

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS

**DISEÑO DE UN TÚNEL DE VIENTO A ESCALA PARA ESTUDIAR
LA AERODINÁMICA EN PERFILES NACA 63A418 Y NACA 64A010**

DISEÑO DEL TÚNEL DE VIENTO A ESCALA

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE TECNÓLOGO SUPERIOR
EN ELECTROMECÁNICA**

HÉCTOR STEVE GUACHAMÍN TAPUY

DIRECTOR: JONATHAN GABRIEL LOOR BAUTISTA

DMQ, julio 2024

CERTIFICACIONES

Yo, Héctor Steve Guachamín Tapuy, declaro que el trabajo de integración curricular 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.

Héctor Steve Guachamín Tapuy

hector.guachamin@epn.edu.ec

steveguachamin83@gmail.com

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por Héctor Steve Guachamín Tapuy, bajo mi supervisión.

Jonathan Gabriel Loor Bautista

DIRECTOR

jonathan.loor@epn.edu.ec

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

A través de la presente declaración, afirmo que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como los productos resultantes del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales corresponde al autor que ha contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

Héctor Steve Guachamín Tapuy

DEDICATORIA

Este proyecto es dedicado a mis abuelos y padres por el apoyo que me han brindado, han sido mi mayor motivación para seguir adelante en mi vida académica y profesional.

Finalmente, a mis queridas mascotas, cuya compañía me brinda momentos de relajación y felicidad durante todo el proceso.

AGRADECIMIENTO

Al concluir una etapa más de mi vida quiero expresar mis agradecimientos a quienes hicieron posible este sueño.

Deseo agradecer a mis abuelos, padres y familiares, por su apoyo y creer en mí en cada paso que daba. Su fe en mis capacidades y motivación me animaron a seguir a delante y superarme cada día.

Mi agradecimiento a cada docente que tuve la oportunidad de conocer quienes con su apoyo y enseñanzas constituyen la base de mi vida profesional.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO	V
RESUMEN.....	VIII
ABSTRACT	IX
1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO.....	1
1.1 Objetivo General.....	2
1.2 Objetivos Específicos	2
1.3 Alcance.....	2
1.4 Marco teórico.....	3
1.4.1 Túnel de viento	3
1.4.2 Fundamentos de aerodinámica.....	5
1.4.3 Perfiles NACA	6
1.4.4 Tipos de flujo	10
1.4.5 Modelos matemáticos para el diseño del túnel de viento	12
2 METODOLOGÍA	27
2.1 Selección del modelo.....	28
2.2 Dimensionamiento del modelo.....	28
2.2.1 Cámara de pruebas	29
2.2.2 Difusor	31
2.2.3 Acondicionador de flujo	33
2.2.4 Cono de contracción.....	36
2.3 Potencia requerida.....	41
2.4 Selección de materiales.....	43
2.4.1 Cámara de pruebas	43

2.4.2	Difusor, acondicionador de flujo, Cono de contracción	43
2.4.3	Malla y panel de abeja.....	43
2.4.4	Estructura de soporte	44
2.5	Instrumentación para medición de variables físicas	44
2.5.1	Arduino Uno	44
2.5.2	Anemómetro.....	44
2.5.3	Sensor de presión BMP 180	45
2.5.4	Display LCD.....	45
2.6	Visualización de flujo	45
2.7	Modelado 3D de cada pieza	46
2.7.1	Difusor	46
2.7.2	Acondicionador de flujo	46
2.7.3	Cono de contracción.....	47
2.7.4	Cámara de pruebas.....	47
2.7.5	Estructura de soporte	48
2.8	Cotizaciones	49
2.8.1	Costo de materiales.....	49
2.8.2	Costo de instrumentación	49
2.8.3	Costo de cámara de humo.....	50
2.8.4	Costo del ventilador	50
2.8.5	Costo de empaque y pernos.....	50
3	RESULTADOS	51
3.1	Túnel de viento dibujo 3D	51
3.2	Presupuesto para del túnel de viento.....	51
3.3	Diseño de medición de variables físicas	53
4	CONCLUSIONES	55
5	RECOMENDACIONES.....	57
6	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	58
7	ANEXOS.....	61

Anexo I. Reporte de Similitud Generado por Turnitin	62
Anexo II. Certificado de Funcionamiento de Trabajo de Integración curricular	63
Anexo III. Características y cotización de las planchas de acero galvanizado y tubos cuadrados.....	64
Anexo IV. Características y cotización del acrilico transparente.....	66
Anexo V. Características y cotización de la instrumentación.....	67
Anemometro	67
Sensor de presión.....	67
Arduino UNO	67
Pantalla LCD 16x2.....	67
Anexo VI. Características y cotización de la camara de humo	70
Anexo VII. Características y cotización de la malla	72
Anexo VIII. Características y cotización de empaques y pernos	73
Empaques	73
Pernos	73
Anexo IX. Características y cotización del ventilador	75
Anexo X. Código en arduino para la medición de variables	76
Anexo XI. Planos de taller y ensamble.....	79

RESUMEN

El objetivo del presente proyecto de integración curricular fue desarrollar una propuesta de diseño de un túnel de viento a escala, que tiene como finalidad ser implementado a futuro y permita que los estudiantes de la carrera de Electromecánica de la ESFOT realicen prácticas para obtener conocimientos sobre principios básicos de aerodinámica en los perfiles alares NACA 63A418 y NACA 64A010.

Con base en la revisión teórica se desarrolló el dimensionamiento estructural de las diferentes secciones del túnel de viento, considerando parámetros y normativas que permitan obtener geometrías que aseguren la eficiencia del proyecto. A través del software Inventor se diseñaron los planos 3D de cada componente donde se detallan las dimensiones, geometría y materiales, además se presenta un plano de ensamble donde se identifica cada componente para una fácil implementación.

El diseño incluye una cámara de humo para visualizar el comportamiento del aire sobre los perfiles alares, además de un sistema de control simulado en el software Proteus que analiza el comportamiento de las variables físicas dentro de la cámara de pruebas.

Finalmente, se presenta la selección de materiales y dispositivos con sus respectivas cotizaciones, logrando obtener un presupuesto para la propuesta de una posible implementación a futuro del proyecto.

PALABRAS CLAVE: Aerodinámica, túnel de viento, NACA.

ABSTRACT

The objective of this curricular integration project was to develop a proposal for the design of a scale wind tunnel, which is intended to be built in the future and allow students of the Electromechanics career of the ESFOT to perform practices to obtain knowledge about basic principles of aerodynamics in the airfoils NACA 63A418 and NACA 64A010.

Based on the theoretical review, the structural dimensioning of the different sections of the wind tunnel was developed, considering parameters and regulations that allow obtaining geometries that ensure the efficiency of the project. Using Inventor software, 3D drawings of each component were designed, detailing the dimensions, geometry and materials, as well as an assembly drawing where each component is identified for easy implementation.

The design includes a smoke chamber to visualize the behavior of the air over the airfoils, as well as a control system simulated in Proteus software that will analyze the behavior of the physical variables inside the test chamber.

Finally, the selection of materials and devices is presented with their respective quotations, obtaining a budget for the proposal of a possible future implementation of the project.

KEYWORDS: aerodynamic, wind tunnel, NACA.

1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO

El presente proyecto de integración curricular presenta la propuesta del diseño de un túnel de viento para el estudio de la aerodinámica en perfiles alares NACA 63A418 y NACA 64A010. El diseño cuenta con los planos detallados del dimensionamiento de cada componente, donde sus secciones principales son: cámara de pruebas, difusor y cono de contracción. Cada uno está diseñado meticulosamente con la finalidad de proporcionar condiciones ideales para la experimentación, práctica y análisis del comportamiento de fluidos sobre distintos modelos.

El diseño 3D fue realizado mediante el software Inventor, presentando un plano de cada componente del túnel de viento, donde se detallan las dimensiones y geometrías obtenidas en el proceso de dimensionamiento, además se incluye un plano de ensamble que proporciona una guía para la construcción del proyecto. En conjunto con las medidas se realizó un análisis para la selección de materiales adecuados para la construcción, donde se consideró factores como la resistencia estructural, durabilidad y otras propiedades de los materiales, que permitan un uso eficiente.

Dentro del diseño se incluye un método de visualización de la reacción del aire sobre los perfiles a estudiar mediante la implementación de una cámara de humo. Además, de integrar un sistema de control compuesto por sensores y un Arduino que sea capaz de monitorear el comportamiento de variables físicas como temperatura, presión y velocidad dentro de la cámara de pruebas del túnel de viento, así permitiendo realizar un estudio y análisis de los modelos.

Finalmente, se completa la propuesta del diseño con la presentación de un presupuesto para la construcción del proyecto. Se indican las cotizaciones realizadas a diferentes empresas y proveedores donde se incluye tanto el costo de materiales, como el costo de equipos necesarios. Las proformas realizadas se encuentran incluidas en la presentación del documento del proyecto como base para una futura construcción e implementación del túnel de viento.

1.1 Objetivo General

Diseñar un túnel de viento a escala que permita el estudio de la aerodinámica en perfiles NACA 63A418 y NACA 64A010

1.2 Objetivos Específicos

1. Revisar la teoría aplicada dentro del estudio de la aerodinámica.
2. Detallar cálculos para el dimensionamiento de equipos y materiales.
3. Seleccionar los materiales adecuados para la implementación del proyecto, considerando factores como resistencia, durabilidad y costo.
4. Desarrollar los planos para la implementación del túnel de viento mediante el software Inventor.
5. Diseñar un sistema de control con Arduino que permita la medición de velocidad y presión dentro de la cámara de pruebas.
6. Establecer el presupuesto para la implementación del túnel de viento.

1.3 Alcance

El alcance del proyecto está enfocado en el diseño del túnel de viento que permita el estudio de la aerodinámica en los perfiles NACA 63A418 y NACA 64A010.

Se presentará la investigación que abarca la descripción y funcionamiento del túnel de viento, así como el dimensionamiento del difusor y cámara de pruebas, con el que se buscará implementar un modelo que minimice las pérdidas de flujo de aire, garantizando la eficiencia del equipo.

