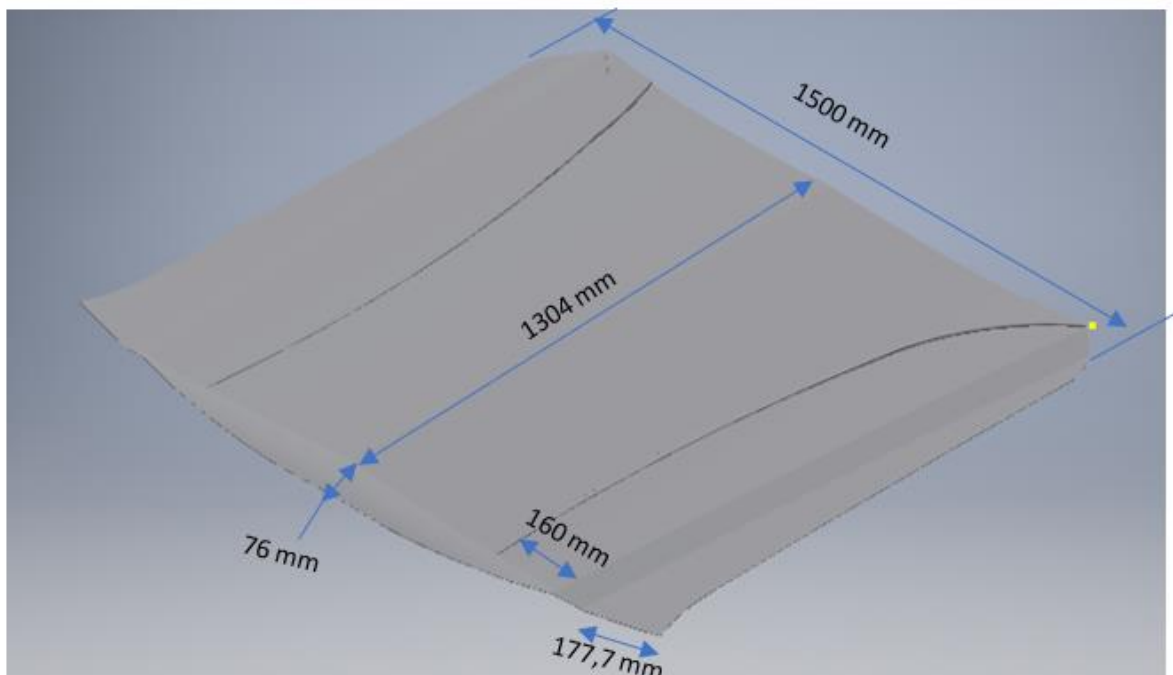
¿Por qué es seleccionado?

De las tres selecciones esta camioneta es la más dispendiosa, su enfoque va dirigido a la potencia y la aerodinámica en su estructura, sumamente conveniente para conducir en sectores agrícolas de difícil acceso además de un gran espacio para diversos transportes. Su gran capacidad de carga y su eficiente consumo de combustible es por lo que es adquirido por varios agricultores de la provincia de los Ríos.

Perfil # 3

Descripción: Este capó presenta medidas de 1500 mm de ancho y 1304 mm de largo con un doblez de diseño un poco más recto de 60 mm a una distancia de 177,7 mm de los costados en la parte inferior, y en la parte superior del mismo un perfil más circular para mejorar su aerodinamismo, ya que se conoce que con los capos de las camionetas se busca darles más estabilidad que velocidad.

Ilustración 35. Mitsubishi L200 Doble Cabina de 2.5L 4x4



ELABORADO POR: Autores, [2018]. (Solidworks)

FUENTE: Mitsubishi Motors Corporation.

¿Por qué es seleccionado?

Este perfil de propiedad de Mitsubishi Motors es seleccionado por su fiabilidad, poder y estilo robusto, este vehículo además de ser un deportivo para varios terrenos va mas direccionado al lujo de detalles, visible en su delantera y en cortes del perfil de capó, no muy al estilo de los anteriores perfiles mostrados que van más caracterizados no a la elegancia, si no más a labores agrícolas, aunque no signifique que se tome a la ligera para este tipo de labores.

Justificación del porqué de esas dimensiones.

Las dimensiones de los perfiles expuestos son de las medidas reales en comparación con los mismos perfiles de medidas a escala, las consideraciones de su reducción van en función de que se adapte a la Sección de Pruebas del Túnel de Viento.

Las medidas en relación están a escala 1-10 como puede observarse en ambas situaciones, las Ilustraciones 28, 29 y 30 demuestran sus medidas en la escala original y en la simulación se verán expresados los perfiles expuestos con medidas a la escala tomada 1-10, estas medidas son dirigidas a consideración de que se adapten al área de la Sección de Pruebas del Túnel de Viento.

4.5. Desarrollo de proceso de simulación en los perfiles.

En este desarrollo se realizan las pruebas de funcionamiento de cada uno de los perfiles seleccionados para determinar las diferencias que tienen entre ellos según:

Entre la variación de sus estructuras y relacionarlas a cómo afecta el entorno, planteando observaciones y recomendaciones para optimizar un perfil en base a los datos obtenidos.

4.5.1. Simulación de situaciones Aerodinámicas en los perfiles

Los perfiles una vez seleccionados se procede al cálculo de presión y velocidad por parte del programa para simulación escogido, el seccionado es el programa de diseño y simulación Solidworks que anteriormente se usó para el estudio del túnel de viento, hay que plantear las condiciones en las que se expone la simulación:

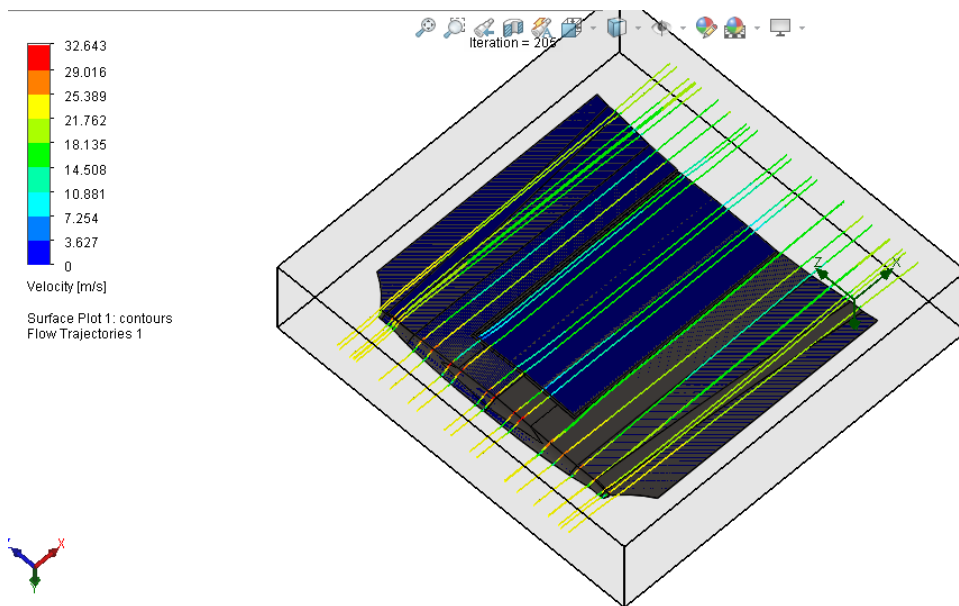
La simulación solo será de los perfiles y enfocado a su comportamiento dentro de la Sección de Pruebas del túnel de viento, lugar en el cual se desarrolla todos los procesos y se encuentran ubicados los sensores. Los resultados se verifican para demostrar si este diseño es óptimo, recordando que son perfiles seleccionados de importantes marcas de gran consumo nacional y demostrando que dirección toma la estructura en comportamiento aerodinámico.

Observar los detalles y cálculos expresados por el programa, detallar que consideraciones están impuestas e informes tomados por el software.

4.5.1.1 Simulación de comportamiento aerodinámico del Capó Chevrolet D-MAX CD Doble Cabina 4x4 de 2.5 L.

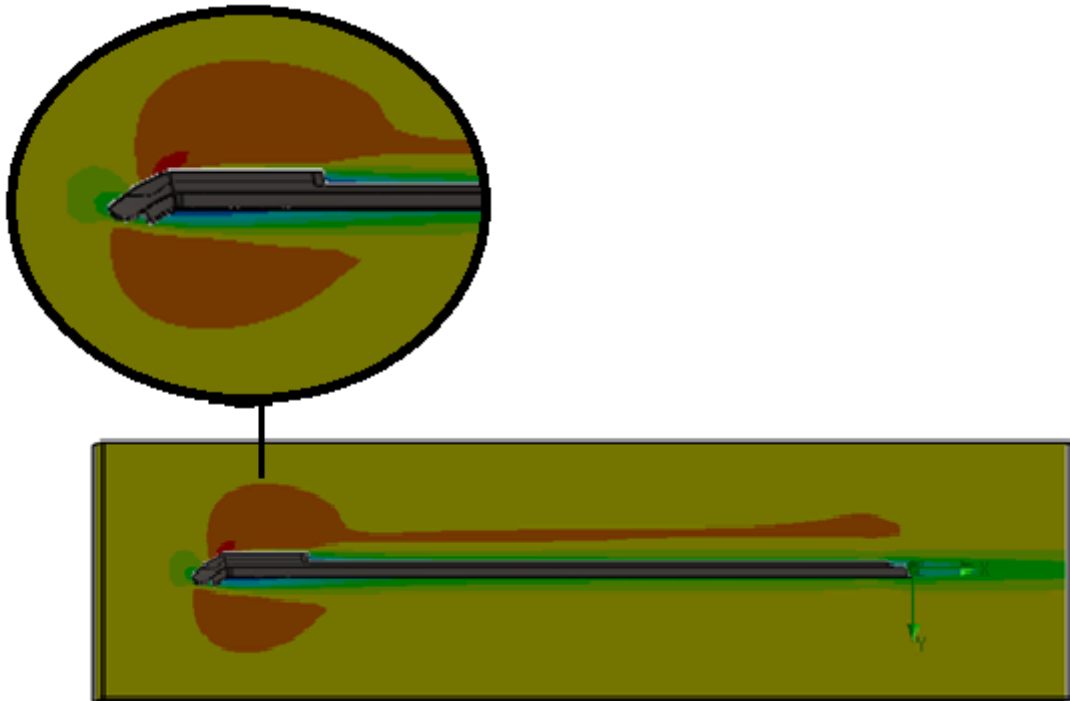
En la Ilustración 36. Se observa el resultado de la velocidad de trayectoria del capó de la camioneta Chevrolet al momento de ser aplicadas las condiciones iniciales que se obtuvieron del cálculo matemático en la sección de pruebas del túnel donde se obtiene que la velocidad máxima del modelo es de 32,6 m/s.

Ilustración 36. Velocidad de Trayectorias de Flujo de Contorno Chevrolet D-MAX.



ELABORADO POR: Autores, [2018]. (Solidworks)

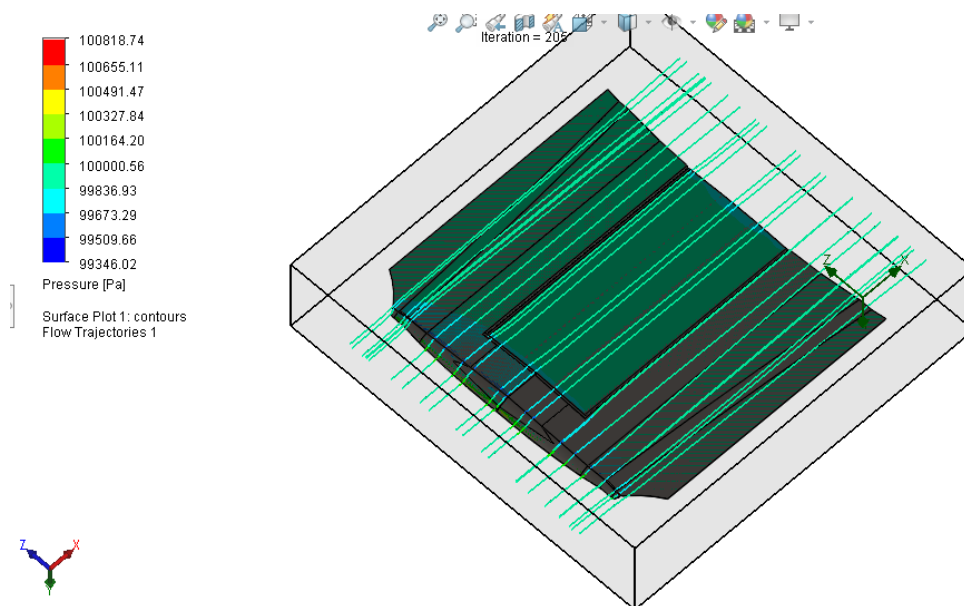
Ilustración 37. Velocidad de Trayectorias de Flujo de Contorno Chevrolet D-MAX.
(vista lateral)



ELABORADO POR: Autores, [2018]. (Solidworks)

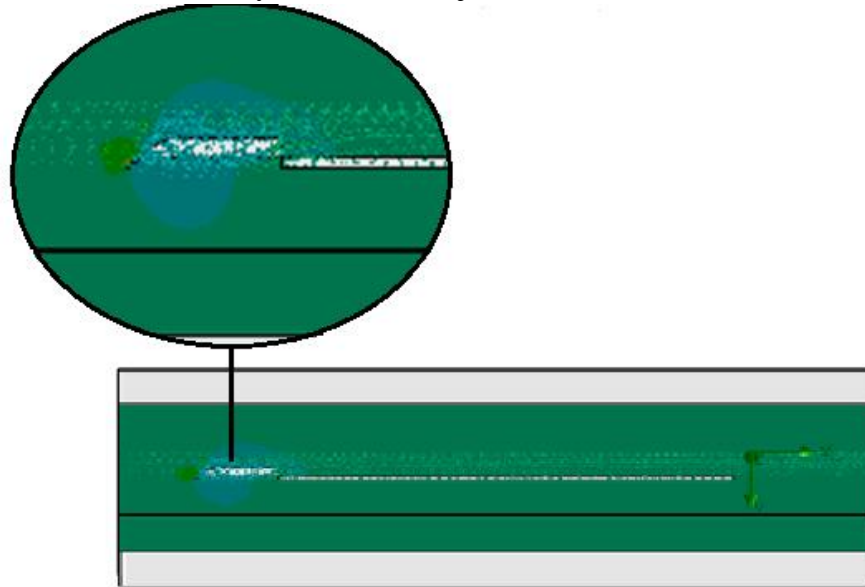
En la Ilustración 38. Se puede observar las presiones de trayectoria del mismo modelo de capó, al momento de ingresar la presión que se obtuvo del cálculo matemático en la sección de pruebas del túnel donde se obtiene que la presión máxima es de 100747,69 Pa.

Ilustración 38. Presiones de Trayectorias de Flujo de Contorno Chevrolet D-MAX.



ELABORADO POR: Autores, [2018]. (Solidworks)

Ilustración 39. Presiones de Trayectorias de Flujo de Contorno Chevrolet D-MAX (lateral).

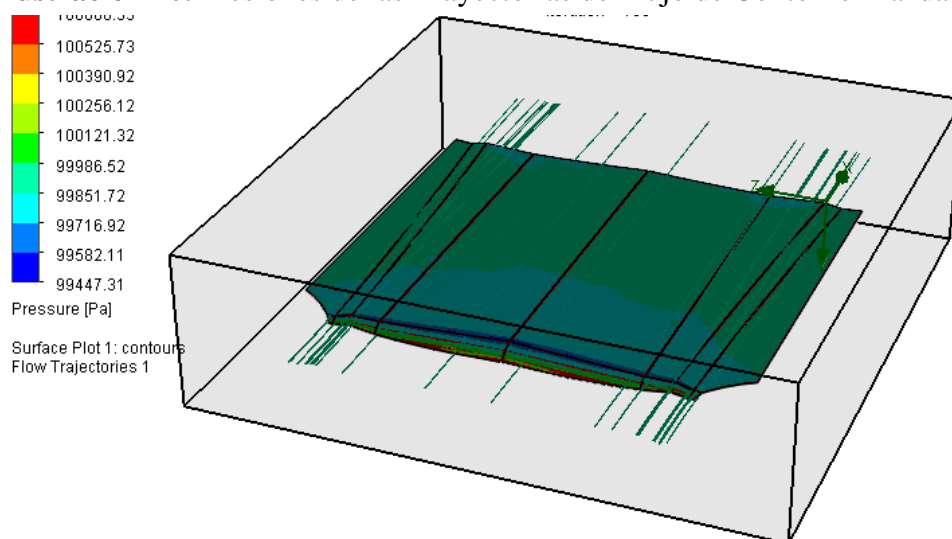


ELABORADO POR: Autores, [2018]. (Solidworks)

4.5.1.2. Simulación de comportamiento aerodinámico del Capó de la Mazda BT-50 Doble Cabina 2.5L 4x4 Di

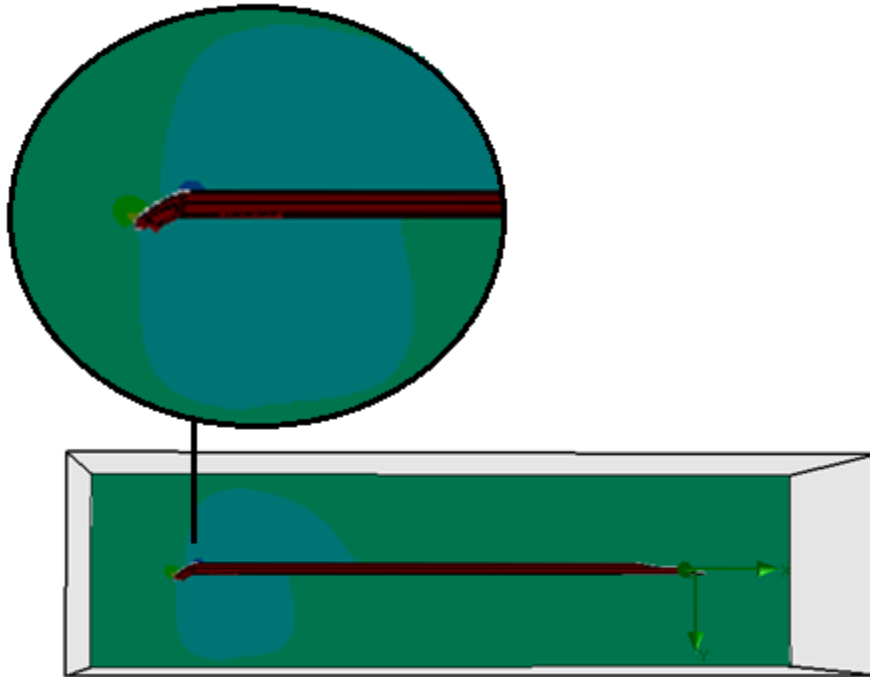
La Ilustración 40. Muestra las presiones de trayectoria que se genera al realizar la simulación del capó dentro del túnel, al momento de ingresar la presión que se obtuvo en el cálculo matemático de la sección de pruebas ($P= 99855,96$ Pa) se obtiene que la presión máxima es de 100660,53 Pa.

Ilustración 40. Presiones de las Trayectorias de Flujo de Contorno Mazda BT-50.



ELABORADO POR: Autores, [2018]. (Solidworks)

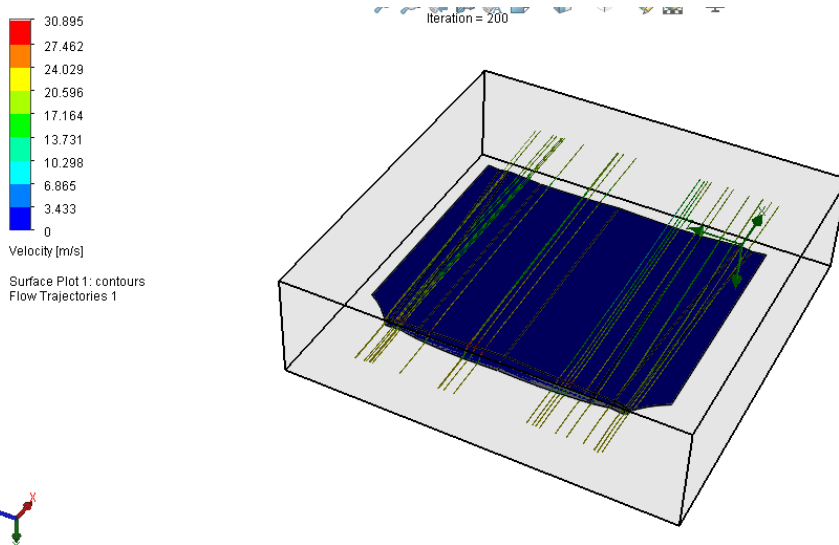
Ilustración 41. Presiones de las Trayectorias de Flujo de Contorno Mazda BT-50. (lateral)



ELABORADO POR: Autores, [2018]. (Solidworks)

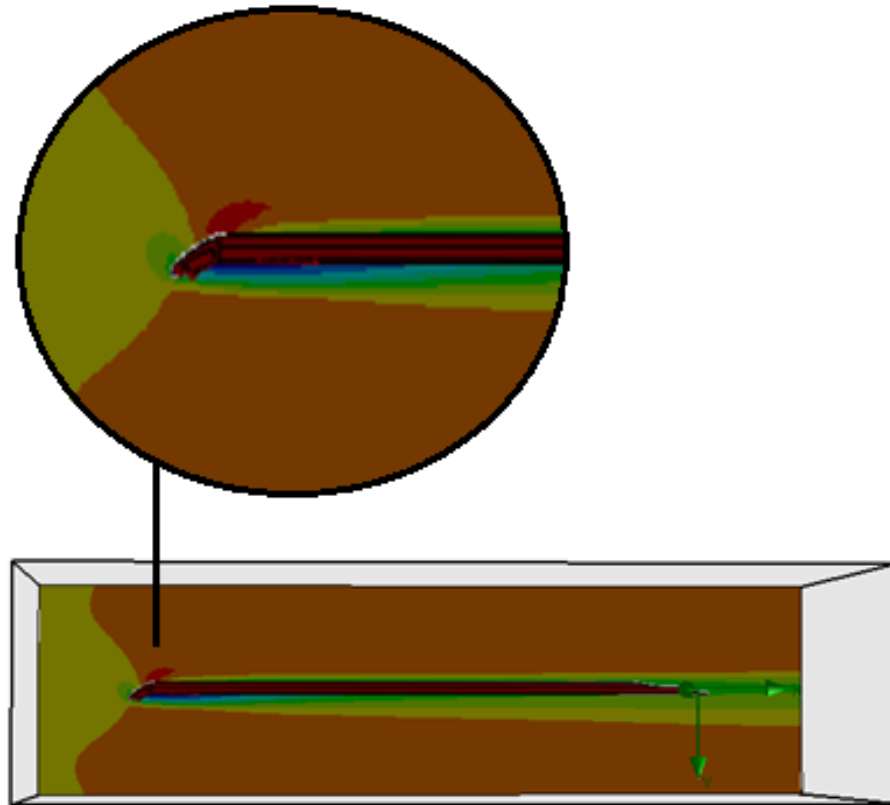
En la Ilustración 42. Se puede observar el resultado de la velocidad de trayectoria del capó de la camioneta mencionada en el párrafo anterior al momento de ingresar como condición inicial la velocidad que se obtuvo en los cálculos realizados en la sección de pruebas (24 m/s) donde después de realizar la simulación se obtiene que la velocidad máxima es de 30,88.

Ilustración 42. Velocidades de las Trayectorias de Flujo de Contorno Mazda BT-50.



ELABORADO POR: Autores, [2018]. (Solidworks)

Ilustración 43. Velocidades de las Trayectorias de Flujo de Contorno Mazda BT-50.
(lateral)

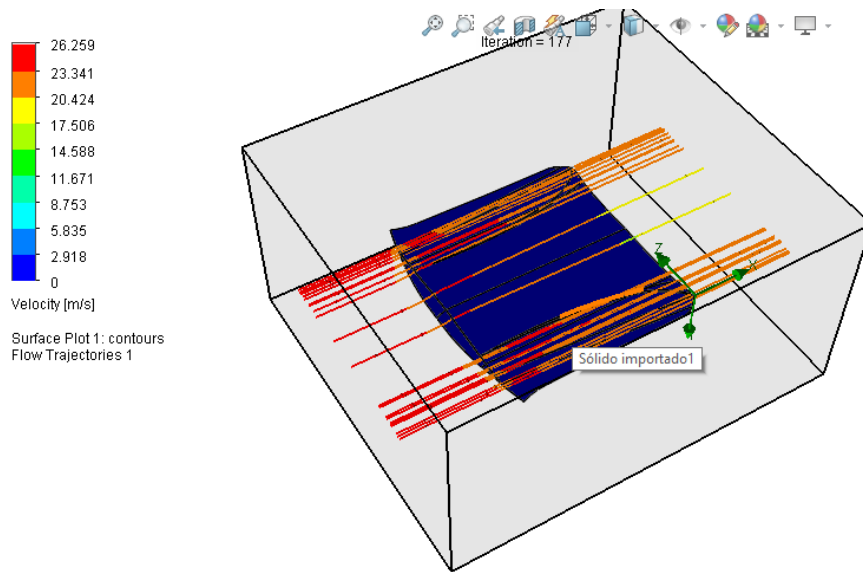


ELABORADO POR: Autores, [2018]. (Solidworks)

4.5.1.3. Simulación de comportamiento aerodinámico del Capó de la Mitsubishi L200 Doble Cabina de 2.5L 4x4.

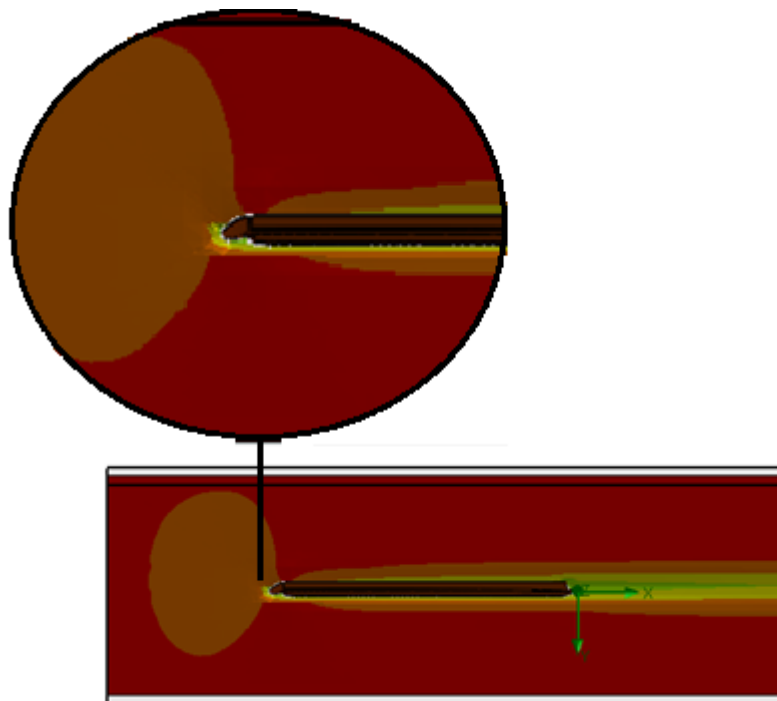
En la Ilustración 44. Se observa el resultado de la velocidad de trayectoria del capó de la camioneta Mitsubishi al momento de ser aplicadas las condiciones iniciales que se obtuvieron del cálculo matemático en la sección de pruebas del túnel ($v= 24 \text{ m/s}$) donde se obtiene que la velocidad máxima del modelo es de $26,25 \text{ m/s}$.

Ilustración 44. Velocidades de las Trayectorias de Flujo de Contorno Mitsubishi L200



ELABORADO POR: Autores, [2018]. (Solidworks)

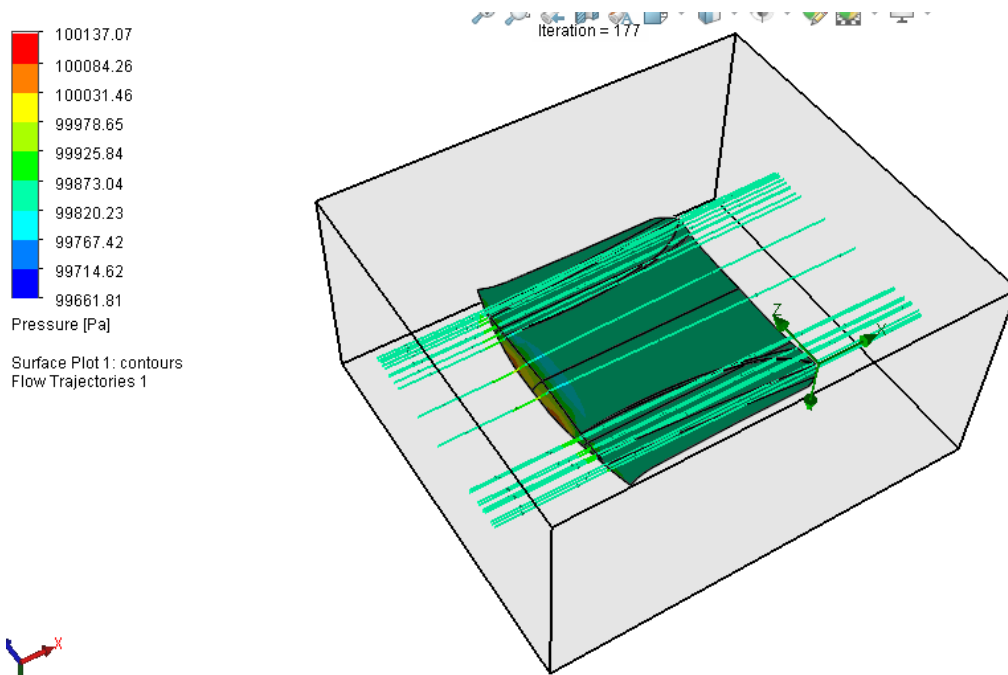
Ilustración 45. Velocidades de las Trayectorias de Flujo de Contorno Mitsubishi L200. (lateral)



ELABORADO POR: Autores, [2018]. (Solidworks)

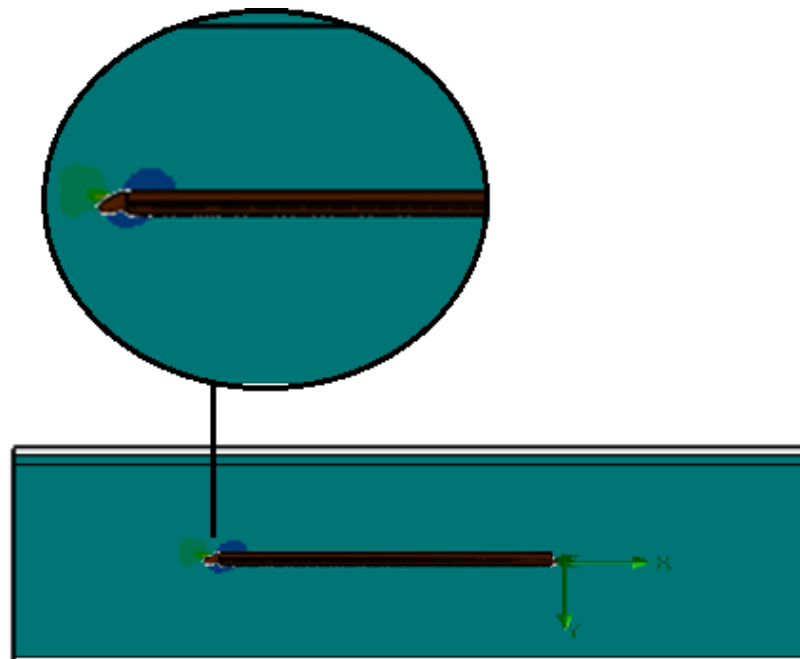
La Ilustración 46. muestra las presiones de trayectoria que se genera al realizar la simulación del capo de la camioneta Mitsubishi dentro del túnel, al momento de ingresar la presión que se obtuvo en el cálculo matemático e la sección de pruebas ($P= 99855,96 \text{ Pa}$) se obtiene que la presión máxima es de $100137,07 \text{ Pa}$.