Se incluirá la selección de materiales ideales para este proyecto, considerando el dimensionamiento previamente diseñado, con criterios como resistividad, durabilidad y costo accesible. Además, se desarrollarán los planos de despiece y plano de ensamble utilizando el software Inventor, asegurando guía y visualización precisa para la implementación del proyecto.

Dentro del diseño se plantea incluir un sistema controlado por Arduino con el que sea posible visualizar datos como la velocidad y la presión que se encuentra dentro de la cámara de pruebas con el fin de facilitar los cálculos y estudios de la aerodinámica en los perfiles NACA.

La selección de la cámara de humo tiene como finalidad el estudio de los perfiles NACA, proporcionando una manera efectiva y segura de visualizar y comprender el flujo de aire que rodea el perfil.

Finalmente, se establecerá un presupuesto detallado por cada componente y elemento necesario para la implementación de este proyecto.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Túnel de viento

Un túnel de viento, también conocido como túnel aerodinámico, es un equipo experimental con la finalidad de investigar y estudiar los efectos producidos por el flujo de aire sobre cuerpos y objetos sólidos. Este dispositivo emula ciertas condiciones reales en las que el objeto a estudiar se encontraría.

El elemento que se desea estudiar debe encontrarse en posición estática dentro de la cámara de pruebas, mientras que con el apoyo de un ventilador se induce una corriente de aire, misma que se encargará de rodear el objeto.

Las partes que componen este equipo se muestran en la Figura 1.1.

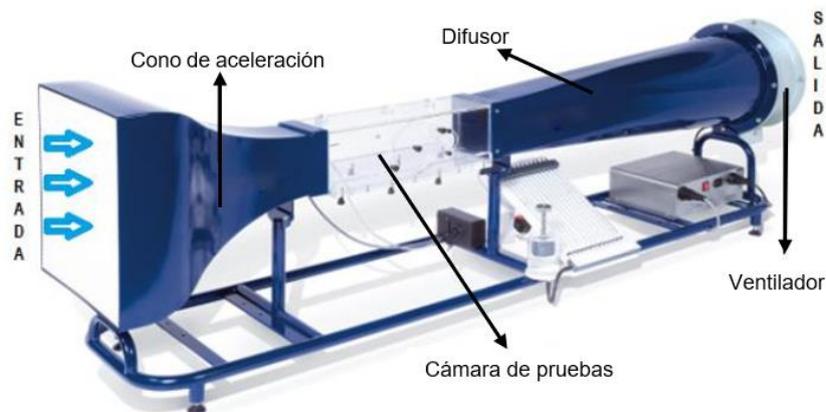


Figura 1.1. Túnel de viento de circuito abierto, [7].

1.4.1.1 Difusor

La sección conocida como difusor tiene forma convergente, es decir, se ensancha paulatinamente en dirección en la que el fluido circula. Dicho componente tiene la función de la reducción de velocidad del aire y el aumento de la presión equilibrándolas entre sí, formando un flujo estable y controlado dentro de la cámara de pruebas. La forma geométrica más común son la circular y rectangular, siendo acopladas en sus extremos en aéreas geométricas iguales.

1.4.1.2 Cono de contracción

Parte contraria a la del difusor, en este caso la sección inicial es mayor y se va reduciendo en su tamaño, la sección de menor tamaño se acoplará a la sección de la cámara de pruebas. Es presentado de dicha forma con el fin de aumentar la velocidad del flujo de manera continua y proporcional para el ingreso a la cámara de pruebas.

1.4.1.3 Cámara de pruebas

Componente esencial del túnel de viento, esta es la cámara donde se colocará los elementos a estudiar y donde serán realizados los ensayos aerodinámicos. Dicha cámara se encuentra dimensionada para que se proporcione un entorno controlado y sea posible el estudio de los perfiles. El material con el que se construye debe ser transparente para que se pueda visualizar como el flujo de aire se está comportando alrededor de los perfiles a estudiar, además, esta es la sección en la que se debe colocar cualquier tipo de instrumentos de medición para obtener datos exactos del comportamiento del aire dentro de la cámara.

1.4.1.4 Acondicionador de flujo

El propósito de esta sección es garantizar un flujo de aire estable durante los ensayos, reduciendo o evitando la formación de vórtices o remolinos otorgando una dirección y flujo uniforme del aire. Usualmente está compuesto por dos elementos para la estabilización del flujo, pueden funcionar por separado o combinados estos son el panel de abeja y la malla, [17].

1.4.1.4.1 Panal de abeja

Es un componente de la sección del acondicionador de flujo consta de un panel en forma de malla que estabiliza y provee al flujo de aire una dirección deseada, [17]. La Figura 1.2 presenta diferentes geometrías utilizadas en panales de abeja, definiendo las constantes de pérdidas que se generan con las diferentes geometrías.

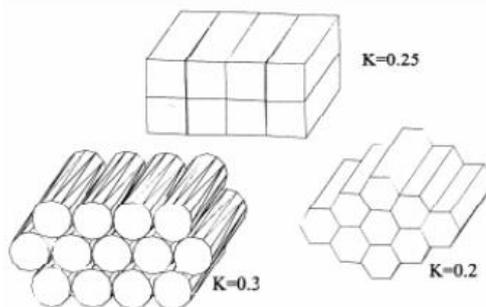


Figura 1.2. Tipos de panal, [3].

1.4.1.4.2 Mallas

Ultimo componente del estabilizador de flujo presente para estabilización de la velocidad del flujo en todos los puntos, además, conlleva a una pérdida de presión considerable, [17]. La Figura 1.3 variables de la malla y ejemplifica este componente.

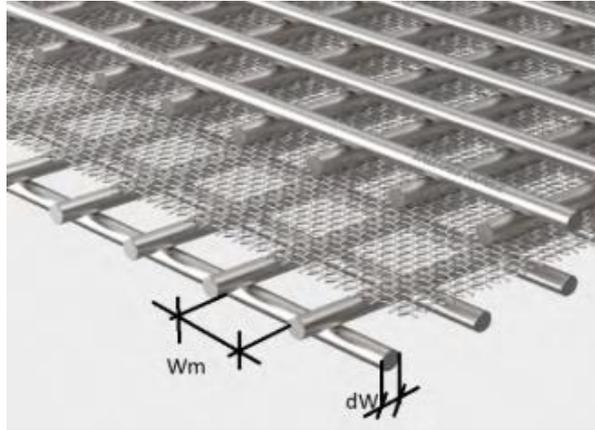


Figura 1.3 Malla y nomenclatura, [3].

1.4.2 Fundamentos de aerodinámica

1.4.2.1 Teoría de la capa límite

La presente teoría expresa que un sólido que está sometido a un fluido forma una capa fina alrededor del mismo donde los efectos viscosos no son despreciables. De manera que existe una diferencia de velocidades entre esta capa y su exterior donde el flujo puede ser considerado como ideal.

Un cuerpo que se encuentra sometido a un flujo de aire experimentara una fuerza neta producida por la interacción entre el flujo y el objeto. La fuerza resultante se da por la interacción de los esfuerzos de corte en la superficie del cuerpo (τ_w) y esfuerzos normales a su superficie. La componente horizontal de esta fuerza se conoce como arrastre (D) y la componente vertical se identifica como empuje o sustentación (L), [2].

En la Figura 1.4 se presenta la capa limite formada en 3 sólidos de diferente forma.

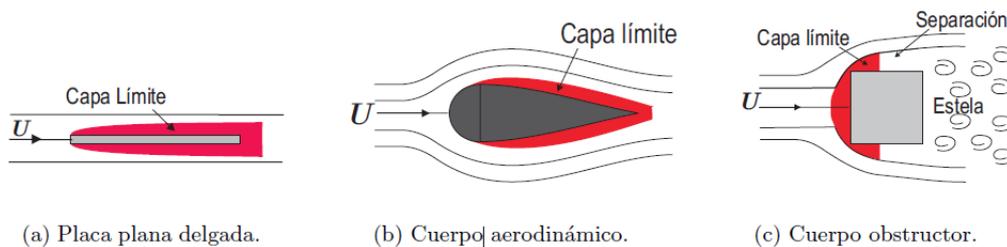


Figura 1.4. Capa limite alrededor de diferentes cuerpos, [2].

1.4.2.2 Fuerza de arrastre

La fuerza aerodinámica presente se opondrá al movimiento del perfil y su actuar está dirigido en el sentido del flujo libre. Esta se forma por la resistencia del aire al flujo que se encuentra alrededor del objeto y esta es proporcional al cuadrado de la velocidad del objeto en el flujo del aire. Es decir, mientras la velocidad aumenta, la fuerza de arrastre también aumentará, [5]. La ecuación que presenta esta fuerza se encuentra en la siguiente sección.

1.4.2.3 Fuerza de empuje o sustentación

Es el resultado de la interacción de las fuerzas aerodinámicas perpendiculares al sentido del flujo libre, se produce por la diferencia de presiones creada entre el intradós y extradós, [5]

Este tipo de fuerza aerodinámica impulsa el objeto hacia adelante en la dirección del movimiento. Esta fuerza debe ser mayor o igual a la fuerza de arrastre para que un objeto pueda mantener su velocidad o acelerar. La ecuación para determinar esta fuerza se encuentra en la siguiente sección.

1.4.3 Perfiles NACA

Durante la primera mitad del siglo XX, la National Advisory Committee for Aeronautics (NACA) fue la organización estadounidense encargada de estudios aerodinámicos, actualmente utilizados en diversos tipos de perfiles entre diseños de alas, hélices y diferentes componentes aerodinámicos, [5]. La Figura 1.5 presenta una sección de un perfil alar donde consta cada parte que la compone.