Ilustración 46. Presiones de las Trayectorias de Flujo de Contorno Mitsubishi L200.



ELABORADO: AUTORES (SOLIDWORKS)

Ilustración 47. Presiones de las Trayectorias de Flujo de Contorno Mitsubishi L200 (lateral).



ELABORADO POR: Autores, [2018]. (Solidworks)

4.6. Informes de Simulación

4.6.1. Informe de Simulación del Túnel de Viento

1 Información General

Objetivo de la simulación: Verificar el comportamiento que presenta el túnel de viento ante condiciones previamente establecidas para determinar y verificar su comportamiento en relación al estudio de la Aerodinámica, Este estudio es uno de tres que serán previamente referenciados para ser seleccionados como referencia para desarrollar una propuesta de perfil de capó.

1.1 Análisis de Entorno

Software Producto: Flow Simulation 2017 SP0.0. Build: 3630
CPU Tipo: Intel(R) Core(TM) i5 CPU M 480 @ 2.67GHz
CPU Velocidad: 2667 MHz
RAM: 3893 MB / 134217727 MB
Sistema Operativo: Windows 10 (or higher) (Version 10.0.16299)

1.2 Información del Modelo

Nombre Modelo: tunel ensamblado.SLDASM
Nombre Proyecto: Simulación

1.3 Comentarios del Proyecto:

Sistema de Unidades: SI (m-kg-s)
Análisis Tipo: Externa (no excluye espacios internos)

1.4 Tamaño del Dominio Computacional

Tamaño

X min	-0.393 m
X max	0.688 m
Y min	-0.534 m
Y max	0.547 m
Z min	0.853 m
Z max	3.187 m

1.5 Parámetros de Simulación

1.5.1 Configuraciones de Malla

1.5.1.1 Malla básica

Dimensiones de Malla básica

Number of cells in X	8
Number of cells in Y	8
Number of cells in Z	16

1.5.1.2 Análisis de Malla

Recuento de Celdas Totales: 2276
Celdas de Fluido: 2276
Celdas Sólidas: 2788
Celdas Paciales: 1352
Celdas recortadas: 0

1.5.1.3 Cálculo de Opciones Adicionales Físicas

Transferencia Térmica Análisis: Conducción térmica en sólidos: Off
Tipo de Flujo: Laminar
Tiempo-Dependencia Análisis: Off
Gravedad: Off
Radiación:
Humedad: Off
Falla de rugosidad en la pared: 0 micrómetros (consideración de ser vidrio)

1.5.2 Configuraciones de Material1

Configuraciones de Material

Fluidos

Aire

1.5.3 Condiciones Iniciales

Condiciones Ambientales

Parámetros Termodinámicos.	Static Pressure: 100200.00 Pa Temperature: 293.20 K
Parámetros de Velocidad.	Velocity vector Velocity in X direction: 0 m/s Velocity in Y direction: 0 m/s Velocity in Z direction: 0 m/s

1.5.4 Condiciones de Frontera

Condiciones de Frontera

Presión del entorno 1

Tipo	Presión del entorno
Caras	Cara<2>@LID17-1
Sistema coordinado	Cara de Sistema Coordinado
Eje de referencia	X
Parámetros termodinámicos	Presión del entorno: 100200.00 Pa Temperatura: 293.20 K

Flujo de volumen de salida 1

Tipo	Flujo de volumen de salida
Caras	Cara<3>@LID18-1
Sistema coordinado	Cara de Sistema Coordinado
Eje de referencia	X
Parámetros de flujo	Dirección de flujo vectorial: Normal a cara Volumen rango de flujo: 3.1100 m ³ /s

1.6 Tiempos de Análisis

Calculación Tiempo: 11 s

Número de Iteraciones: 48

Advertencias:

2 Resultados

2.1 Objetivos de Análisis

Objetivos

Nombre	Unidad	Valor	Progreso	Criterio	Delta	Uso en convergencia

2.2 Global Min-Max-Tabla

Min/Max Tabla

Nombre	Minimo	Maximo
Densidad (Fluido) [kg / m ^ 3]	1.19	1.19
Presión [Pa]	99815.59	100198.88
Temperatura [K]	292.89	293.20
Temperatura (fluido) [K]	292.89	293.20
Velocidad [m / s]	0	25.646
Velocidad (X) [m / s]	-6.888	6.895
Velocidad (Y) [m / s]	-6.735	6.343
Velocidad (Z) [m / s]	-25.635	0.561
Número de Mach []	0	0.07
Velocidad RRF [m / s]	0	25.646
Velocidad RRF (X) [m / s]	-6.888	6.895
Velocidad RRF (Y) [m / s]	-6.735	6.343

Velocidad RRF (Z) [m / s]	-25.635	0.561
Vorticidad [1 / s]	0.05	771.95
Presión relativa [Pa]	-384.41	-1.12
Shear Stress [Pa]	0	0.88
Coefficiente de transferencia de calor [W / m ^ 2 / K]	0	0
Flujo de calor superficial [W / m ^ 2]	0	0
Flujo de calor superficial (convectivo) [W/m^2]	-4646556.047	1508285.789

2.3 Conclusion

El túnel de viento presenta un número de 18 iteraciones, la entrada de flujo por las rejillas es considerado laminar, presenta diferentes condiciones de frontera considerando la entrada y salida de volumen de flujo de aire, éstas entre otros resultados de flujo y condiciones térmicas tienen énfasis en el Apéndice, en la tabla de mín y máx, y sus condiciones de frontera.

3 Apéndice

3.1 Datos del Material

Ingeniería Database

Gases

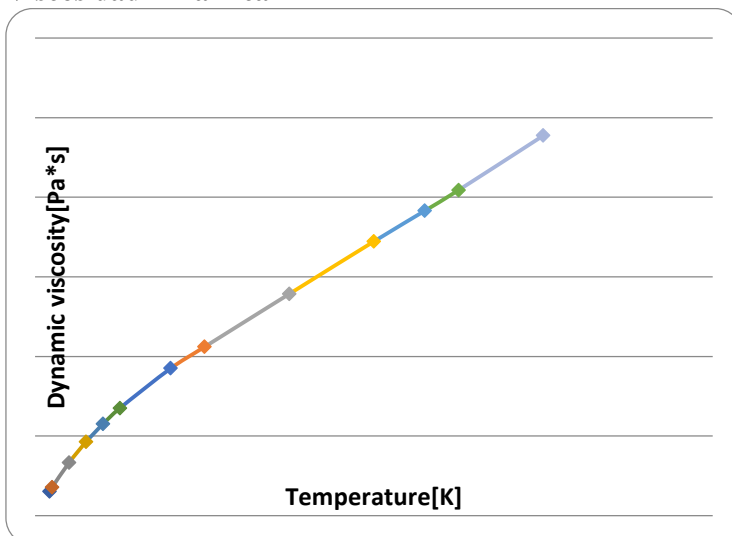
Aire

Ruta: Gases predefinidos

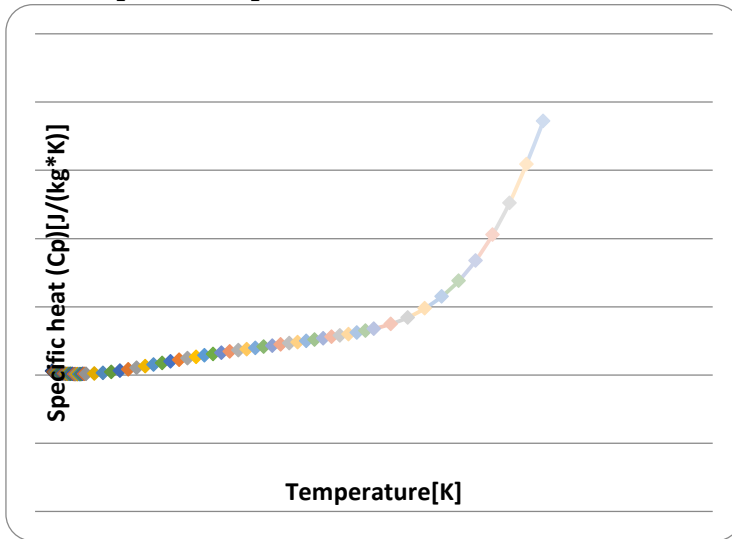
Relación de calor específico (Cp / Cv): 1.399

Masa molecular: 0.0290 kg / mol

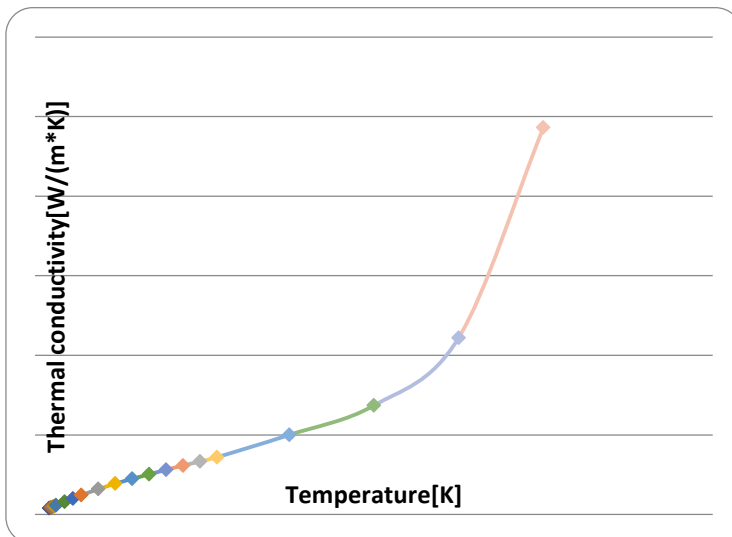
Viscosidad Dinámica



Calor Específico (Cp)



Conductividad Térmica



4.6.2. Informe del perfil de capó de la Chevrolet D-MAX CD Doble Cabina 2.5L 4x4.

4 Información General

Objetivo de la simulación: Verificar el comportamiento que presenta el perfil de capó de la Chevrolet D-MAX CD Doble Cabina 2.5L 4x4 ante condiciones previamente establecidas en un Túnel de Viento para determinar y verificar su comportamiento en relación al estudio de la Aerodinámica, Este estudio es uno de tres que serán previamente referenciados para ser seleccionados como referencia para desarrollar una propuesta de perfil de capó, la principal ventaja de este perfil es su diseño apto para más velocidad.

4.1 Análisis de Entorno

Software Producto: Flow Simulation 2017 SP0.0. Build: 3630
CPU Tipo: Intel(R) Core(TM) i5 CPU M 480 @ 2.67GHz
CPU Velocidad: 2667 MHz
RAM: 3893 MB / 134217727 MB
Sistema Operativo: Windows 10 (or higher) (Version 10.0.16299)

4.2 Información del Modelo

Nombre Modelo: Capó Chevrolet.SLDPRT
Nombre Proyecto: Simulación

4.3 Comentarios del Proyecto:

Sistema de Unidades: SI (m-kg-s)
Análisis Tipo: Externa (no excluye espacios internos)

4.4 Tamaño del Dominio Computacional

Tamaño

X min	-0.161 m
X max	0.031 m
Y min	-0.021 m
Y max	0.022 m
Z min	-0.032 m
Z max	0.163 m

4.5 Parámetros de Simulación

4.5.1 Configuraciones de Malla

4.5.1.1 Malla básica

Dimensiones de Malla básica

Number of cells in X	151
Number of cells in Y	32
Number of cells in Z	150

4.5.1.2 Análisis de Malla

Recuento de Celdas Totales: 736333
Celdas de Fluido: 736333
Celdas Sólidas: 34365
Celdas Paciales: 29562
Celdas recortadas: 0

4.5.1.3 Cálculo de Opciones Adicionales Físicas

Transferencia Térmica Análisis: Conducción térmica en sólidos: Off
Tipo de Flujo: Laminar y turbulento
Tiempo-Dependencia Análisis: Off
Gravedad: Off
Radiación:
Humedad: Off
Falla de rugosidad en la pared: 0 micrómetros (consideración de ser vidrio)

4.5.2 Configuraciones de Material

Configuraciones de Material

Fluidos

Aire

4.5.3 Condiciones Iniciales

Condiciones Ambientales

Parámetros Termodinámicos.	Presión Estática: 99855.96 Pa Temperatura: 293.20 K
Parámetros de Velocidad.	Velocidad vector Velocidad en X dirección: 24.000 m/s Velocidad en Y dirección: 0 m/s Velocidad en Z dirección: 0 m/s

4.6 Tiempos de Análisis

Calculación Tiempo: 22174 s
Número de Iteraciones: 205
Advertencias

5 Resultados

5.1 Objetivos de Análisis

Objetivos

Nombre	Unidad	Valor	Progreso	Criterio	Delta	Uso en convergencia
--------	--------	-------	----------	----------	-------	---------------------

5.2 Global Min-Max-Tabla

Min/Max Tabla

Nombre	Mínimo	Máximo
Densidad (Fluido) [kg / m ^ 3]	1.18	1.20
Presión [Pa]	99346.02	100818.74
Temperatura [K]	292.94	293.48
Temperatura (fluido) [K]	292.94	293.48
Velocidad [m / s]	0	32.643

Velocidad (X) [m / s]	-8.843	32.005
Velocidad (Y) [m / s]	-13.353	13.158
Velocidad (Z) [m / s]	-14.924	14.773
Número de Mach []	0	0.10
Velocidad RRF [m / s]	0	32.643
Velocidad RRF (X) [m / s]	-8.843	32.005
Velocidad RRF (Y) [m / s]	-13.353	13.158
Velocidad RRF (Z) [m / s]	-14.924	14.773
Vorticidad [1 / s]	0.09	36713.82
Presión relativa [Pa]	-509.94	962.78
Shear Stress [Pa]	0	17.31
Coefficiente de transferencia de calor [W / m ^ 2 / K]	0	0
Flujo de calor superficial [W / m ^ 2]	0	0
Flujo de calor superficial (convectivo) [W / m ^ 2]	0	0
Potencia acústica [dB]	0	218.09

5.3 Conclusión

Se determina en este informe varios de los parámetros que han sido considerados en el estudio como las velocidades alcanzadas y las presiones a las que esta sometido el capó y del mismo modo obteniendo mediante tablas que facilita el software valores max y min de otros esquemas no menos importantes en la simulación.

6 Apéndice

6.1 Datos del Material

Ingeniería Database

Gases

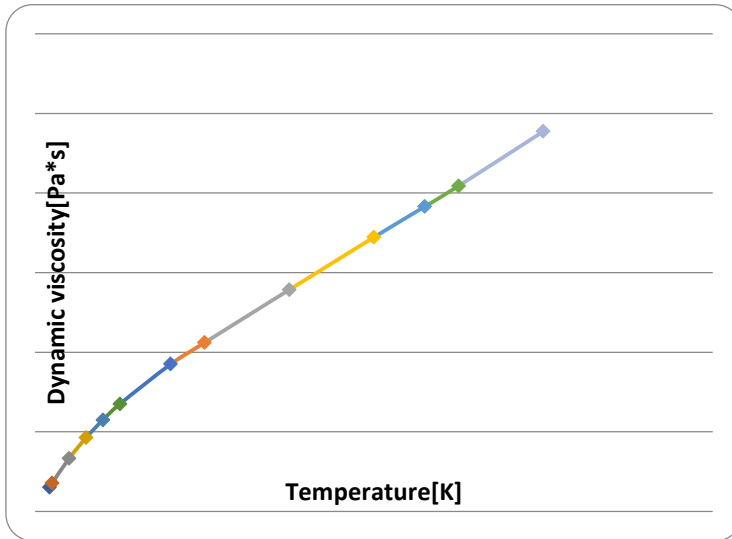
Aire

Ruta: Gases predefinidos

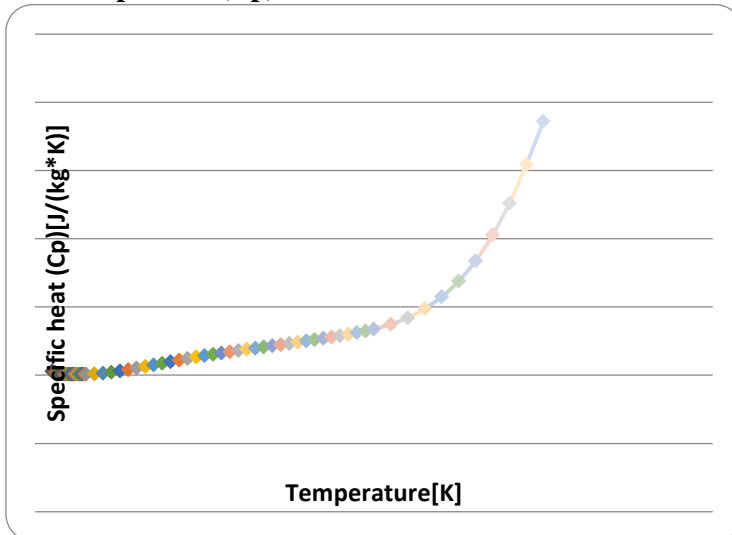
Relación de calor específico (Cp / Cv): 1.399

Masa molecular: 0.0290 kg / mol

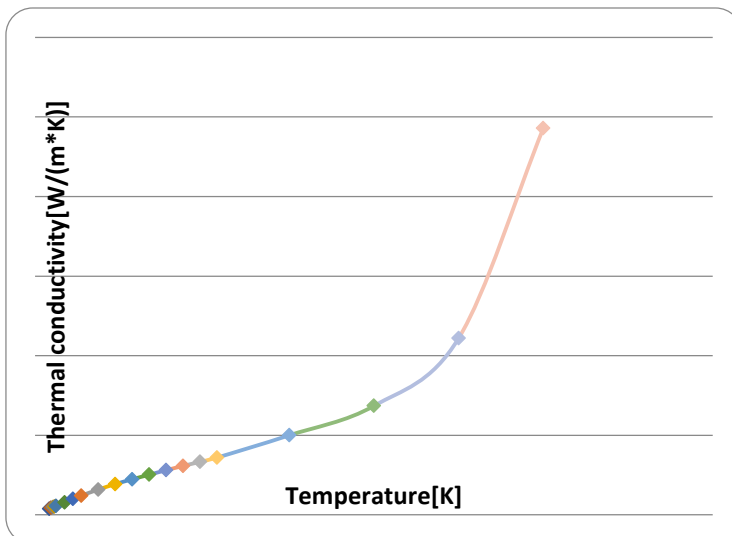
Viscosidad Dinámica



Calor Específico (Cp)



Conductividad Térmica



4.6.3. Informe del perfil de capó de la Mitsubishi L200 Doble Cabina de 2.5L 4x4.

7 Información General

Objetivo de la simulación: Verificar el comportamiento que presenta el perfil de capó de la Mitsubishi L200 Doble Cabina de 2.5L 4x4. ante condiciones previamente establecidas en un Túnel de Viento para determinar y verificar su comportamiento en relación al estudio de la Aerodinámica, Este estudio es uno de tres que serán previamente referenciados para ser seleccionados como referencia para desarrollar una propuesta de perfil de capó, la principal ventaja de este perfil es su diseño apto para más comodidad y confort.

7.1 Análisis de Entorno

Software Producto: Flow Simulation 2017 SP0.0. Build: 3630
CPU Tipo: Intel(R) Core(TM) i5 CPU M 480 @ 2.67GHz
CPU Velocidad: 2667 MHz
RAM: 3893 MB / 134217727 MB
Sistema Operativo: Windows 10 (or higher) (Version 10.0.16299)

7.2 Información del Modelo

Nombre Modelo: Mitsubishi.SLDPRT
Nombre Proyecto: Simulación

7.3 Comentarios del Proyecto:

Sistema de Unidades: SI (m-kg-s)
Análisis Tipo: Externa (no excluye espacios internos)

7.4 Tamaño del Dominio Computacional

Tamaño

X min	-0.203 m
X max	0.071 m
Y min	-0.070 m
Y max	0.066 m
Z min	-0.054 m
Z max	0.186 m

7.5 Parámetros de Simulación

7.5.1 Configuraciones de Malla

7.5.1.1 Malla básica

Dimensiones de Malla básica

Number of cells in X	38
Number of cells in Y	20
Number of cells in Z	30

7.5.1.2 Análisis de Malla

Recuento de Celdas Totales: 24751
Celdas de Fluido: 24751
Celdas Sólidas: 981
Celdas Paciales: 971
Celdas recortadas: 0

7.5.1.3 Cálculo de Opciones Adicionales Físicas

Transferencia Térmica Análisis: Conducción térmica en sólidos: Off
Tipo de Flujo: Laminar y turbulento
Tiempo-Dependencia Análisis: Off
Gravedad: Off
Radiación:
Humedad: Off
Falla de rugosidad en la pared: 0 micrómetros (consideración de ser vidrio)

7.5.2 Configuraciones de Material

Configuraciones de Material

Fluidos

Aire

7.5.3 Condiciones Iniciales

Condiciones Ambientales

Parámetros Termodinámicos.	Static Pressure: 99855.96 Pa Temperature: 293.20 K
Parámetros de Velocidad.	Velocity vector Velocity in X direction: 24.000 m/s Velocity in Y direction: 0 m/s Velocity in Z direction: 0 m/s

7.6 Tiempos de Análisis

Calculación Tiempo: 282 s
Número de Iteraciones: 177
Advertencias

8 Resultados

8.1 Objetivos de Análisis

Objetivos

Nombre	Unidad	Valor	Progreso	Criterio	Delta	Uso en convergencia
--------	--------	-------	----------	----------	-------	---------------------

8.2 Global Min-Max-Tabla

Min/Max Tabla

Nombre	Minimo	Maximo
Densidad (Fluido) [kg / m ^ 3]	1.18	1.19
Presión [Pa]	99661.81	100137.07
Temperatura [K]	293.13	293.48
Temperatura (fluido) [K]	293.13	293.48
Velocidad [m / s]	0	26.259
Velocidad (X) [m / s]	0	26.217
Velocidad (Y) [m / s]	-13.159	2.144
Velocidad (Z) [m / s]	-10.096	10.031
Número de Mach []	0	0.08
Velocidad RRF [m / s]	0	26.259
Velocidad RRF (X) [m / s]	0	26.217
Velocidad RRF (Y) [m / s]	-13.159	2.144
Velocidad RRF (Z) [m / s]	-10.096	10.031
Vorticidad [1 / s]	0.18	3859.49
Presión relativa [Pa]	-194.15	281.11
Shear Stress [Pa]	0	12.67
Coefficiente de transferencia de calor [W / m ^ 2 / K]	0	0
Flujo de calor superficial [W / m ^ 2]	0	0
Flujo de calor superficial (convectivo) [W / m ^ 2]	0	0

8.3 Conclusion

Se determina en este informe que el presente perfil presenta un total de 177 iteraciones en su estudio de presión y velocidad, parámetros que han sido considerados en el estudio, del mismo modo obteniendo mediante tablas que facilita el software valores max y min en la simulación.

9 Apéndice

9.1 Datos del Material

Ingeniería Database

Gases

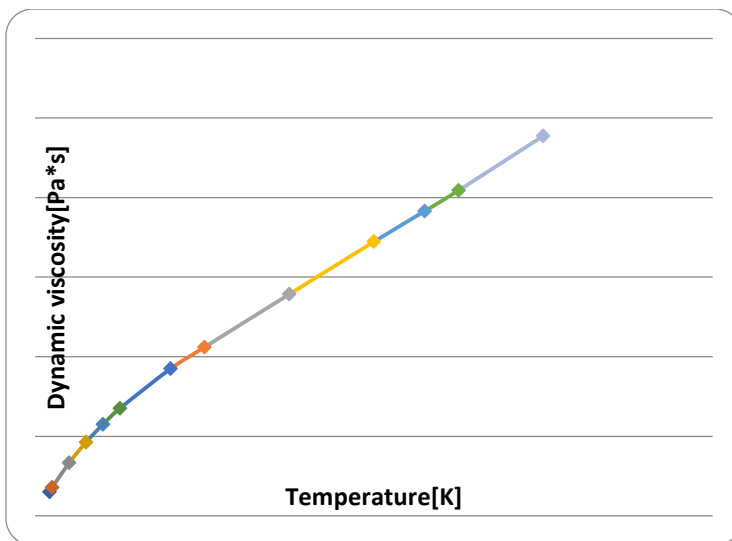
Aire

Ruta: Gases predefinidos

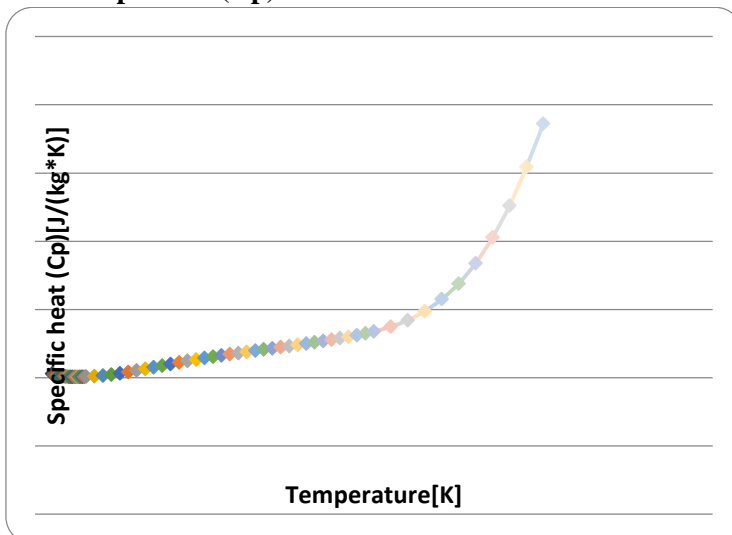
Relación de calor específico (C_p / C_v): 1.399

Masa molecular: 0.0290 kg / mol

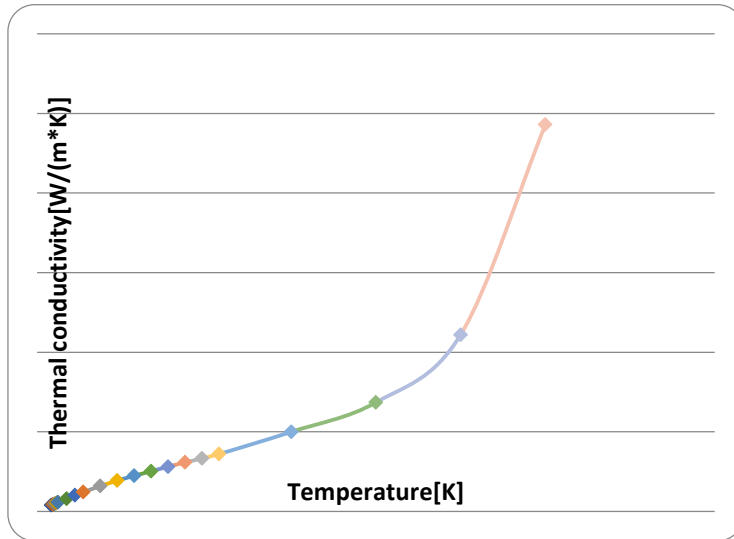
Viscosidad Dinámica



Calor Específico (C_p)



Conductividad Térmica



4.6.4. Informe del perfil de capó de la Mitsubishi L200 Doble Cabina de 2.5L 4x4.

10 Información General

Objetivo de la simulación: Verificar el comportamiento que presenta el perfil de capó de la Capó de la Mazda BT-50 Doble Cabina 2.5L 4x4 Di ante condiciones previamente establecidas en un Túnel de Viento para determinar y verificar su comportamiento en relación al estudio de la Aerodinámica, Este estudio es uno de tres que serán previamente referenciados para ser seleccionados como referencia para desarrollar una propuesta de perfil de capó, la principal ventaja de este perfil es su diseño apto para más seguridad.