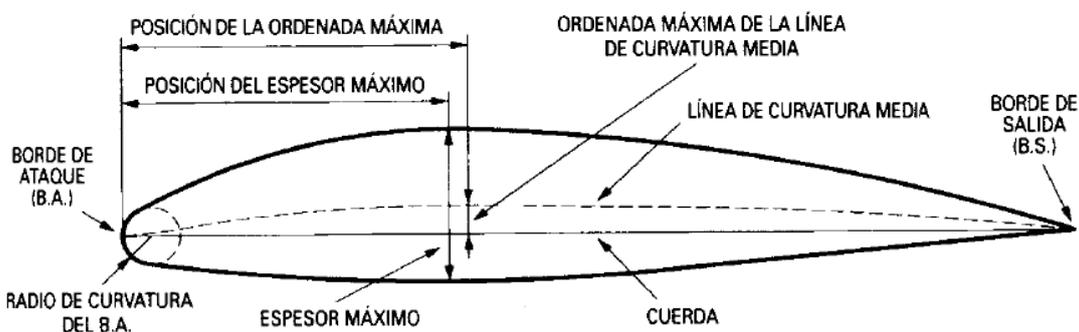


Figura 1.5 Terminología de un perfil, [8].

Cuerda: Representa la línea recta que parte desde el borde de ataque hasta unirse con el borde de salida.

Intradós: Cara inferior del perfil alar

Extradós: Cara superior del perfil alar

Línea de curvatura media: Línea media entre el extradós e intradós fija la curvatura que tendrá el perfil. Se entiende como curva positiva cuando se encuentra sobre la línea de cuerda, negativa si va por debajo y doble curvatura si tiene un tramo por arriba y otro por abajo, su valor es representado en porcentaje (%).

Ordenada máxima de la línea de curvatura media: Define la distancia máxima que existe entre la línea de curvatura media y la cuerda, su valor es presentado en porcentaje (%).

Espesor y distribución del espesor: Valores presentados en porcentaje (%).

Radio de la curvatura del borde de ataque: Circulo tangente entre el intradós y extradós, definiendo la forma del borde de ataque.

1.4.3.1 Perfil NACA de 4 dígitos

La Figura 1.6 presenta la nomenclatura presente en la familia del perfil.

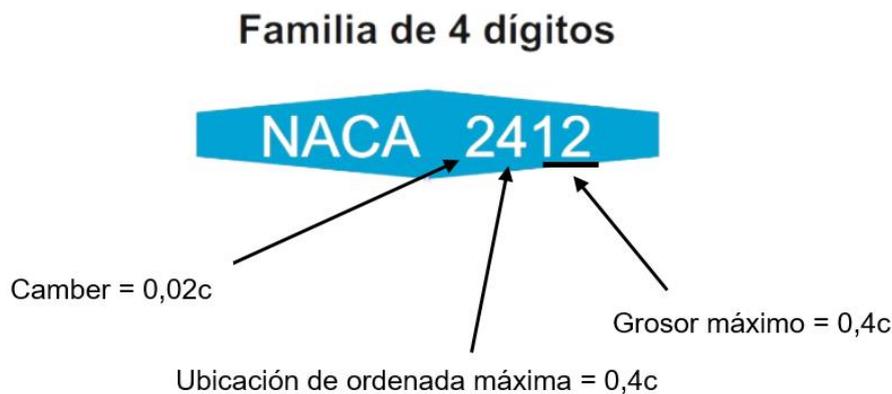


Figura 1.6 Nomenclatura perfil alar NACA 4 dígitos, [6].

Dígito 1: Conocida como camber o punto máximo de la curvatura media, valor presentado en porcentaje (%) de la cuerda.

Dígito 2: Indica la posición de la ordenada máxima de la línea de curvatura media que inicia en el borde de ataque expresado en un 1/10 de la cuerda.

Dígito 3 y 4: Indican el máximo espesor de la cuerda en porcentaje (%).

1.4.3.2. Perfil NACA de 5 dígitos

La principal diferencia de este perfil con el anterior mencionado, se da en el incremento en el coeficiente de sustentación local, este cambio se da por el acercamiento del punto de camber máximo en dirección al borde de ataque, la Figura 1.7 presenta el significado de cada dígito en su nomenclatura.



Figura 1.7 Nomenclatura perfil alar NACA 5 dígitos, [6].

Dígito 1: Al multiplicarlo por $3/2$ se obtiene el coeficiente de sustentación en décimas del perfil estudiado.

Dígito 2 y 3: La multiplicación de estos dos dígitos por $1/2$ indica la ubicación del camber o curvatura media va en dirección desde el borde de ataque esta será expresada en porcentaje (%) de la cuerda.

Dígito 4 y 5: Estos últimos dígitos presentan el espesor máximo del perfil, expresado en porcentaje (%) de la cuerda.

1.4.3.3. Perfil NACA serie 1

Para este tipo de perfiles se consiguió que el diseño cuente con una distribución de presiones y fuerzas aerodinámicas deseadas, donde se mantiene una presión de gradiente favorable, la Figura 1.8 presenta el significado de cada dígito presentado en la nomenclatura de la familia del perfil.

Familia de 1 dígito

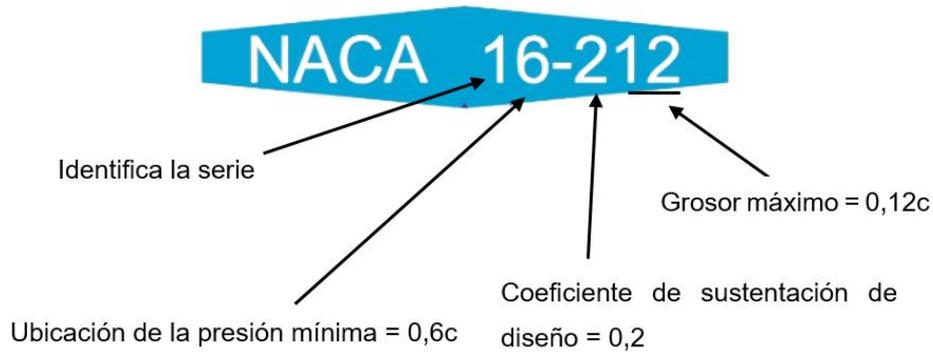


Figura 1.8 Nomenclatura perfil alar NACA serie 1, [6].

Dígito 1: Este dígito es encargado de identificar a la serie a la cual pertenece.

Dígito 2. Indica el punto de presión mínima presentado en 1/10 del porcentaje (%) de la cuerda.

Dígito 3: Presenta el coeficiente de sustentación en 1/10 de la cuerda.

Dígito 4 y 5: Está encargado de presentar el máximo espesor que tendrá el perfil en un porcentaje de la cuerda.

1.4.3.4. Perfil NACA serie 6

El objetivo del estudio y creación de este tipo de perfiles se da gracias a la búsqueda de incrementar el flujo laminar que se obtendrá alrededor de la superficie, además, de reducir el gradiente de presión, obteniendo una resistencia mínima, la Figura 1.9 explica el significado que presenta los dígitos la familia de este perfil NACA.

Familia de 6 dígitos

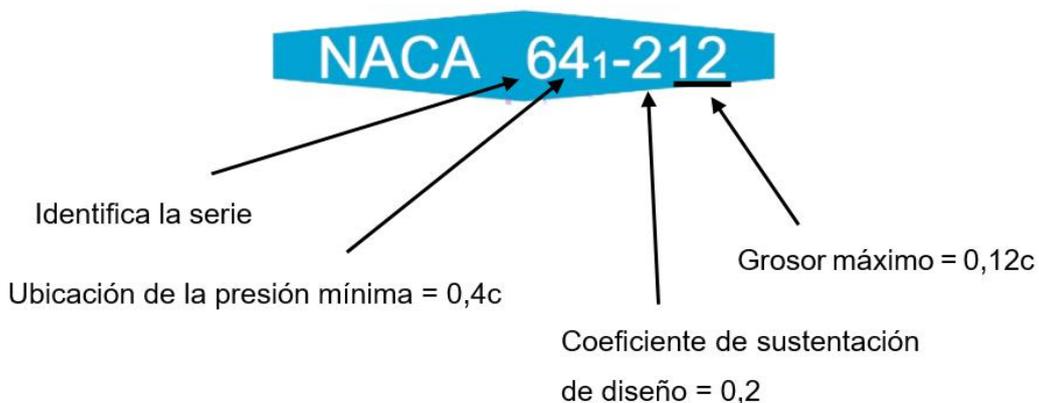


Figura 1.9 Nomenclatura perfil alar NACA serie 6, [6].

Dígito 1: Presenta la serie a la cual pertenece.

Dígito 2: Indica la ubicación del punto de presión mínima en 1/10 de la cuerda, haciendo referencia desde el borde de ataque.

Subíndice: Este tipo de perfiles cuentan con un subíndice el cual indica que tiene un rango operativo de $CI = \pm 0.1$ del coeficiente de sustentación de diseño

Dígito 3: Presenta el coeficiente de sustentación en 1/10 de la cuerda.

Dígito 4 y 5: Esta encargada de presentar el espesor máximo del perfil en porcentaje de la cuerda.

1.4.4 Tipos de flujo

1.4.4.1 Número de Reynolds

El número de Reynolds es un numero adimensional, se caracteriza porque relaciona variables como la densidad, viscosidad, velocidad y dimensión típica de un flujo.

Dentro de las tuberías circulares existe valores estándar del número de Reynolds presentadas en el libro de Cengel, [1].

$Re < 2\ 300$ Flujo laminar

$2\ 300 < Re < 4\ 000$ Flujo de transición

$Re > 4\ 000$ Flujo turbulento

El número de Reynolds para una situación específica puede ser calculada mediante la Ecuación 1.1

$$N_R = \frac{V_f D \rho}{\mu} = \frac{V_f D}{\nu}$$

Ecuación 1.1 Número de Reynolds, [1]

Donde:

N_R : Número de Reynolds

V_f : Velocidad del fluido $\left(\frac{m}{s}\right)$

D : Diámetro del ducto (m)

ρ : Densidad del fluido $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$

μ : viscosidad del fluido ($Pa \cdot s$)

ν : viscosidad cinemática del fluido ($\frac{m^2}{s}$)

En el caso de que las tuberías no sean circulares el número de Reynolds cambia y se basa en el diámetro hidráulico D_h mostrada en la Ecuación 1.2 para tubería cuadrada y Ecuación 1.3 para tubería rectangular.

$$D_h = \frac{4a^2}{4a}$$

Ecuación 1.2 Diámetro hidráulico para tubería cuadrada, [1]

Donde:

$a = \text{lado (m)}$

$$D_h = \frac{2ab}{a + b}$$

Ecuación 1.3 Diámetro hidráulico para tubería rectangular, [1]

Donde:

$a = \text{base (m)}$

$b = \text{altura (m)}$

1.4.4.2 Flujo laminar

El flujo laminar se caracteriza porque el movimiento del fluido es sumamente ordenado con una trayectoria de líneas de corriente suaves. Este tipo de flujo se puede dar en fluidos que presenten bajas velocidades o viscosidades altas.

El número de Reynolds con el que se representa a este tipo de flujo es $Re < 2\,300$.

La Figura 1.10 presenta la sección de un tubo en que se inyecta colorante para observar el comportamiento del fluido, donde se puede observar un movimiento uniforme.

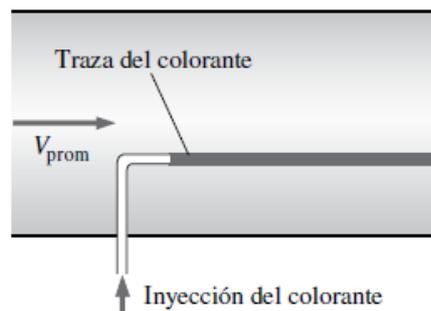


Figura 1.10 Flujo laminar, [1].

1.4.4.3 Flujo turbulento

El flujo turbulento es caracterizado por fluctuaciones de velocidad y movimientos con trayectorias desordenadas. Este tipo de flujo se obtiene porque el fluido presenta velocidades altas o viscosidad muy baja.

El número de Reynolds con el que se representa a este tipo de flujo es $Re > 4000$.

La Figura 1.11 Presenta la sección de un tubo al que se le añade colorante con el fin de apreciar el comportamiento del flujo dentro de la tubería, se observa que el movimiento del fluido es desordenado.

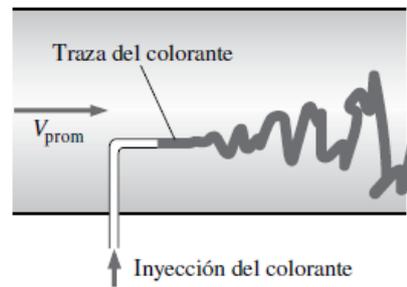


Figura 1.11 Flujo turbulento, [1].

1.4.5 Modelos matemáticos para el diseño del túnel de viento

1.4.5.1 Teorema de Bernoulli

Este teorema afirma que el total de la energía de un sistema de fluidos que tiene flujo uniforme permanece constante a lo largo de la trayectoria de flujo. Dentro del flujo se encuentran tres formas de energías diferentes; energía potencial, energía cinética, y energía de flujo. Asumiendo dos puntos a lo largo de la trayectoria y se estudian sus energías se notará una variación entre dichos puntos, pero realizando la suma total de las energías siempre será la misma, [2].

En la Figura 1.12 se observan las referencias para cada punto de las diferentes variables que intervienen en el siguiente teorema.

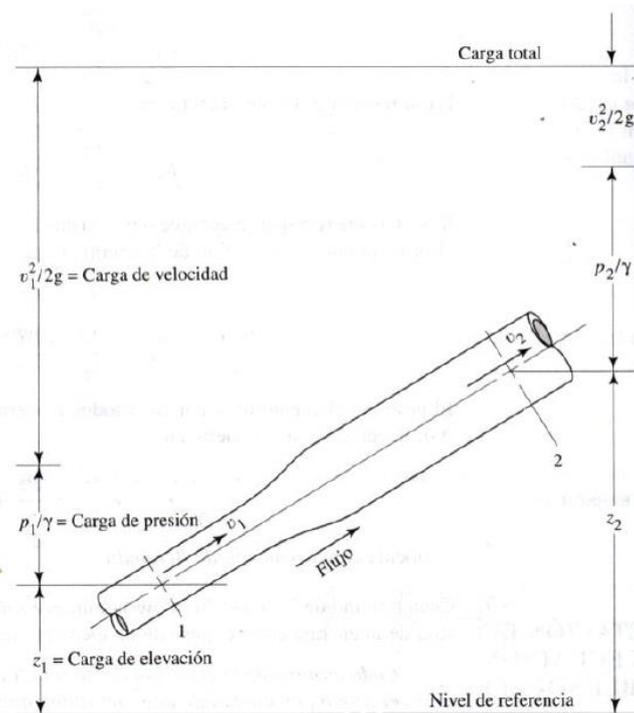


Figura 1.12 Variables teorema de Bernoulli, [10].

La Ecuación 1.4 la relación que existe con cada variable en los dos puntos de referencia para el análisis.

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2} + gZ_1 = \frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2} + gZ_2$$

Ecuación 1.4 Ecuación de Bernoulli, [2]

Donde:

P_1 : Presión estática a la que está sometido el fluido en el punto 1 (kPa)

P_2 : Presión estática a la que está sometido el fluido en el punto 2 (kPa)

ρ : Densidad del fluido ($\frac{kg}{m^3}$)

v_1 : Velocidad del fluido en el punto 1 ($\frac{m}{s}$)

v_2 : Velocidad del fluido en el punto 2 ($\frac{m}{s}$)

Z_1 : Altura sobre el nivel de referencia 1 (m)

Z_2 : Altura sobre el nivel de referencia 2 (m)

g : Valor de la aceleración de la gravedad $9,81 \left(\frac{m}{s^2}\right)$

1.4.5.2 Teoría de Darcy-Weisbach

Henry Darcy y Julius Weisbach dedujeron experimentalmente una fórmula para determinar las pérdidas por fricción en un tubo, [2]. La Ecuación 1.5 presenta las variables que afectan y crean pérdidas dentro de los ductos.

$$h_f = f * \frac{L}{D} * \frac{v^2}{2g}$$

Ecuación 1.5 Ecuación de Darcy-Weisbach, [2].

Donde:

h_f : Pérdida de carga que se da por la fricción (m)

f : Factor de fricción

L : Longitud de la tubería (m)

D : Diámetro de la tubería (m)

v : Velocidad media del fluido $\left(\frac{m}{s}\right)$

g : Aceleración de la gravedad $9,81 \left(\frac{m}{s^2}\right)$

Donde el factor de fricción es presentado mediante la Ecuación 1.6.

$$f = \left(2 * \log_{10}(Re * \sqrt{f}) - 0,8\right)^{-2}$$

Ecuación 1.6 Factor de fricción, [2].

Donde:

Re : número de Reynolds

1.4.5.3 Ecuaciones para dimensiones de la cámara de pruebas

Es recomendable que la envergadura máxima de un modelo sea inferior al 0,8 del ancho del túnel para minimizar los efectos de las paredes del túnel en las medidas aerodinámicas. El diseño del ancho de esta sección de prueba se encuentra recomendada de tal modo que la envergadura del modelo sea aproximadamente 0,7 del ancho del túnel, [11]. La Ecuación 1.7 se presenta la relación antes mencionada.

$$Ancho = \left(\frac{\varepsilon}{0,7} \right)$$

Ecuación 1.7 Ancho de la cámara de pruebas, [11].

Donde:

ε : Envergadura (m)

En una sección de prueba rectangular se sugiere una relación ancho-alto de aproximadamente 1,5 la cual minimizará el factor de corrección de la pared en los datos medidos, [11]. La Ecuación 1.8 presenta la relación mencionada anteriormente.

$$Alto = \left(\frac{ancho}{1,5} \right)$$

Ecuación 1.8 Alto de la cámara de pruebas, [11].

Donde:

ancho: Ancho de la cámara de pruebas(m)

La Ecuación 1.9 define que el largo de la sección de pruebas debe ser el doble del ancho.

$$Largo = ancho * 2$$

Ecuación 1.9 Longitud de la sección de pruebas, [11].

1.4.5.4 Ecuaciones para dimensiones del difusor

El difusor tiene como propósito la reducción de la velocidad del fluido con la menor cantidad de pérdidas de energía. Entre los parámetros principales son el ángulo de expansión y la relación de sus áreas. La Figura 1.13 Presenta las variables a tomar en cuenta para el dimensionamiento.

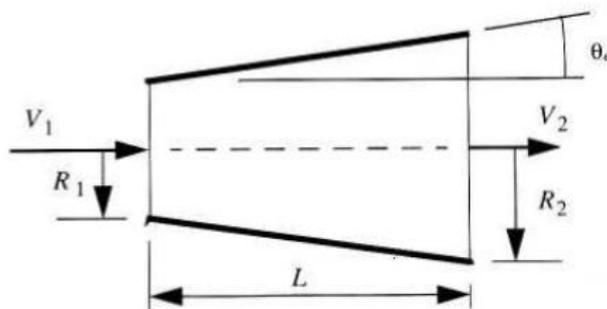


Figura 1.13 Modelo del difusor, [9].

La Ecuación 1.10 presenta la relación de las variables para el dimensionamiento.

$$\theta_e = \arctan\left(\frac{R_2 - R_1}{L}\right) = \arctan\left(\frac{1}{2} * \frac{\sqrt{A_R} - 1}{\frac{L}{D_1}}\right)$$

Ecuación 1.10 Relación del difusor, [9].

Donde:

θ_e : ángulo cónico equivalente de expansión (°)

R_1 : radio hidráulico de la sección de entrada (m)

R_2 : radio hidráulico de la sección de salida (m)

L : longitud del difusor (m)

A_R : relación entre el área de salida y el área de entrada

D_1 : diámetro hidráulico de la sección de entrada (m)

La Ecuación 1.11 muestra las pérdidas que se presentaran dentro del difusor.

$$K_d = K_f + K_{ex}$$

Ecuación 1.11 Perdidas en el difusor, [9].