10.1 Análisis de Entorno

Software Producto: Flow Simulation 2017 SP0.0. Build: 3630
CPU Tipo: Intel(R) Core(TM) i5 CPU M 480 @ 2.67GHz
CPU Velocidad: 2667 MHz
RAM: 3893 MB / 134217727 MB
Sistema Operativo: Windows 10 (or higher) (Version 10.0.16299)

10.2 Información del Modelo

Nombre Modelo: mazda operacion.SLDPRT
Nombre Proyecto: Simulación

10.3 Comentarios del Proyecto:

Sistema de Unidades: SI (m-kg-s)
Análisis Tipo: Externa (no excluye espacios internos)

10.4 Tamaño del Dominio Computacional

Tamaño

X min	-0.167 m
X max	0.040 m
Y min	-0.029 m
Y max	0.028 m
Z min	-0.037 m
Z max	0.169 m

10.5 Parámetros de Simulación

10.5.1 Configuraciones de Malla

10.5.1.1 Malla básica

Dimensiones de Malla básica

Number of cells in X	124
Number of cells in Y	32
Number of cells in Z	120

10.5.1.2 Análisis de Malla

Recuento de Celdas Totales: 486998
Celdas de Fluido: 486998
Celdas Sólidas: 11746
Celdas Paciales: 11746
Celdas recortadas: 0

10.5.1.3 Cálculo de Opciones Adicionales Físicas

Transferencia Térmica Análisis: Conducción térmica en sólidos: Off
Tipo de Flujo: Laminar y turbulento
Tiempo-Dependencia Análisis: Off
Gravedad: Off
Radiación:
Humedad: Off
Falla de rugosidad en la pared: 0 micrómetros (consideración de ser vidrio)

10.5.2 Configuraciones de Material1

Configuraciones de Material

Fluidos

Aire

10.5.3 Condiciones Iniciales

Condiciones Ambientales

Parámetros Termodinámicos.	Static Pressure: 99855.96 Pa Temperature: 293.20 K
Parámetros de Velocidad.	Velocity vector Velocity in X direction: 24.000 m/s Velocity in Y direction: 0 m/s Velocity in Z direction: 0 m/s

10.6 Tiempos de Análisis

Calculación Tiempo: 3989 s

Número de Iteraciones: 200

Advertencias

11 Resultados

11.1 Objetivos de Análisis

Objetivos

Nombre	Unidad	Valor	Progreso	Criterio	Delta	Uso en convergencia
--------	--------	-------	----------	----------	-------	---------------------

11.2 Global Min-Max-Tabla

Min/Max Tabla

Nombre	Minimum	Maximum
Densidad (Fluido) [kg / m ^ 3]	1.18	1.20
Presión [Pa]	99449.91	100659.18
Temperatura [K]	292.96	293.48
Temperatura (fluido) [K]	292.96	293.48
Velocidad [m / s]	0	30.895
Velocidad (X) [m / s]	-6.762	30.544
Velocidad (Y) [m / s]	-15.307	10.219
Velocidad (Z) [m / s]	-9.280	9.298
Número de Mach []	0	0.09
Velocidad RRF [m / s]	0	30.895
Velocidad RRF (X) [m / s]	-6.762	30.544
Velocidad RRF (Y) [m / s]	-15.307	10.219

Velocidad RRF (Z) [m / s]	-9.280	9.298
Vorticidad [1 / s]	0.27	23526.58
Presión relativa [Pa]	-406.05	803.22
Shear Stress [Pa]	0	11.69
Coefficiente de transferencia de calor [W / m ^ 2 / K]	0	0
Flujo de calor superficial [W / m ^ 2]	0	0
Flujo de calor superficial (convectivo) [W / m ^ 2]	0	0
Potencia acústica [dB]	0	226.42

11.3 Conclusión

Se concluye que este perfil de Mitsubishi 1200 presenta alrededor de 200 iteraciones, para el desarrollo de su simulación se determina que cuenta con una óptima dirección de viento y un adecuado balance de corriente con consideraciones de presión y velocidad a las que se expuso el perfil.

12 Apéndice

12.1 Datos del Material

Ingeniería Database

Gases

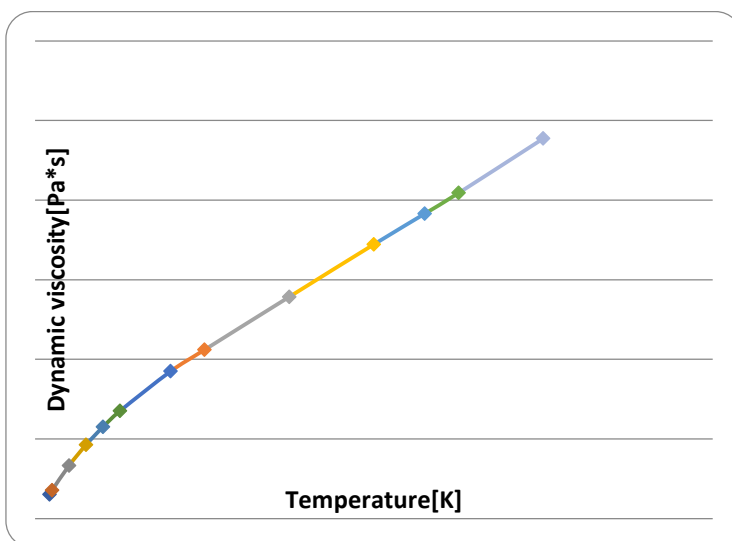
Aire

Ruta: Gases predefinidos

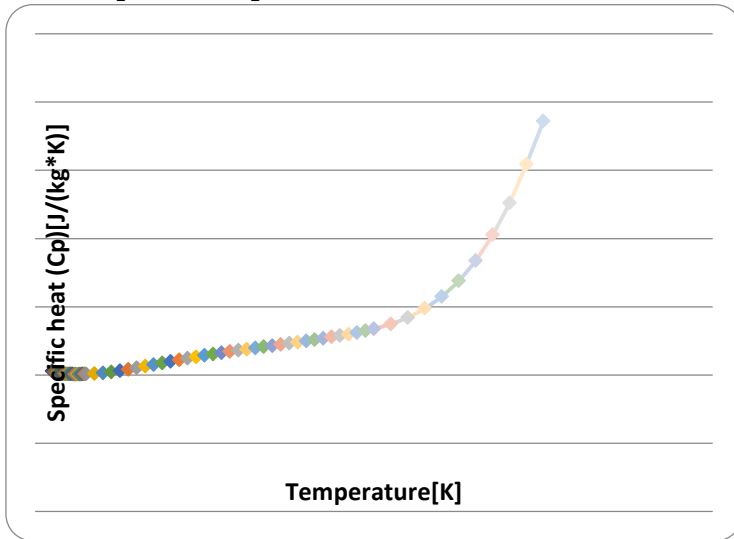
Relación de calor específico (Cp / Cv): 1.399

Masa molecular: 0.0290 kg / mol

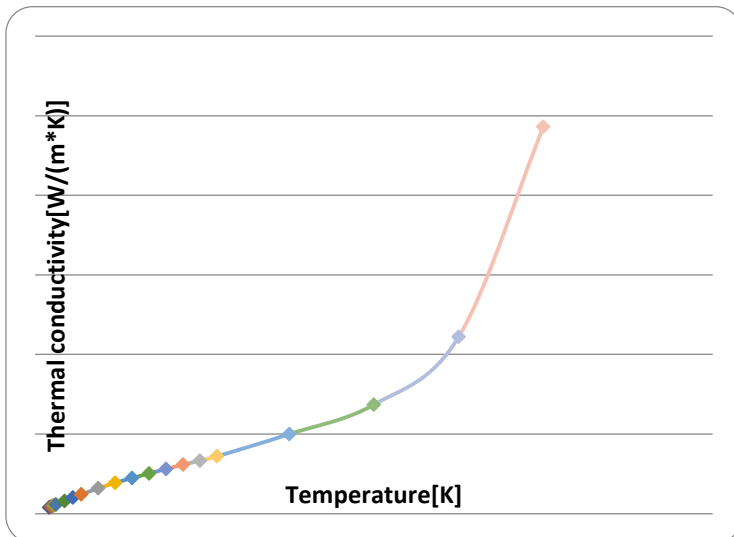
Viscosidad Dinámica



Calor Especifico (Cp)



Conductividad Térmica



4.7. Desarrollo de la Propuesta de Diseño de un nuevo Capó.

4.7.1. Exposición de ventajas y desventajas de cada camioneta y de cada perfil individualmente.

Tabla 27. Mitsubishi L200.

	Ventajas	Desventajas
Perfil de capó	<ul style="list-style-type: none"> • Corte en la mitad del capó proyectado hacia arriba estilo V invertida, dirige parte del aire a los costados • Doble corte lateral en ambos costados del capó circula el flujo de aire y proporcionan un agradable diseño y caída. • Su diseño no se ve variado por los faros. 	Puede haber mayor distribución de aire.

ELABORADO POR: Autores, 2018.

FUENTE: Mitsubishi Motors Corporation.

Tabla 28. Chevrolet D-MAX.

	Ventajas	Desventajas
Perfil de capó	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Diseño de 4 cortes con proyección de flujo de aire. ✓ Diseño más agradable y dócil 	El aire es más distribuido en medio de capó, es poco eficiente.

ELABORADO POR: Autores, 2018.

FUENTE: Chevrolet, General Motors.

Tabla 29. Mazda BT-50.

	Ventajas	Desventajas
Perfil de capó	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Cortes laterales son aerodinámicos, proyectando el viento a los costados ✓ Proyección y curva delantera suave, condicionando el aire. ✓ Diseño más agradable y dócil 	Está muy enfocado a la seguridad, puede ser más aerodinámico

ELABORADO POR: Autores, 2018.

FUENTE: Mazda Motor Corporation.

4.7.2. Propuesta de Diseño.

Ilustraciones de parte frontal de las camionetas seleccionadas para ver dirección de flujo.

Ilustración 48. Chevrolet D-MAX CD Doble Cabina 2.5L 4x4.



FUENTE: Chevrolet, General Motors.

Ilustración 49. Mazda BT-50 Doble Cabina 2.5L 4x4.



FUENTE: Mazda Motor Corporation.

Ilustración 50. Mitsubishi L200 Doble Cabina de 2.5L 4x4.



FUENTE: Mitsubishi Motors Corporation.

4.7.2.1. Análisis de dimensiones y elementos que afectarán directamente al diseño del perfil.

El perfil es el elemento de un todo, bajo este criterio el perfil de un capó es una parte de un vehículo, siendo más específicos a la investigación, a una camioneta, por esto hay que observar el impacto de flujo de aire delante de ésta, ver como distribuye las corrientes de aire y cómo sus dimensiones afectan al diseño del perfil. Para determinar las mejores condiciones en el diseño de perfil integrar una relación de sus anteriores selecciones es lo más adecuado.

Tabla 30. Dimensiones y Carga de las camionetas seleccionadas.

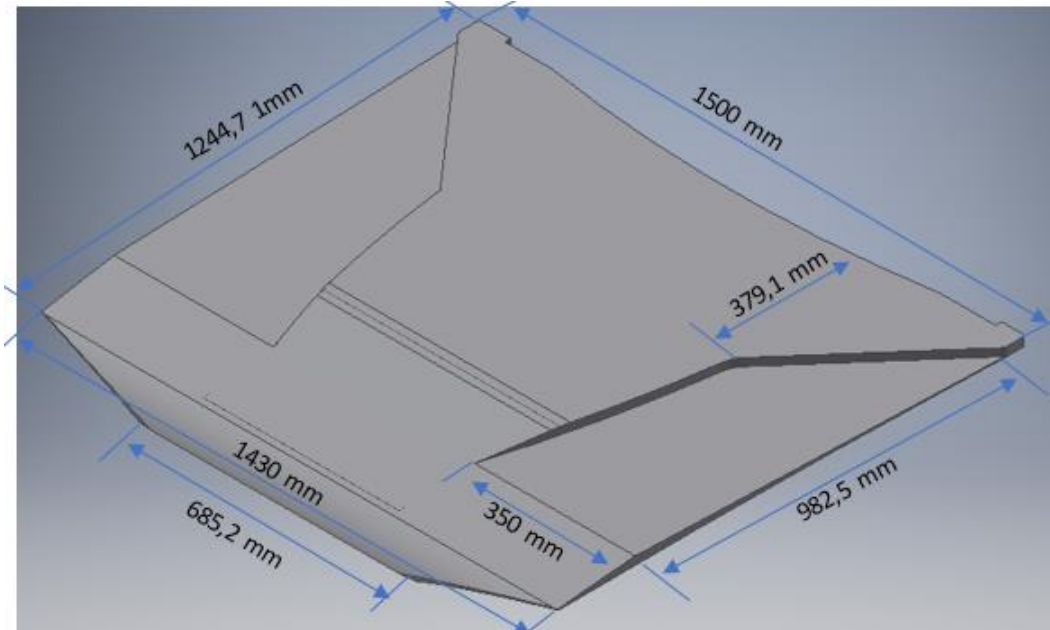
Marca	Año	Dimensiones y carga máxima.
Mazda BT-50 Doble Cabina 2.5L 4x4 Di	2017	Altura: 1821mm. Ancho: 1850mm. Longitud: 5365mm. Peso vacío: 2113 Kg. Peso carga: 1087 Kg.
Mitsubishi L200 Doble Cabina de 2.5L 4x4.	2017	Altura: 1775mm. Ancho: 1785mm. Longitud: 5200mm. Peso vacío: 2660 Kg. Peso carga: 1040 Kg.
Chevrolet D- MAX CD Doble Cabina 2.5L 4x4	2017	Altura: 1790mm. Ancho: 1860mm. Longitud: 5295mm. Peso vacío: 2950 Kg. Peso carga: 1045 Kg.

ELABORADO POR: Autores, 2018

FUENTE: Mazda Motor Corporation, Mitsubishi Motors Corporation, General Motors.

4.7.3. PROPUESTA DE DISEÑO DE CAPÓ AUTOMOTRIZ.

Ilustración 51. Propuesta de diseño de capó.



ELABORADO POR: Autores (Solidworks)

Descripción: La presente propuesta de capó tiene unas medidas de 1500 mm de ancho en su parte posterior y en la parte frontal es de 1430 mm de ancho, de largo tiene una medida 1247,71 mm, cuenta con una marca pronunciada en forma de “T” me tiene una medida de 21 mm en la parte posterior llegando a desaparecer en la dirección del frente, dejando en los extremos (costados) 2 cuadros de 982,5 x 442,4 mm.

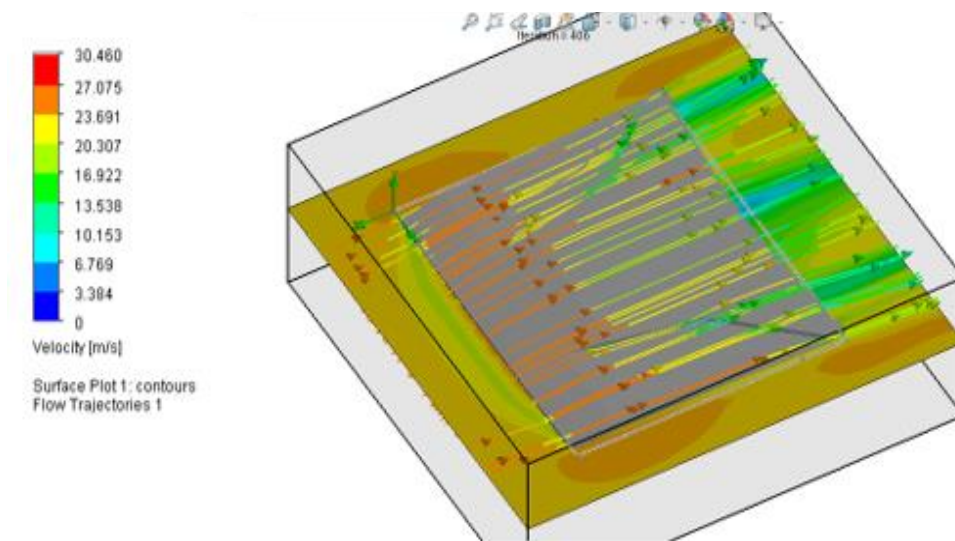
¿Por qué es selecciona esta propuesta?