Donde:

K_f : coeficiente de pérdidas del factor de fricción

K_{ex} : coeficiente de pérdidas de expansión

Cada variable anteriormente presentada se define en las Ecuación 1.12 y Ecuación 1.13

$$K_f = \left(1 - \frac{1}{A_R^2}\right) * \frac{f}{8 \operatorname{sen} \theta}$$

Ecuación 1.12 Coeficiente de pérdidas del factor de fricción, [9].

$$K_{ex} = K_e(\theta) \left(\frac{A_R - 1}{A_R}\right)^2$$

Ecuación 1.13 Coeficiente de pérdidas de expansión, [9].

Donde:

K_e : coeficiente de perdidas secciones rectangulares

A_R : relación de áreas

Debido a la selección de una sección rectangular, el coeficiente de pérdidas dadas por esta geometría está presentado en la Ecuación 1.14.

$$K_e = \begin{cases} 0,09623 - 0,004152\theta & \text{para } 0 < \theta < 1,5^\circ \\ 0,1222 - 0,04590\theta + 0,02203\theta^2 + 0,03269\theta^3 \\ - 0,0006145\theta^4 - 0,000028\theta^5 + 0,00002337\theta^6 \\ & \text{para } 1,5^\circ \leq \theta \leq 5^\circ \\ -0,01322 + 0,05866\theta & \text{para } 5^\circ < \theta \end{cases}$$

Ecuación 1.14 Coeficiente de pérdidas de una sección rectangular, [9].

1.4.5.5 Ecuaciones para malla colectora de velocidad

Esta malla tiene el objetivo de reducir las turbulencias de los fluidos, convirtiéndolo en laminar y acondicionándolo para una mejor interacción con el modelo de estudio. Se encuentra compuesta por un conjunto de alambres formando un patrón entrelazado, tienen varias configuraciones, cambiando formas, diámetros, tipo de alambre, material.

Dicho objeto presenta resistencia al fluido, y mediante la Ecuación 1.15 se conoce esas pérdidas.

$$K_m = K_{mesh} * K_{Rn} \sigma_s + \frac{\sigma_s}{\beta_s^2}$$

Ecuación 1.15 Perdidas en la malla, [9].

Donde:

K_m : Pérdidas en la sección de malla

K_{mesh} : Factor de mallado

K_{Rn} : Factor de número de Reynolds

σ_s : Solidez

β_s : Porosidad

La Ecuación 1.16 y Ecuación 1.17 presentan las variables para el cálculo de la porosidad y solidez respectivamente, además en conjunto con la Ecuación 1.18 presentan las características del alambre que conformara la malla. La Figura 1.14 identifica las secciones de la malla.

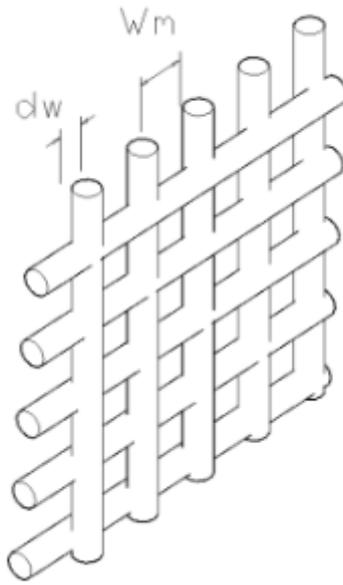


Figura 1.14 Nomenclatura de la malla, [14].

$$\beta_s = (1 - d_w * \rho_w)^2$$

Ecuación 1.16 Relación de la porosidad, [9].

Donde:

d_w : Diámetro del alambre (m)

ρ_w : Densidad de la malla

$$\sigma_s = 1 - \beta_s$$

Ecuación 1.17 Ecuación de la solidez, [9].

Donde:

σ_s : Sólidez

β_s : Porosidad

$$\rho_w = \frac{1}{W_m}$$

Ecuación 1.18 Densidad de la malla, [9].

Donde:

ρ_w : Densidad de la malla

W_m : Ancho de una celda de mallado (m)

El número de Reynolds para la malla es similar a la presentada en la Ecuación 1.19 de manera que presenta las mismas variables.

$$Re_w = \frac{\rho V d_w}{\mu}$$

Ecuación 1.19 Número de Reynolds, [9].

En la Ecuación 1.20 Se presenta el factor K_{Rn} mismo que se encuentra en función del número de Reynolds.

$$K_{Rn} = 0,785 * \left(\frac{Re_w}{241} + 1 \right)^{-4} + 1,01$$

Ecuación 1.20 Factor del número de Reynolds, [9].

Donde:

Re_w : número de reynolds en la malla

1.4.5.6 Ecuaciones para dimensionamiento del panal de abejas

La recomendación para estas celdas, deben tener una relación de largo-diámetro, de 6 a 8 y una porosidad aproximada de 0,8, [18]. Donde se determinará 6 para la relación antes mencionada para ser utilizada en la Ecuación 1.21.

$$\frac{L_h}{D_h} = 6$$

Ecuación 1.21 Relación largo-diámetro, [9].

Donde

L_h : Longitud de la celda del acondicionador de flujo (m)

D_h : Diámetro hidráulico de una celda del acondicionador de flujo (m)

Las pérdidas en esta sección se ven afectadas por el número de Reynolds, porosidad en la malla, además de espesor de la pared, dichas variables se encuentran expresadas en las Ecuación 1.22 que presenta la pérdida en el panal y Ecuación 1.23 que determina el coeficiente.

$$K_h = \lambda_h \left(\frac{L_h}{D_h} + 3 \right) \left(\frac{1}{\beta_h} \right)^2 + \left(\frac{1}{\beta_h} - 1 \right)^2$$

Ecuación 1.22 Pérdidas en el panel de abejas, [9].

$$\lambda_h = \begin{cases} 0,375 \left(\frac{\Delta}{D_h}\right)^{0,4} * Re_{\Delta}^{-0,1} & \text{para } Re_{\Delta} \leq 275 \\ 0,214 \left(\frac{\Delta}{D_h}\right)^{0,4} & \text{para } Re_{\Delta} > 275 \end{cases}$$

Ecuación 1.23 Coeficiente λ para diferente número de Reynolds, [9].

Donde;

K_h : Pérdidas en el panel de abejas

λ_h : Coeficiente λ

L_h : Longitud de la celda (m)

D_h : Diámetro hidráulico de una celda (m)

β_h : Porosidad de la malla

Δ : Espesor del material de la celda (m)

Re_{Δ} : Número de Reynolds de la celda

$$\text{Ancho de la celda} = \frac{\text{ancho del contractor}}{\frac{\text{Celdas}}{\text{lado}}} - \text{espesor del material}$$

Ecuación 1.24 ancho de la celda, [17].

La Ecuación 1.24 presenta la relación de las variables para determinar el valor del ancho de la celda que debe tener el panel.

El número de Reynolds del diámetro de una celda es determinado, mediante la Ecuación 1.25.

$$Re_{Dh} = \frac{V_{celda} * Dh * \rho}{\mu}$$

Ecuación 1.25 Número de Reynolds del diámetro de la celda, [17].

Donde

V_{celda} : Velocidad de la celda $\left(\frac{m}{s}\right)$

D_h : Diámetro hidráulico de una celda (m)

Y para determinar el valor de número de Reynolds de la celda se determina la Ecuación 1.26.

$$Re_{\Delta} = Re_{Dh} * \frac{\Delta}{D_h} * \sqrt{\frac{f}{8}}$$

Ecuación 1.26 Número de la celda, [17].

Donde

Re_{Dh} : Número de Reynolds para el diámetro hidráulico de una celda

Δ : Espesor de la celda (m)

f: Factor de fricción

Para el factor de fricción se determina la Ecuación 1.27.

$$f = \frac{1}{\left(1,8 * \log_{10} \left(\frac{6,9}{Re_{Dh}} + \left(\frac{\Delta}{3,7 * D_h} \right)^{1,11} \right)\right)^2}$$

Ecuación 1.27 Factor de fricción en la celda, [17].

Donde

Δ : Espesor de la celda (m)

Re_{Dh} : Número de Reynolds para el diámetro hidráulico de una celda

D_h : Diámetro hidráulico de una celda (m)

La porosidad de la malla es determinada con la Ecuación 1.28.

$$\beta_s = \left(1 - \frac{D_h}{\Delta}\right)^2$$

Ecuación 1.28 Porosidad de la malla, [17].

Donde

D_h : Diámetro hidráulico de una celda (m)

β_s : Porosidad de la malla

1.4.5.7 Ecuaciones para dimensión del cono de contracción

La relación de compresión recomendada tiene un valor entre 6 a 10, [9]. Se expresa en la Ecuación 1.29.

$$\frac{A1}{A2} = RC$$

Ecuación 1.29 Relación de compresión, [15].

Donde:

A1: Superficie de entrada del cono de contracción (m²)

A2: Superficie de salida del cono de contracción (similar a la cámara de pruebas) (m²)

Con la expresión antes mencionada se obtiene el valor de la superficie de entrada, y en base a ese valor se determina el valor de base y altura de esta sección con las Ecuaciones 1.30 y 1.31.

$$b = \sqrt{\frac{A1}{A2}} * bts$$

Ecuación 1.30 Base de entrada del cono de contracción, [15].

Donde

bts: Base de la cámara de pruebas (m)

b: Base entrada del contractor (m)

Para esta expresión es utilizado la recomendación de la relación alto-ancho de 1,5, [9].

$$a = \frac{b}{1,5}$$

Ecuación 1.31 Alto de la entrada del cono de contracción, [15].

Donde

a: Alto del contractor (m)

b: Base del contractor (m)

La relación ideal entre altura y longitud para un cono de contracción de un túnel aerodinámico que desarrolle un número MACH ≤ 1, está entre 0,5 a 1,5 veces la altura, [15]. La Ecuación 1.32 la expresión para determinar el largo.

$$L = 1,5 * (\text{alto})$$

Ecuación 1.32 Longitud del cono de contracción, [15].