Se plantea la propuesta tomando en consideración el rendimiento aerodinámico dotando al capó de un mejor perfil estructural marcando líneas más pronunciadas en los extremos y elevando su parte central tipo “T”. El diseño hace que el fluido de aire sea canalizado hacia los extremos laterales y posea una mejor salida hacia la parte posterior del vehículo, de esta manera mejorar el rendimiento delantero.

4.7.3.1. Simulación del perfil propuesto

En la ilustración siguiente se puede observar el estudio de colores de velocidades a las que se somete el perfil propuesto dando como resultado que las velocidades más fuertes se encuentran en la parte frontal y en la parte posterior se disipa el viento disminuyendo la velocidad del viento.

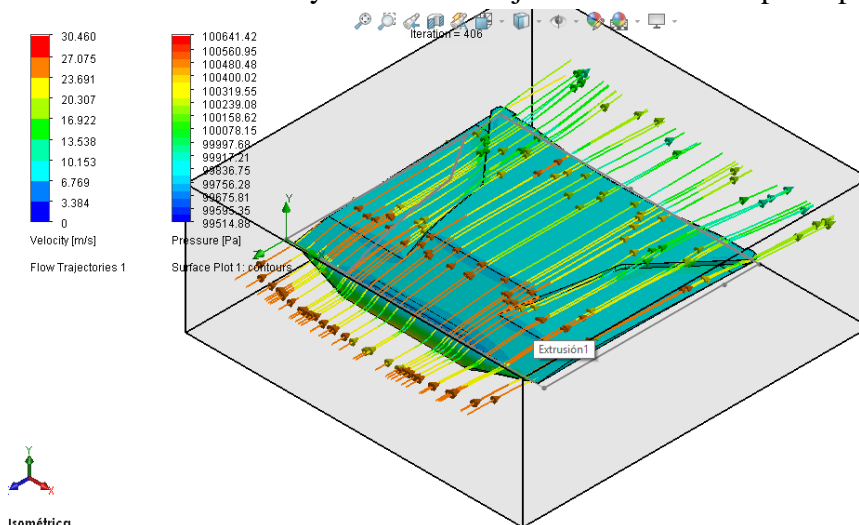
Ilustración 52. Velocidad de trayectorias de Flujo de contorno del perfil propuesto.



Elaborado por: Autores (Solidworks)

En la siguiente ilustración se observa el perfil propuesto se encuentre dentro del rango de presiones de 99756,28 a 99912,21 Pa, siendo válido en consideración de las presiones iniciales.

Ilustración 53. Presiones de Trayectorias de Flujo de Contorno del perfil propuesto



Elaborado por: Autores (Solidworks)

4.8. Estudio económico.

Se detalla a continuación el análisis de costos para su fabricación y ensamble correspondiente del Túnel de viento como consideración de ser construido a futuro, en base a este estudio se puede determinar el costo de implementación en la Universidad Técnica Estatal de Quevedo.

La principal deferencia son que los materiales y componentes del túnel sean elementos óptimos bajo condición a que es una herramienta de estudio y que puedan ser conseguidos de diversos proveedores direccionados a aquellos que sean económicos y de perfecta calidad. Se ejecuta el análisis agrupando los costos de la siguiente forma: Costos de materiales directos, costos de mano de obra, costos indirectos y como conclusión el costo final de la máquina. Para referencias véase el Anexo 2, 5, 6, 7 y 8 de materiales.

4.8.1. Costos de Materiales

Tabla 31. Costos de materiales.

COSTOS DIRECTOS				
Cantidad	Descripción	Unidad	V. Unitario	Total
6	Estructura del túnel de viento en A36	Plancha 1x20x2.4	50.00	300.00
1	Anemómetro	Unidad	150.00	150.00
1	Ventilador Sodeca HT-56-4t-1	Unidad	1,816.38	1,816.38
1	Caudalímetro de efecto Coriolis	Unidad	35.00	35.00
30	Pernos	Unidad	0.60	18.00
1	Resina Epoximil	Litro	50.00	50.00
1	Variador de frecuencia y accesorios	Unidad	240.00	240.00
1	Manómetro	Unidad	68.00	68.00
1	Estabilizador de flujo	Plancha 1x1x0.02	34.00	34.00
4	Cable alimentador	5 metros	7.50	30.00
5	Perfiles en L	6 metros	10.00	50.00
1	Vidrio de la cámara de pruebas	Unidad	175.50	175.50
			Subtotal	2,966.88

ELABORADO POR: Autores, [2018]. (Excel)

Se desglosan aquellos materiales que se emplean en la fabricación del túnel de viento considerando las partes más indispensables de la estructura, estos son las planchas de tol negro, ventilador, sección de pruebas y sus sensores, dichos elementos serán seleccionados considerando economía y garantía.

4.8.2. Costos de Mano de Obra

Cuando nos referimos a los costos de mano de obra es direccionado al manejo de herramientas mecánicas que son necesarias y que deben ser manipuladas bajo un control técnico estricto ya que al ser el túnel una herramienta de medida tiene que tener un criterio y construcción bien formada.

Tabla 32. Mano de Obra

MANO DE OBRA				
Descripción	# Obreros	Salario/Hora	Hora	Total
Soldador	1	9	8	72
Mecánico	1	6	24	144
Subtotal				216

ELABORADO POR: Autores, [2018]. (Excel)

4.8.3. Costos de Diseño.

El valor presente es calculado bajo la condición en las horas empleadas por el diseñador y generalmente se considera el 20% del total del proyecto.

Tabla 33. Costos Indirectos

Descripción	Integrantes	Total
Ingeniería Y Diseño	2	626.58

ELABORADO POR: Autores, [2018]. (Excel)

4.8.4. Costos imprevistos.

Son los costos de administración, transporte y valores adicionales que se puedan surgir en el transcurso del proyecto, por lo general es el 10% del proyecto.

4.8.5. Costo Total del banco de Pruebas Aerodinámico.

La Tabla 33 muestra la sumatoria de cada uno de los rubros anteriores al cual también se le suma el valor referente del costo de diseño e imprevisto resultando así el valor final que se requiere para su posible construcción.

Tabla 34. Costo Total del Túnel de Viento

COSTO TOTAL	
Subtotal (Costo Directo + Mano De Obra + Costo Indirecto)	3,132.88
Costo Imprevisto 10%	313.29
TOTAL (INCLUYENDO COSTOS INDIRECTOS E IMPREVISTOS)	4,072.74

ELABORADO POR: Autores, [2018]. (Excel)

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Se concluye que los componentes necesarios para el túnel de viento son Sección de Contracción en el que incluye las rejillas o ventanillas direccionadoras de flujo, Sección de pruebas con elementos de sujeción y sensores didácticos, Difusor y la Sección de Empuje o filtración que incluye el ventilador y motor.
- La investigación y cálculos realizados permitió determinar los materiales necesarios para su diseño, así mismo el adecuado dimensionamiento del túnel de viento, considerando que su área de funcionamiento es plenamente académica, se concluyen las siguientes medidas, 2750 mm de longitud y 1000 mm de alto y de ancho en la entrada (cono de contracción) y 560 mm de diámetro en la parte final del túnel (difusor).
- En el Protocolo de pruebas se demuestra el funcionamiento del túnel de viento con más detalle, una guía textual y gráfica de cómo se desarrolla el proceso de simulación de fluidos de los perfiles de capó en la extensión CFD-Fluid Simulation del programa de diseño y simulación Solidworks del año 2017, el diseño de la estructura de soporte y los resultados que se consiguen del software.
- Se seleccionaron tres perfiles de capó de camionetas de distintas marcas y diferente estructura las cuales son la Mazda BT-50, Mitsubishi L200, Chevrolet D-MAX, éstas tienen que cumplir condiciones de ser 4x4, doble cabina, cilindrada de 2.5L y del año 2017, estos términos fueron seleccionados para que el enfoque y diseño del capó sea similar y comparar su estructura para desarrollar una propuesta de diseño.
- Ya establecidos los perfiles se diseñaron y dimensionaron en base al área de la Sección de Pruebas, el área donde se planea estudiar los elementos, su manipulación debe desarrollarse a escala de su tamaño original, que como finalidad se determinaron ventajas y desventajas entre las diferencias que tienen sus estructuras.
- Se desarrolla el análisis de costos de manufactura como consideración de que se puede implementar en la Universidad Técnica Estatal de Quevedo a futuro considerando elementos de bajo costo, de fábrica y que estos proveedores posean certificación de calidad.

5.2. Recomendaciones

- Se recomienda que, si a posterior se considera manufacturar, delimitar el número de componentes que estarán incluidas en el túnel de viento puesto que alteran el flujo de aire que ingresa y puede provocar turbulencias en la sección de pruebas, se debe verificar que sus componentes se presenten en excelente estado y el tol lo más liso posible sin imperfecciones y no alterar la capa límite del difusor.
- Para realizar la iteración se recomienda partir de un cálculo ejecutado previamente con un rango de medidas y así obtener el valor aproximado necesario para la selección del ventilador para después realizar el mismo proceso inversamente y obtener las medidas fijas del diseño.
- Los perfiles seleccionados tienen que ser especificados como elementos aerodinámicos, se recomienda estudiar elementos que estén en constante aplicación y desarrollo, ya sea a nivel regional como internacional, estos pueden ser variados desde un componente hasta una estructura completa, todo dependerá del objetivo de estudio académico.
- Se recomienda siempre hacer el protocolo de pruebas de una herramienta-máquina para especificar su funcionamiento y desarrollo de procesos partiendo desde un origen, el flujograma de procesos debe de estar bien especificado, es igualmente recomendable explicar después el proceso textualmente completo, al menos las partes que necesitan ser más detalladas.
- Diseñar y realizar pruebas de funcionamiento de cada perfil cuya finalidad sea determinar las diferencias entre la variación de sus estructuras y relacionarlas a cómo afecta el entorno, planteando observaciones y recomendaciones para optimizar un perfil en base a los datos obtenidos.
- Los materiales tienen que estar en excelentes condiciones, la estructura del túnel no debe poseer imperfecciones, existen diversos sensores en el mercado con mayores especificaciones de medidas, pueden ampliar más el rango de estudio, los materiales dentro del túnel no deben estorbar el proceso.

CAPÍTULO VI
BIBLIOGRAFÍA

Bibliografía

- [1] R. G. Budynas y J. K. Nisbett, Diseño de ingeniería mecánica de Shigley, México D. F.: Mc Graw Hill, 2012.
- [2] J. Wickert y K. E. Lewis, An introduction to Mechanical Engineering, The United States: CENGAGE Learning, 2013.
- [3] W. D. Kelton, R. P. Sadowski y D. T. Sturrock, Simulación con software Arena, Mc Graw Hill, 2012.
- [4] R. Coss Bu, Simulación Un enfoque práctico, México: Limusa S.A., 2003.
- [5] Diccionario de Oxford, Englad: Oxford University Press, 2017.
- [6] N. Sabella, Applied Aerodynamics, Scitus Academics, 2016.
- [7] J. Chattot y M. Hafez, Theoretical and Applied Aerodynamics and Related Numerical Methods, New York: Springer, 2015.
- [8] H. K. Versteeg y W. Malalasekera, An Introduction to Computacional Fluid Dynamics, England: Pearson Education Limited, 2007.
- [9] J. Tu, G.-H. Yeoh y C. Liu, Computational Fluid Dynamics, Estados Unidos: Elsevier Ltd., 2013.
- [10] I. J. F. M. S. Zapata, Diseño de Elementos de máquina, Piura, 2013.
- [11] F. Wild, «National Aeronautics and Space Administration,» 06 Agosto 2017. [En línea]. Available: <https://www.nasa.gov/audience/forstudents/k-4/stories/nasa-knows/what-are-wind-tunnels-k4.html>. [Último acceso: 16 Agosto 2017].
- [12] J. D. Pereira, Wind Tunnels, New York: Nova Science Publishers, 2011.
- [13] I. H. Abbott, Theory of wing sections, Nueva York: Dover Publications, 1959.
- [14] W. H. R. A. P. Jewel B. Barlow, Low-Speed Wind Tunnel Testing, New York, Estados Unidos: John Wiley & Sons, 1999.
- [15] J. N. Libii, Wind Tunnels and Experimental Fluid Dynamics Research, Croacia: InTech, 2011.
- [16] J. M. C. Yunes A. Çengel, Mecánica de Fluidos, México, D.F.: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, 2006.
- [17] R. L. Mott, Mecánica de fluidos, México: Pearson Educación, 2006.
- [18] F. M. White, Mecánica de fluidos, Madrid: Mc. Graw Hill, 2003.

- [19] B. J. Sutherland, A Redefined Hydraulic Diameter for Laminar Flow, Pennsylvania: Defense Technical Information Center, 1986.
- [20] Barbeau y Gérard, «Vianica.com,» 1990. [En línea]. Available: <https://vianica.com/sp/go/specials/14-frutas-de-nicaragua.html>. [Último acceso: 23 09 2017].
- [21] B. C. Yen, Channel Flow Resistance: Centennial of Manning's Formula, California: Water Resources Publication, 1992.
- [22] R. A. Española, «RAE,» RAE, 15 Enero 2018. [En línea]. Available: dle.rae.es. [Último acceso: 23 Marzo 2018].
- [23] J. B. E. C. L. Ranauld V. Giles, Mecánica de los fluidos e hidráulica, Mexico D.F.: McGraw-Hill, 1994.
- [24] R. L. Mott, Diseño de Elementos de Máquinas, México: PEARSON Educación, 2006.
- [25] P. H. GmbH, «PCE Instruments™,» 12 Enero 2017. [En línea]. Available: https://www.pce-instruments.com/espanol/instrumento-medida/medidor/rugosimetro-kat_70668_1.htm. [Último acceso: 13 Septiembre 2017].
- [26] A. J. R. Marta Muñoz D., Máquinas Térmicas, Madrid: UNED, 2014.
- [27] E. Lévy, Diccionario de física (Ed. Económica), Madrid: Ediciones Akal S.A., 2004.
- [28] L. E. D. Ortiz, Mecánica de los fluidos e hidráulica, Cali, Colombia: Universidad del Valle, 2006.
- [29] J. Z. Patricio Vallejo Ayala, Física Vectorial 2, Quito-Ecuador: Ediciones RODIN, 2009.
- [30] C. Bembibre, «Definición ABC,» 31 Marzo 2010. [En línea]. Available: Definiciónabc.com. [Último acceso: 113 Marzo 2018].
- [31] G. Motors, «Chevrolet,» 12 Enero 2018. [En línea]. Available: www.chevrolet.com.ec. [Último acceso: 25 Enero 2018].
- [32] EDUCALINGO, «EDUCALINGO,» 12 Mayo 2018. [En línea]. Available: <https://educalingo.com/es/dic-es/capo-1>. [Último acceso: 25 Mayo 2018].
- [33] S. d. I. Heras, Mecánica de fluidos en ingeniería, Barcelona: UPC, 2012.
- [34] M. Tamayo, El proceso de la investigación científica, México: Limusa, 2009.
- [35] W. F. Smith, Fundamento de la la ciencia e ingeniería de materiales, España: McGraw-Hill, 1998.