La geometría de esta sección es característica ya que cuenta con curvaturas en sus lados mismos que ayudaran a la reducción de medidas entre la entrada y la salida de la pieza, con el fin de reducir las turbulencias y fluctuaciones que se pueden crear en el trayecto del flujo, las coordenadas para la contracción se obtiene con la Ecuación 1.33 , presentando una relación polinómica de quinto grado, conociendo que mientras más puntos de contracción existan mejoraran la disminución de pérdidas en la sección.

$$h = [-10(\xi)^3 + 15(\xi)^4 - 6(\xi)^5](H_i - H_0) + H_i$$

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

Ecuación 1.33 Altura de curvatura del cono de contracción, [20].

Donde

ξ : Razón de longitud

x : Longitud de la contracción parcializada en pequeños tramos (m)

L : Longitud de la contracción (m)

H_i : Altura de la contracción en la entrada de aire apartir del eje de simetría (m)

H_0 : Altura de la contracción en la salida de aire apartir del eje de simetría (m)

H_i : Altura de la contracción a una longitud "x" (m)

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

Ecuación 1.34 Pérdidas por fricción del cono de contracción, [20].

Donde

k_c : Coeficiente de pérdidas de contracción

v^2 : Velocidad a la salida de la sección de contracción $\left(\frac{m}{s^2}\right)$

g : Gravedad $\left(\frac{m}{s^2}\right)$

1.4.5.8 Fuerza de propulsión

El cálculo para determinar la fuerza de propulsión necesaria se encuentra relacionado a la diferencia de presiones en el túnel de viento. Con la Ecuación 1.35 se determina dicha diferencia.

$$\Delta P = \sum h_x * g * \rho$$

Ecuación 1.35 Diferencia de presiones, [15].

Donde;

ΔP : Fuerza de propulsión (kW)

ρ : Densidad del aire $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$

$\sum h_x$: Sumatoria de pérdidas de cada sección (m)

g : Aceleración de la gravedad $\left(\frac{m}{s^2}\right)$

El valor que se determina permitirá conocer la presión que se encuentra presente en la sección de la entrada del ventilador con la Ecuación 1.36.

$$\Delta P = P1 - P2$$

Ecuación 1.36 Diferencia de presiones, [15].

Donde;

$P1$: Presión en la entrada del tunel (Pa)

$P2$: Presión en la sección del ventilador (Pa)

Finalmente, la potencia del motor se encuentra definida con la Ecuación 1.37

$$Pot = \Delta P * Q$$

Ecuación 1.37 Diferencia de presiones, [15].

Donde;

ΔP : Diferencia de presiones (Pa)

Q : Caudal en la sección de pruebas $\left(\frac{m^3}{s}\right)$

Se conoce como caudal a la cantidad o volumen de fluido que a traviesa cierta sección en un momento exacto. El caudal necesario para el cálculo es el que atraviesa en la sección de pruebas, y se presenta en la Ecuación 1.38.

$$Q = V * A$$

Ecuación 1.38 Diferencia de presiones, [25].

Donde;

V: Velocidad en la sección de pruebas $\left(\frac{m}{s}\right)$

A: Área transversal de la sección de pruebas (m^2)

1.4.5.9 Ecuación de las fuerzas de sustentación y arrastre.

La ecuación 1.39 presenta las variables necesarias para el cálculo de la fuerza de sustentación, ecuación necesaria para el estudio de perfiles aerodinámicos, donde se menciona que es la fuerza resultante perpendicular al sentido de flujo libre y es generada por la diferencia de presiones entre el intradós y extradós del perfil.

$$L = \frac{1}{2} \rho U^2 C_L S$$

Ecuación 1.39 Fuerza de sustentación, [5].

Donde;

L: Fuerza de sustentación (N)

ρ : Densidad $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$

S: Superficie alar (m^2)

C_L : Coeficiente de sustentación

U: Velocidad $\left(\frac{m}{s}\right)$

La ecuación 1.40 presenta la expresión para calcular la fuerza de arrastre en los perfiles aerodinámicos, su única diferencia a la ecuación anterior es el coeficiente de arrastre. Esta fuerza se opone al movimiento del perfil y su actuar es en el sentido del flujo libre.

$$D = \frac{1}{2} \rho U^2 C_D S$$

Ecuación 1.40 Fuerza de arrastre, [5].

Donde;

D : Fuerza de arrastre (N)

ρ : Densidad $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$

S : Superficie alar (m^2)

C_D : Coeficiente de arrastre

U : Velocidad $\left(\frac{m}{s}\right)$

2 METODOLOGÍA

El diseño del túnel de viento se desarrollará mediante la metodología proyectiva, de manera que se realizará una profunda indagación sobre los temas relacionados al túnel de viento y los perfiles a estudiar, con la finalidad de realizar una propuesta para que el proyecto llegue a implementarse en un futuro y que los estudiantes de Electromecánica de la ESFOT puedan realizar diversos estudios y prácticas con este proyecto, [13].

El proceso de investigación se encuentra centrado en la comprensión de los principios fundamentales por los que se rige el comportamiento de un flujo dentro de un túnel de viento, lo que abarca el funcionamiento e importancia de cada componente que constará el proyecto, además del estudio y comprensión de los perfiles NACA.

En el proceso de dimensionamiento mediante referencias como literatura científica, se detallará modelos matemáticos utilizados para el dimensionamiento de cada componente necesario para el túnel de viento, haciendo referencia a los perfiles estudiados para obtener una escala ideal para el sistema, y así logrando obtener un modelo que se pueda considerar eficiente y óptimo para el estudio.

Mediante los resultados a obtener mediante la investigación y el dimensionamiento se realizará un análisis para la selección de materiales adecuados para el proyecto, teniendo consideraciones como propiedades de los materiales, durabilidad y costo, la selección tiende a equilibrar requisitos de rendimiento con costos, asegurando la adecuación de materiales a las necesidades específicas del proyecto y viabilidad a largo plazo.

Utilizando el software Inventor, se planea desarrollar los planos necesarios para la implementación del túnel de viento. En primera instancia, se diseñará los planos de despiece de cada componente detallando dimensiones, formas específicas para la fabricación de cada una. Además, la elaboración de un plano de ensamble que muestre el túnel de viento completamente armado, detallando la posición, dimensiones, ubicación de cada componente, asegurando que el montaje sea preciso y eficaz.

Finalmente, se identifica la cantidad y material necesario para la construcción del túnel de viento, buscando cotizaciones de proveedores de cada material, asegurando obtener buenos precios sin comprometer a la calidad. Buscando un buen balance con el fin de que el proyecto sea implementado en un futuro y así los estudiantes puedan realizar estudios de aerodinámica.

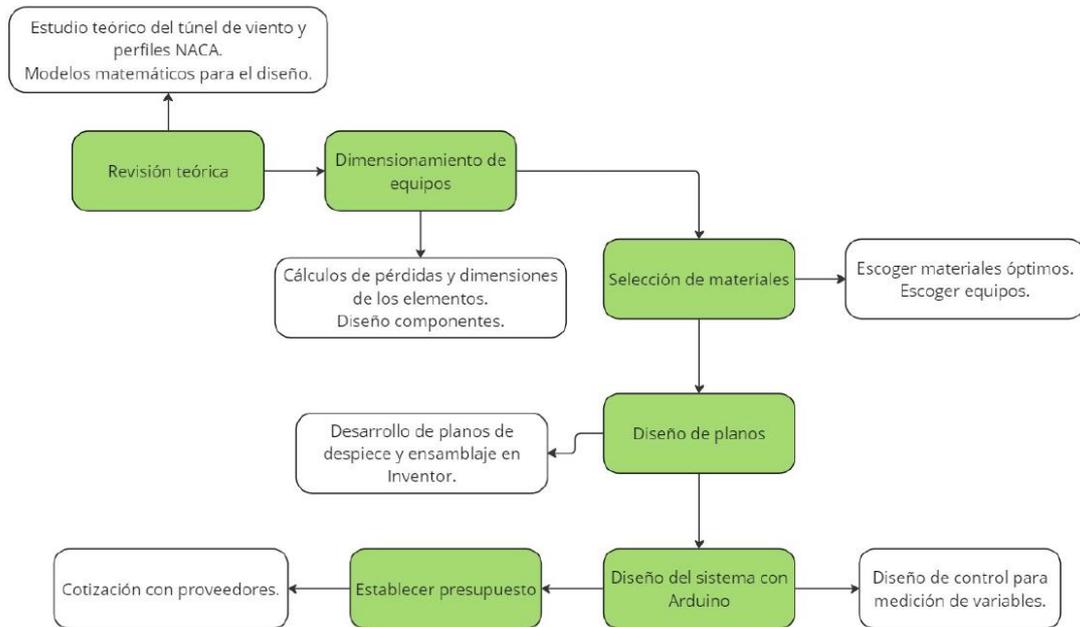


Figura 2.1 Metodología utilizada en el proyecto

2.1 Selección del modelo

Para el presente proyecto se eligieron los perfiles NACA 63A418 y NACA 64A010. Estos perfiles son diseñados para que sean eficientes en diferentes velocidades, condiciones de vuelo, y puedan operar de manera eficiente de manera que proporcionan un equilibrio entre eficiencia aerodinámica, sustentación y resistencia al movimiento, siendo escogidos para el uso en aviones comerciales.

2.2 Dimensionamiento del modelo

El dimensionamiento se encuentra basado en el perfil NACA 64A010, que al tener medidas más grandes que el otro perfil mencionado, permitirá que el dimensionamiento del túnel de viento sea el adecuado para el estudio de ambos perfiles. Aquel perfil es usado en aviones comerciales de la familia Embraer e-jet E2, los que se usarán como base para obtener medidas reales de su superficie alar.

Tabla 2.1 Medidas reales y a escala, [24].

PERFIL ALAR EMBRAER 195-E2		
	ESCALA REAL	ESCALA 1:100
ENVERGADURA (m)	35,12	0,35
CUERDA (m)	3,70	0,037
SUPERFICIE ALAR (m ²)	103	1,03

El túnel de viento a diseñar es de baja velocidad, la referencia explica que este rango de se encuentra bajo los 100 m/s, pero usualmente la operación realidad por diferentes equipos similares, se encuentran en un rango de 5 a 50 m/s, [9].

Para el siguiente dimensionamiento se determina una velocidad de 25 m/s para la operación según la referencia que se menciona para túneles de viento de baja velocidad.

2.2.1 Cámara de pruebas

2.2.1.1 Dimensionamiento de la cámara de pruebas

Existe diferentes geometrías que se aplican a la cámara de pruebas, cada una cuenta con su ventajas y desventajas. Para esta sección se seleccionará una cámara rectangular por su sencillo proceso de armado y gran eficiencia.

De manera mediante la Ecuación 1.7 se identifica el valor del ancho que tendrá la cámara de pruebas.

$$Ancho = \left(\frac{0,35}{0,7} \right)$$

$$Ancho = 0,5 \text{ (m)}$$

De modo que con la Ecuación 1.8 y el valor de anchura calculado previamente se define el valor de la altura que tendrá la cámara de pruebas.

$$Alto = \left(\frac{0,5}{1,5} \right)$$

$$Alto = 0,3 \text{ (m)}$$

Conociendo que el largo debe ser el doble del ancho de la cámara de prueba, los datos obtenidos previamente serán remplazados en la Ecuación 1.9 definiendo el largo de la cámara de pruebas, obteniendo

$$Largo = 0,5 * 2 = 1 \text{ (m)}$$

Con los datos obtenidos del alto y ancho de la cámara de pruebas se obtiene el valor de su área, mediante la ecuación conocida del área rectangular.

$$Area = 0,5 * 0,3 = 0,15 \text{ (m}^2\text{)}$$

2.2.1.2 Pérdidas dentro de la cámara de pruebas

Mediante la Ecuación 1.3 se conocerá el diámetro hidráulico.

$$D_h = \frac{2 * 0,5 (m) * 0,3 (m)}{0,5 (m) + 0,3 (m)}$$

$$D_h = 0,375 (m)$$

Se determina valores estándar para las características del aire según la referencia de Cengel, [1].

Presión: 1 (atm)

Viscosidad dinámica (η): $0,000018 \left(\frac{kg}{m*s} \right)$

Densidad del aire (ρ): $1,225 \left(\frac{kg}{m^3} \right)$

Con los valores determinados anteriormente, se reemplaza en la Ecuación 1.1 Para obtener el valor de numero de Reynolds para esta sección.

$$N_R = \frac{25 \left(\frac{m}{s} \right) * 0,375 (m) * 1,225 \left(\frac{kg}{m^3} \right)}{0,000018 \left(\frac{kg}{m * s} \right)}$$

$$N_R = 638020,83$$

Con la Ecuación 1.6 Se determina el valor del factor de fricción

$$f = (2 * \log_{10}(638020,83 * \sqrt{f}) - 0,8)^{-2}$$

$$f = 0,0126$$

En la Ecuación 1.5 se reemplaza todos valores obtenidos para determinar el valor de pérdidas en esta sección.

$$h_f = 0,0126 * \frac{1(m)}{0,357 (m)} * \frac{\left(25 \left(\frac{m}{s} \right) \right)^2}{2 \left(9,81 \left(\frac{m}{s^2} \right) \right)}$$

$$h_f = 1,12 (m)$$

2.2.2 Difusor

2.2.2.1 Dimensionamiento del difusor

El diseño de este componente se encuentra adoptada según las recomendaciones de la referencia de Bradshaw, [12].

El valor de la relación de áreas es establecido en 2,5 puesto no puede superar el rango de 2,5 a 3. Además, la proporción del ancho y alto será la misma utilizada en la cámara de pruebas.

Para obtener una buena estabilidad del flujo dentro del difusor se adoptará la sugerencia de 5 grados para el diseño, [12].

La sección de entrada tiene las mismas medidas que la cámara de pruebas, con esa consideración se identifica que el área de entrada es $A_{in} = 0,15 \text{ (m}^2\text{)}$.

Con la ecuación conocida para áreas circulares se identifica el valor del radio hidráulico de la entrada de la sección.

$$0,15 \text{ (m}^2\text{)} = \pi * R_1^2$$

$$R_1 = 0,219 \text{ (m)}$$

Donde el diámetro hidráulico es el doble del radio.

$$D_1 = 0,437 \text{ (m)}$$

Mediante la Ecuación 1.10 se conocerá la longitud del difusor.

$$5^\circ = \arctan\left(\frac{1}{2} * \frac{\sqrt{2,5} - 1}{\frac{L}{0,437 \text{ (m)}}}\right)$$

$$L = 1,45 \text{ (m)}$$

Con el valor obtenido siendo remplazado en la Ecuación 1.10 a través de la otra relación, se determinará el radio hidráulico de la salida, identificando en la dimensión que debe tener la sección que en el caso de la salida es de geometría circular

$$5^\circ = \arctan\left(\frac{R_2 - 0,219 \text{ (m)}}{1,45 \text{ (m)}}\right)$$

$$R_2 = 0,35 \text{ (m)}$$

Donde el diámetro de la sección de salida del difusor es el doble del radio obtenido anteriormente.

$$D_2 = 0,70 \text{ (m)}$$

Finalmente se desarrolla una indagación sobre ventiladores que tengan las dimensiones necesarias para un buen acoplamiento en esta sección, debido a las opciones encontradas se opta por reducir la medida de salida del difusor para que coincida sus secciones y puedan acoplarse. Teniendo en cuenta valores de potencia y caudal cercanos a los necesarios para un óptimo funcionamiento del túnel de viento.

Donde el nuevo radio hidráulico es:

$$R_2 = 0,315 \text{ (m)}$$

Por lo tanto, el valor de su diámetro tiene una dimensión de:

$$D_2 = 0,630 \text{ (m)}$$

2.2.2.2 Cálculo de pérdidas en el difusor

Para el cálculo del coeficiente de pérdidas del difusor, se debe determinar los valores del coeficiente de pérdidas del factor de fricción y el coeficiente de pérdidas de expansión, presentadas en las Ecuaciones 1.12 y 1.13 respectivamente.

$$K_f = \left(1 - \frac{1}{2,5^2}\right) * \frac{0,0126}{8 \text{sen}5}$$

$$K_f = 0,015$$

$$K_{ex} = K_e(\theta) \left(\frac{A_R - 1}{A_R}\right)^2$$

Donde K_e se determina con la Ecuación 1.14 considerando el ángulo que tendrá el difusor.

$$K_e = 0,1222 - 0,04590(5) + 0,02203(5)^2 + 0,03269(5)^3 - 0,0006145(5)^4 - 0,000028(5)^5 + 0,00002337(5)^6 \text{ para } 1,5^\circ \leq \theta \leq 5^\circ$$

$$K_e = 4,42$$

El difusor tiene una relación de áreas similar a la cámara de pruebas, teniendo un valor de 2,5.

$$K_{ex} = 4,42(5) \left(\frac{2,5 - 1}{2,5}\right)^2$$

$$K_{ex} = 7,95$$

Finalmente, las pérdidas totales del difusor se identifican en la Ecuación 1.11 con la suma de las pérdidas obtenidas.

$$K_d = 7,95 + 0,015$$

$$K_d = 7,97$$

2.2.3 Acondicionador de flujo

2.2.3.1 Cálculo de pérdidas en el panel de abeja

La pérdida en el panel de un túnel aerodinámico suele ser inferior al 5% de la pérdida total del túnel, se indica que unas 150 celdas alveolares por diámetro de cámara de decantación, o unas 25000 celdas totales, son adecuadas, [9]. Además, la longitud de la celda debe ser entre 6 a 8 veces su diámetro hidráulico, [19].

El diseño es desarrollado para un panel de abeja con una densidad de 25000 en la sección, tomando la recomendación mencionada. El espesor de material (Δ) es de 1 (mm). La distancia del panel está recomendada con una distancia de 470 (mm), [19].

Con la Ecuación 1.24 se identifica el ancho que debe tener la celda.

$$\text{Ancho de la celda} = \frac{1,3(m)}{150} - 0,001 (m)$$

$$\text{Ancho de la celda} = 0,00766 (m)$$

La selección de la celda es cuadrada debido a que es la más común. Entonces mediante la Ecuación 1.2 se determina el valor del diámetro hidráulico de la celda.

$$D_h = \frac{4(0,00766)^2}{4(0,00766)}$$

$$D_h = 0,00766 (m)$$

La Ecuación 1.21 presenta la relación para determinar la longitud o ancho del panel de abejas.

$$L_h = 6 * 0,00766 (m)$$

$$L_h = 0,046 (m)$$

La velocidad que ingresará a la malla del acondicionador será la misma que pasa a través de la entrada del contractor y teniendo en cuenta que la relación de contracción

determinada es de 7, se determina la velocidad en la entrada del contractor con la velocidad determinada de $25 \left(\frac{m}{s}\right)$ para la cámara de pruebas con la relación presentada en la referencia, [19].

$$\text{Velocidad de la entrada del contractor} = \frac{25 \left(\frac{m}{s}\right)}{7}$$

$$\text{Velocidad de la entrada del contractor} = 3,57 \left(\frac{m}{s}\right)$$

Mediante la Ecuación 1.25 se determina el valor de numero de Reynolds que tendrá la sección del panel.

$$Re_{Dh} = \frac{3,57 \left(\frac{m}{s}\right) * 0,00766 (m) * 1,225 \left(\frac{kg}{m^3}\right)}{0,000018 \left(\frac{kg}{m * s}\right)}$$

$$Re_{Dh} = 1861,06$$

A través de la Ecuación 1.27 se define el valor de factor de fricción para la celda.

$$f = \frac{1}{\left(1,8 * \log_{10} \left(\frac{6,9}{1861,06} + \left(\frac{0,001 (m)}{3,7 * 0,00766 (m)}\right)^{1,11}\right)\right)^2}$$

$$f = 0,128$$

Por lo tanto, el número de Reynolds de la celda es presentado por la Ecuación 1.26, mientras que la Ecuación 1.28 presenta el valor de porosidad de la malla.

$$Re_{\Delta} = 1861,06 * \frac{0,001(m)}{0,00766 (m)} * \sqrt{\frac{0,128}{8}}$$

$$Re_{\Delta} = 30,73$$

$$\beta_h = \left(1 - \frac{0,00766}{0,001}\right)^2$$

$$\beta_h = 44,35$$

Mediante la Ecuación 1.23 haciendo referencia al número de Reynolds indicado para la celda se identificará el valor de coeficiente λ_h .

$$\lambda_h = 0,375 \left(\frac{0,001 \text{ (m)}}{0,00766 \text{ (m)}} \right)^{0,4} * 30,73^{-0,1} \text{ para } Re_{\Delta} \leq 275$$

$$\lambda_h = 0,118$$

Finalmente, con la Ecuación 1.22 se identifica el valor de pérdidas en la sección.

$$K_h = 0,118 \left(\frac{0,046 \text{ (m)}}{0,00766 \text{ (m)}} + 3 \right) \left(\frac{1}{44,35} \right)^2 + \left(\frac{1}{44,35} - 1 \right)^2$$

$$K_h = 0,9559 \text{ (m)}$$

2.2.3.2 Cálculo de pérdidas en la malla

Para una mejor regulación de flujo se plantea realizar un arreglo de tres mallas con un diámetro del alambre d_w de 1,1 (mm), con un ancho de celda W_m de 5,25 (mm), medidas obtenidas al indagar sobre las mallas disponibles y presentadas en los anexos, además las celdas estén separadas entre sí un total de 500 (mm), estas se encontrarán ubicadas antes de la zona de contracción.