- [36] W. F. Smith y J. Hashemi, Fundamento de la ciencia e ingeniería de materiales, Cuarta ed., México- Santa Fe: McGraw-Hill, 2006.
- [37] R. G. Budynas y J. K. Nisbett, Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, México: McGrawhill, 2012.
- [38] R. G. Budynas y J. K. Nisbett, DISEÑO EN INGENIERÍA MECÁNICA DE SHIGLEY, México: MCGRAW-HILL/INTERAMERICANA, 2008.
- [39] T. A. Talay, «INTRODUCTION TO THE AERODYNAMICS OF FLIGHT,» 1975. [En línea]. Available: <https://history.nasa.gov/SP-367/cover367.htm>.
- [40] C. O. Romero, Mecánica de los fluidos, vol. 1, Mexico DF.: UTEHA, 1961, pp. 11-14.
- [41] J. H. C. R., HIDRAULICA DE CANALES : FUNDAMENTOS, Medellín: Universidad EAFIT, 2006.
- [42] J. John D. Anderson, Fundamentals of Aerodynamics, Maryland: Mc Graw Hill, 2001, p. 10.
- [43] E. Houghton, Aerodynamics for engineering students, Burlington: Butterworth-Heinemann, 2003.
- [44] J. B. G., Aerodinámica 2, 2013.
- [45] C. A.I., Aerodinámica y actuciones del avión, vol. 11, Madrid: Paraninfo, 2001.
- [46] D. Y. T. O. Bruce Munson, Mecánica de Fluidos., México D.F.: Limusa S.A., 1999.
- [47] J. A. Rodríguez, Introducción a la Termodinámica con algunas Aplicaciones a la Ing, México, 1990.
- [48] A. T. M. P. J. P. Robert W. Fox, Introduction to Fluid Mechanics, Bogotá: John Wiley and Sons, 2003.

CAPITULO VII

ANEXOS

Anexo 1. FODA para control y manejo de pronósticos.

<p style="text-align: center;">Amenazas</p> <p>Contextualizar procesos Digitalizar el sistema adaptándose al programa Períodos de tiempo Conflictos generales</p>	<p style="text-align: center;">Fortalezas</p> <p>Conocimiento del proceso Desarrollo del sistema en un proceso simulado adaptándose a un estatus real Integración del software CFD</p>
FODA	
<p style="text-align: center;">Debilidades</p> <p>Falta de capacitación Necesidad de área de trabajo</p>	<p style="text-align: center;">Oportunidades</p> <p>Adaptar el conocimiento aprendido e incrementarlo con el autoaprendizaje Obtener nuevos programas y conocer su manejo</p>

FUENTE: AUTORES (2017)].

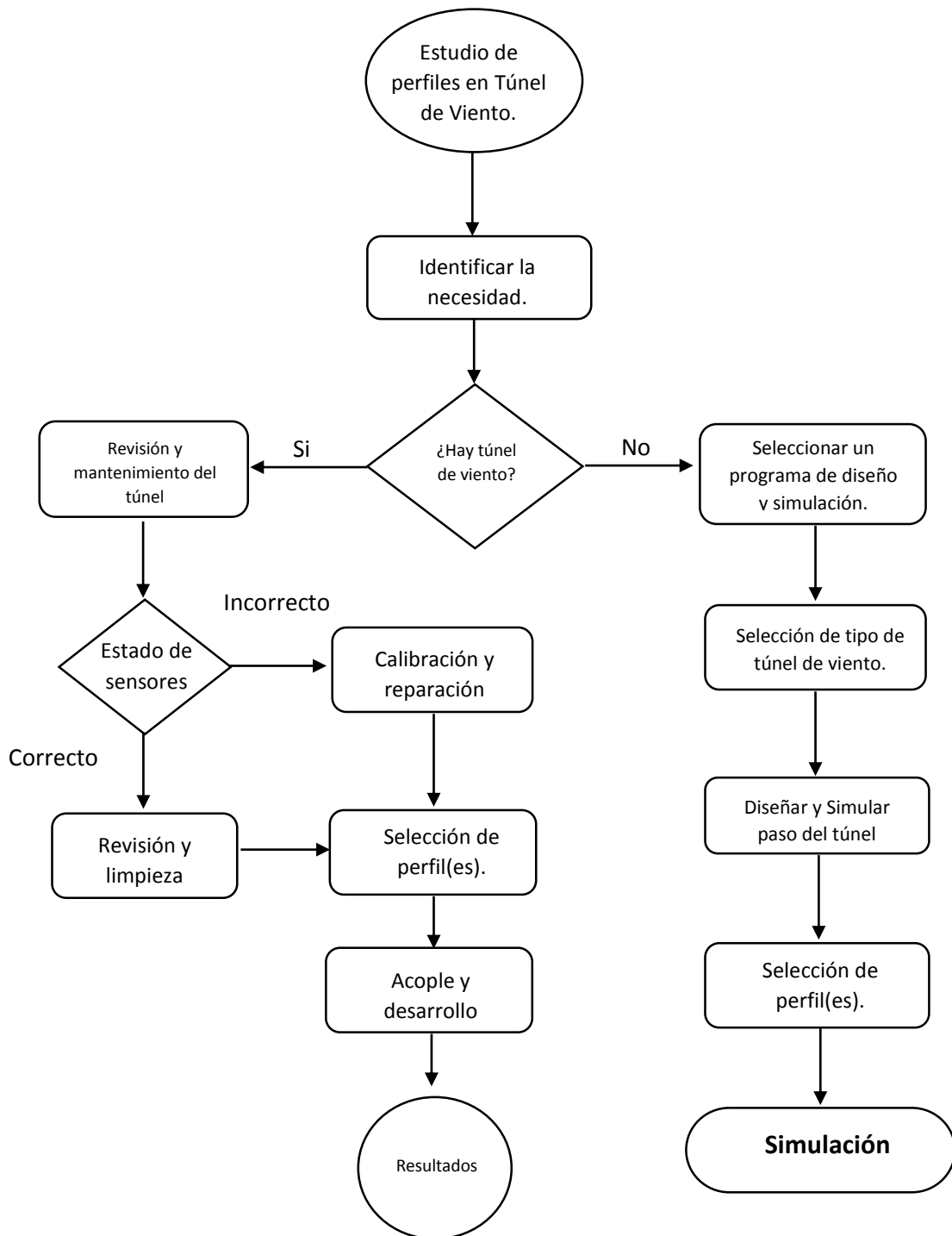
Anexo 2. Características técnicas del ventilador.

Características técnicas

Modelo	Velocidad (r/min)	Intensidad máxima admisible (A)			Potencia instalada (kW)	Ángulo inclinación palas (°)	Caudal máximo (m³/h)	Nivel presión sonora dB(A)	Peso aprox. (Kg)	
		230V	400V	690V					Larga	Corta
THT-40-2T-1,5	2880	4,70	2,70		1,10	20	7050	76	33	31
THT-40-2/4T-1,5	2900 / 1450		2,90 / 1,10		1,10 / 0,25	20	7050 / 3525	76 / 61	34	32
THT-40-2T-2	2880	5,90	3,40		1,50	24	7950	77	35	33
THT-40-2/4T-2	2940 / 1460		4,40 / 1,40		1,50 / 0,37	24	7950 / 3975	77 / 62	35	33
THT-40-4T-0,75	1420	2,90	1,70		0,55	32	4800	64	32	29
THT-40-6T-0,75	930	3,30	1,90		0,55	32	3150	53	37	34
THT-40-6/12T-0,75	940 / 460		2,10 / 0,90		0,55 / 0,09	32	3150 / 1575	53 / 38	41	38
THT-45-2T-2	2880	5,90	3,40		1,50	16	9400	78	38	34
THT-45-2/4T-2	2940 / 1460		4,40 / 1,40		1,50 / 0,37	16	9400 / 4700	78 / 63	37	34
THT-45-2T-3	2900	8,70	5,00		2,20	22	11350	80	39	36
THT-45-2/4T-3	2930 / 1450		5,70 / 1,80		2,20 / 0,60	22	11350 / 5675	80 / 65	39	36
THT-45-4T-0,75	1420	2,90	1,70		0,55	36	7450	68	34	30
THT-45-6T-0,75	930	3,30	1,90		0,55	30	4450	55	38	35
THT-45-6/12T-0,75	940 / 460		2,10 / 0,90		0,55 / 0,09	30	4450 / 2225	55 / 40	42	39
THT-50-2T-4	2880	11,20	6,50		3,00	16	13900	82	49	42
THT-50-2/4T-4	2920 / 1440		6,70 / 2,00		3,00 / 0,80	16	13900 / 6950	82 / 67	51	44
THT-50-2T-5,5	2890	16,00	9,30		4,00	20	15900	83	65	57
THT-50-2/4T-6	2930 / 1450		10,00 / 3,20		4,50 / 1,30	20	15900 / 7950	83 / 68	67	60
THT-50-4T-1	1430	3,80	2,20		0,75	28	9750	69	37	33
THT-50-6T-0,75	930	3,30	1,90		0,55	32	7000	57	40	36
THT-50-6/12T-0,75	940 / 460		2,10 / 0,90		0,55 / 0,09	32	7000 / 3500	57 / 42	44	40
THT-56-2T-5,5	2890	16,00	9,30		4,00	16	18800	88	69	60
THT-56-2/4T-6	2930 / 1450		10,00 / 3,20		4,50 / 1,30	16	18800 / 9400	88 / 72	71	63
THT-56-2T-12	2950		19,20	11,09	9,00	30	27200	89	147	139
THT-56-2/4T-12	2920 / 1440		18,50 / 5,50		9,00 / 2,50	30	27200 / 13600	89 / 74	137	129
THT-56-4T-1	1430	3,80	2,20		0,75	22	11250	73	45	40
THT-56-4T-1,5	1420	4,70	2,70		1,10	30	13600	74	44	40
THT-56-4/8T-1,5	1440 / 710		2,90 / 1,40		1,10 / 0,25	30	13600 / 6800	74 / 59	48	43

FUENTE: SODECA (2017)].

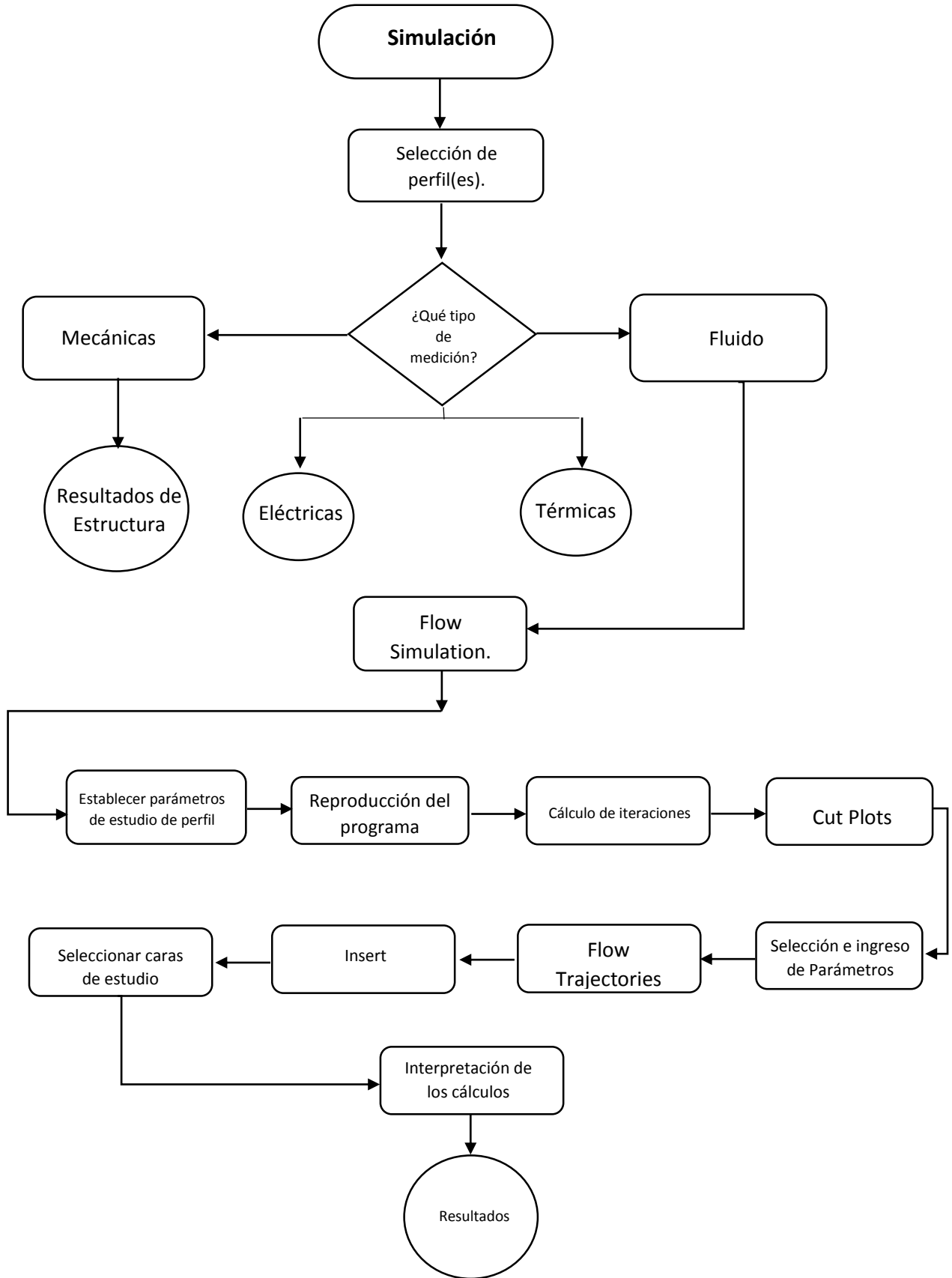
Anexo 3. Flujograma de Procesos para estudio de perfiles en un Túnel de viento



Fuente: Autores [2017].

En caso de ser simulación se requerirá de las siguientes acciones:

Anexo 4. Flujograma de procesos de Simulación de perfiles en el área de la Sección de Pruebas.












FUENTE: Autores [2017].

Anexo 5. Propiedades de los aceros estructurales.

Designación del material (número ASTM)	Grado, producto o espesor	Resistencia a la tensión		Resistencia de fluencia		Ductilidad (porcentaje de elongación en 2 pulgadas)
		(ksi)	(MPa)	(ksi)	(MPa)	
A36	$t \leq 8$ pulg	58	400	36	250	21
A242	$t \leq 3/4$ pulg	70	480	50	345	21
A242	$t \leq 1\frac{1}{2}$ pulg	67	460	46	315	21
A242	$t \leq 4$ pulg	63	435	42	290	21
A500	Tubo estructural formado en frío, redondo o de otras formas					
	Redondo, grado A	45	310	33	228	25
	Redondo, grado B	58	400	42	290	23
	Redondo, grado C	62	427	46	317	21
	Otra forma, grado A	45	310	39	269	25
	Otra forma, grado B	58	400	46	317	23
	Otra forma, grado C	62	427	50	345	21
A501	Tubo estructural formado en caliente, redondo o de otras formas	58	400	36	250	23
A514	Templado y revenido, $t \leq 2\frac{1}{2}$ pulg	110-130	760-895	100	690	18%
A572	42, $t \leq 6$ pulg	60	415	42	290	24
A572	50, $t \leq 4$ pulg	65	450	50	345	21
A572	60, $t \leq 1\frac{1}{4}$ pulg	75	520	60	415	18
A572	65, $t \leq 1\frac{1}{4}$ pulg	80	550	65	450	17
A588	$t \leq 4$ pulg	70	485	50	345	21
A992	Perfiles W	65	450	50	345	21

FUENTE: ROBERT L. MOTT, [2006]

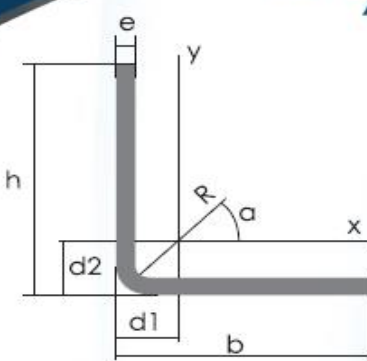
Anexo 6. Especificaciones ASTM para pernos de acero

Designación ASTM núm.	Intervalo de tamaños, inclusive, pulg	Resistencia de prueba mínima,* kpsi	Resistencia mínima a la tensión,* kpsi	Resistencia mínima a la fluencia,* kpsi	Material	Marca en la cabeza
A307	$\frac{1}{4}$ a $1\frac{1}{2}$	33	60	36	Acero de bajo carbono	
A325 tipo 1	$\frac{1}{2}$ a 1 $1\frac{1}{8}$ a $1\frac{1}{2}$	85	120	92	Acero de medio carbono, T y R	
		74	105	81		
A325 tipo 2	$\frac{1}{2}$ a 1 $1\frac{1}{8}$ a $1\frac{1}{2}$	85	120	92	Acero martensítico de bajo carbono, T y R	
		74	105	81		
A325 tipo 3	$\frac{1}{2}$ a 1 $1\frac{1}{8}$ a $1\frac{1}{2}$	85	120	92	Acero no temperizado, T y R	
		74	105	81		
A354 grado BC	$\frac{1}{4}$ a $2\frac{1}{2}$ $2\frac{3}{4}$ a 4	105	125	109	Acero aleado, T y R	
		95	115	99		
A354 grado BD	$\frac{1}{4}$ a 4	120	150	130	Acero aleado, T y R	
A449	$\frac{1}{2}$ a 1 $1\frac{1}{2}$ a $1\frac{1}{2}$ $1\frac{3}{4}$ a 3	85	120	92	Acero de medio carbono, T y R	
		74	105	81		
		55	90	58		
A490 tipo 1	$\frac{1}{2}$ a $1\frac{1}{2}$	120	150	130	Acero aleado, T y R	
A490 tipo 3	$\frac{1}{2}$ a $1\frac{1}{2}$	120	150	130	Acero no temperizado, T y R	

FUENTE: SHIGLEY, [2010]

Anexo 7. Parámetros del perfil estructural ángulo L doblado.

PERFILES ESTRUCTURALES ANGULOS "L" DOBLADO



Especificaciones Generales

Otras calidades	Previa consulta
Largo normal	6,0m
Otros largos	Previa consulta
Espesores	Desde 1,5mm hasta 12,0mm
Acabado	Natural
Otro acabado	Previa consulta

Descripción	Ángulos de alas iguales																			
	b	h	e	Masa	Área	d1	d2	Ángulo α	Eje X - X			Eje Y - Y			Eje U - U			Eje V - V		
									ix	Wx	rx	ly	Wy	ry	Iu	Wu	ru	Iv	Wv	rv
mm	mm	mm	Kg/m	cm ²	cm	cm	(°)	cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ³	cm	
L 20x 2	20	20	2	0,57	0,73	0,60	0,60	45,00	0,28	0,20	0,62	0,28	0,20	0,62	0,46	0,32	0,79	0,10	0,14	0,37
L 20 x 3	20	20	3	0,81	1,03	0,65	0,65	45,00	0,38	0,28	0,60	0,38	0,28	0,60	0,63	0,45	0,78	0,12	0,17	0,34
L 25x 2	25	25	2	0,73	0,93	0,72	0,72	45,00	0,56	0,32	0,78	0,56	0,32	0,78	0,92	0,52	1,00	0,20	0,23	0,47
L 25x 3	25	25	3	1,05	1,33	0,78	0,78	45,00	0,78	0,45	0,77	0,78	0,45	0,77	1,30	0,74	0,99	0,26	0,30	0,45
L 30 x 2	30	30	2	0,88	1,13	0,85	0,85	45,00	1,00	0,46	0,94	1,00	0,46	0,94	1,63	0,77	1,20	0,37	0,35	0,57
L 30x 3	30	30	3	1,28	1,63	0,90	0,90	45,00	1,40	0,67	0,93	1,40	0,67	0,93	2,32	1,09	1,19	0,49	0,46	0,55
L 30x 4	30	30	4	1,65	2,10	0,95	0,95	45,00	1,76	0,86	0,91	1,76	0,86	0,91	2,93	1,38	1,18	0,58	0,55	0,52
L 40x 2	40	40	2	1,20	1,33	1,10	1,10	45,00	2,44	0,84	1,26	2,44	0,84	1,26	3,96	1,40	1,61	0,92	0,65	0,78
L 40x 3	40	40	3	1,75	2,23	1,15	1,15	45,00	3,49	1,22	1,25	3,49	1,22	1,25	5,71	2,02	1,60	1,27	0,90	0,75
L 40x 4	40	40	4	2,28	2,90	1,20	1,20	45,00	4,44	1,59	1,24	4,44	1,59	1,24	7,23	2,59	1,59	1,55	1,10	0,73
L 40x 5	40	40	5	2,77	3,54	1,25	1,25	45,00	5,29	1,92	1,22	5,29	1,92	1,22	8,80	3,11	1,58	1,77	1,25	0,71
L 50x 2	50	50	2	1,51	1,93	1,35	1,35	45,00	4,85	1,33	1,59	4,85	1,33	1,59	7,85	2,22	2,02	1,85	1,05	0,98
L 50x 3	50	50	3	2,22	2,83	1,40	1,40	45,00	7,01	1,95	1,57	7,01	1,95	1,57	11,42	3,23	2,01	2,61	1,47	0,96
L 50x 4	50	50	4	2,90	3,70	1,45	1,45	45,00	9,01	2,54	1,56	9,01	2,54	1,56	14,76	4,18	2,00	3,25	1,84	0,94
L 50x 5	50	50	5	3,56	4,54	1,50	1,50	45,00	10,84	3,10	1,55	10,84	3,10	1,55	17,89	5,06	1,99	3,79	2,14	0,91
L 60x 3	60	60	3	2,69	3,43	1,65	1,65	45,00	12,34	2,84	1,90	12,34	2,84	1,90	20,03	4,72	2,42	4,65	2,19	1,16
L 60x 4	60	60	4	3,53	4,50	1,70	1,70	45,00	15,96	3,71	1,70	15,96	3,71	1,70	26,04	6,14	2,40	5,88	2,77	1,14
L 60x 5	60	60	5	4,34	5,54	1,75	1,75	45,00	19,33	4,55	1,87	19,33	4,55	1,87	31,72	7,48	2,39	6,95	3,27	1,12
L 75x 3	75	75	3	3,40	4,33	2,02	2,02	45,00	24,55	4,48	2,38	24,55	4,48	2,38	39,72	7,49	3,03	9,38	3,53	1,47
L 75x 4	75	75	4	4,47	5,70	2,07	2,07	45,00	31,94	5,88	2,37	31,94	5,88	2,37	51,90	9,79	3,02	11,99	4,51	1,45
L 75x 5	75	75	5	5,52	7,04	2,12	2,12	45,00	38,96	7,24	2,35	38,96	7,24	2,35	63,56	11,99	3,01	14,35	5,40	1,43
L 75x 6	75	75	6	6,53	8,33	2,17	2,17	45,00	45,60	8,56	2,34	45,60	8,56	2,34	74,73	14,09	2,99	16,46	6,20	1,41
L 80x 4	80	80	4	4,79	6,10	2,20	2,20	45,00	39,00	6,72	2,53	39,00	6,72	2,53	63,30	11,19	3,22	14,70	5,19	1,55
L 80x 5	80	80	5	5,91	7,54	2,25	2,25	45,00	47,65	8,28	2,51	47,65	8,28	2,51	77,64	13,72	3,21	17,65	6,23	1,53
L 80x 6	80	80	6	7,00	8,93	2,30	2,30	45,00	55,86	9,79	2,50	55,86	9,79	2,50	91,39	16,16	3,20	20,32	7,17	1,51
L 80x 8	80	80	8	9,11	11,61	2,40	2,40	45,00	71,03	12,68	2,47	71,03	12,68	2,47	117,22	20,72	3,18	24,85	8,78	1,46
L 80x 10	80	80	10	11,09	14,14	2,50	2,50	45,00	94,59	15,39	2,45	94,59	15,39	2,45	140,84	24,90	3,16	28,34	10,04	1,42
L100x 5	100	100	5	7,48	9,54	2,75	2,75	45,00	95,23	13,13	3,16	95,23	13,13	3,16	154,55	21,86	4,03	35,90	10,13	1,94

FUENTE: Catálogo DIPAC, [2018]

**Anexo 8. ACERO ASTM A36
ASME/ASTM A36**



Acero al carbono estructural de acuerdo al estándar ASME/ASTM A36/A 36M

Este grado se utiliza principalmente pernado, atornillado, o soldados en la construcción de puentes y edificios, y para propósitos estructurales en general.

Composición química acero A36

	Hasta 3/4 in.	Sobre 3/4 in. hasta 1-1/2 in.	Sobre 1-1/2 in. Hasta 2-1/2 in.	Sobre 2-1/2 hasta 4 in.	Sobre 4 in.
Carbono	0.25	0.25	0.26	0.27	0.29
Manganeso	--	.80/1.20	.85/1.20	.85/1.20	.85/1.20
Fósforo	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Azufre	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Silicio	.40 max	.40 max	.15/.40	.15/.40	.15/.40
Cobre min % cuando se especifica de acero de cobre	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20

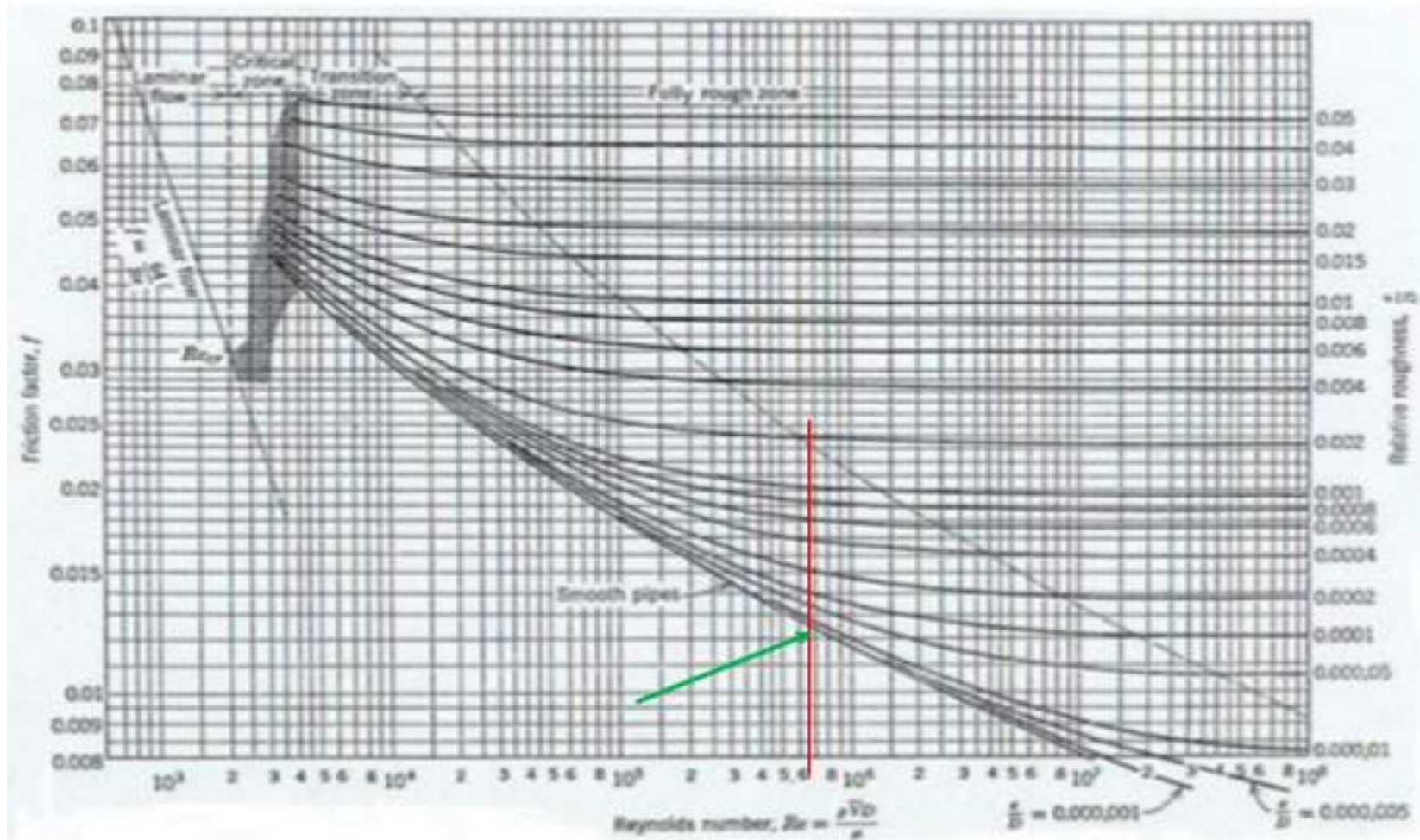
* Nota: Por cada reducción de 0,01% por debajo del máximo especificado de carbono, un aumento del 0,06% de manganeso por encima de la cantidad máxima prevista será permitido, hasta el máximo de 1,35%.

Propiedades mecánicas acero A36

Resistencia a la tracción:	58,000 - 80,000 psi [400-550 MPa]
Min. Punto de fluencia:	36,000 psi [250 MPa]
Elongación en 8":	20% min
Elongación en 2":	23% min

Fuente: ASTM INTERNATIONAL

Anexo 9. Diagrama de Moody



FUENTE: Mott Robert. Mecánica Fluidos Aplicada 4ta Edición