La Figura 2.2 presenta las dimensiones que tiene la malla seleccionada para el dimensionamiento del proyecto.

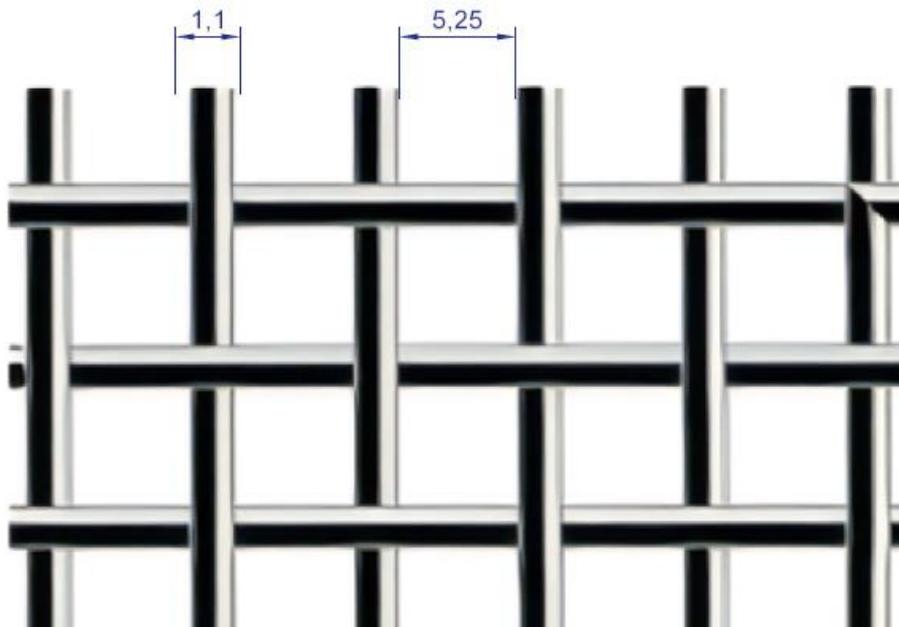


Figura 2.2 Dimensiones de la malla.

En la Ecuación 1.19 presenta las variables para determinar el número de Reynolds en esta sección.

$$Re_w = \frac{3,57 \left(\frac{m}{s}\right) * 0,0011 (m) * 1,225 \left(\frac{kg}{m^3}\right)}{0,000018 \left(\frac{kg}{m * s}\right)}$$

$$Re_w = 267,25$$

Debido al rango de su número de Reynolds se tiene la Ecuación 1.20 con el que se identificara el factor K_{Rn} para la malla.

$$K_{Rn} = 0,785 * \left(\frac{267,25}{241} + 1\right)^{-4} + 1,01$$

$$K_{Rn} = 1,049$$

Mediante las Ecuación 1.16 se obtiene la relación de porosidad.

$$\beta_s = \left(1 - 0,0011 (m) * \frac{1}{0,00525 (m)}\right)^2$$

$$\beta_s = 0,62$$

La Ecuación 1.17 presenta la solidez de la malla.

$$\sigma_s = 1 - 0,62$$

$$\sigma_s = 0,38$$

Finalmente, la Ecuación 1.15 determina el valor de las pérdidas en las mallas. Identificando el factor de mallado (K_{mesh}) con valores recomendados con 1,0 para Alambre metálico nuevo, 1,3 para un promedio de alambres metálicos circulares y 2,1 para Hilo de seda, [9]. Seleccionado el factor para alambre metálico nuevo para este diseño.

$$K_m = 1 * (1,049)(0,38) + \frac{0,38}{(0,62)^2}$$

$$K_m = 1,38$$

2.2.4 Cono de contracción

La sección de salida de este componente se encuentra junto a la sección de entrada de la cámara de pruebas, contando con medidas de áreas similares. La relación de contracción recomendada se encuentra entre 6 a 10, [9]. En el presente diseño se determinará una relación de 7.

Conociendo que el área de salida del cono de contracción es similar al de la cámara de pruebas, se determina el valor del área de la sección de entrada de este componente con la relación determinada anteriormente y presentada en la Ecuación 1.29.

$$A_1 = 0,15 (m^2) * 7 = 1,05 (m^2)$$

El valor de la base se obtiene mediante la Ecuación 1.30.

$$b = \sqrt{\frac{1,05}{0,15}} * 0,5$$

$$b = 1,3 (m)$$

La altura se obtiene con la Ecuación 1.31.

$$a = \frac{1,32}{1,5}$$

$$a = 0,9 (m)$$

Con la Ecuación 1.32 Se determina el valor de la longitud de esta sección.

$$L = 1,5 * 0,9$$

$$L = 1,35 (m)$$

El diseño de esta sección cuenta con una curvatura para evitar pérdidas y las turbulencias dentro del túnel de viento. La característica geometría de la sección es determinada con la Ecuación 1.33, presenta una ecuación polinómica de quinto orden.

$$h = [-10(\xi)^3 + 15(\xi)^4 - 6(\xi)^5](H_i - H_0) + H_i$$

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

Las diferentes variables necesarias para el presente cálculo se identificaron en secciones anteriores donde $L=1,35 (m)$ es la longitud de contracción, $H_i=0,45(m)$ altura de contracción de la entrada desde el eje de simetría, $H_0= 0,15 (m)$ altura de contracción de la salida desde el eje de simetría, y el valor de x debe ser la longitud a la que debe realizarse cada contracción, identificado de manera iterativa priorizando obtener una curva satisfactoria. La Tabla 2.3 presenta los puntos de contracción identificados con la Ecuación 1.33, los puntos de curvatura del cono de contracción obtenida en el proceso se identifican en la Figura 2.2

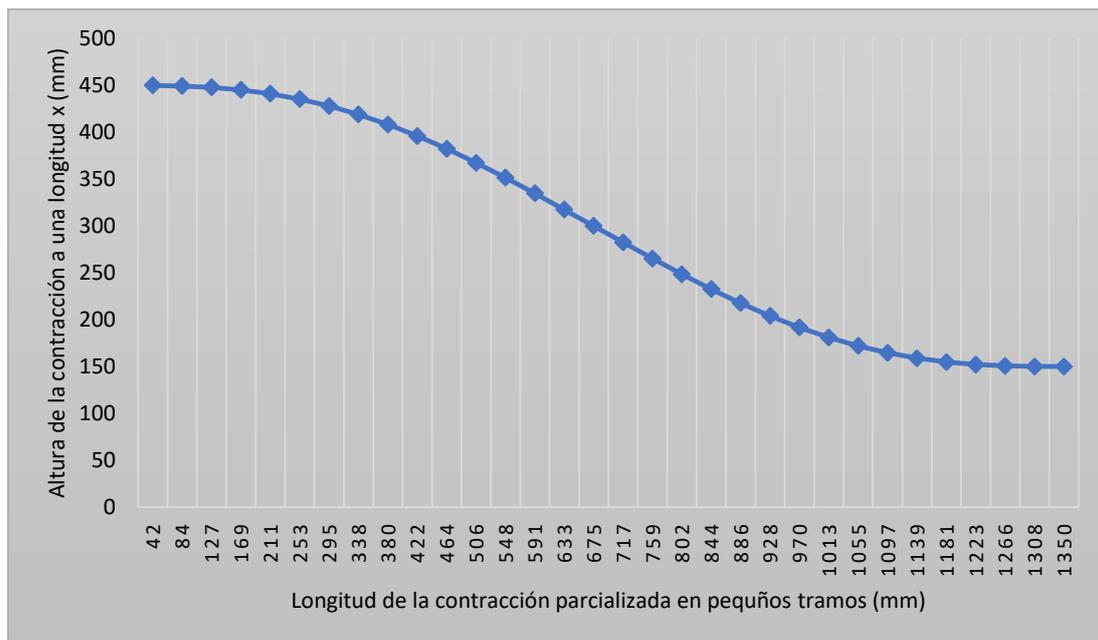


Figura 2.3 Vista lateral de la curvatura del cono de contracción.

Tabla 2.3 Coordenadas de curvatura del contructor vista lateral.

Longitud (mm)	Altura (mm)
42	450
84	449
127	448
169	445
211	441
253	435
295	428
338	419
380	408
422	396
464	382
506	367
548	352
591	335
633	318
675	300
717	282
759	265

802	248
844	233
886	218
928	204
970	192
1 013	181
1 055	172
1 097	165
1 139	159
1 181	155
1 223	152
1 266	151
1 308	150
1 350	150

Para identificar la curvatura necesaria de la vista superior del cono de contracción es similar al proceso anterior, usado la Ecuación 1.33 realizando el cálculo para la misma cantidad de tramos de contracción se obtiene las coordenadas para la curvatura del cono de contracción, presentados en la Tabla 2.4.

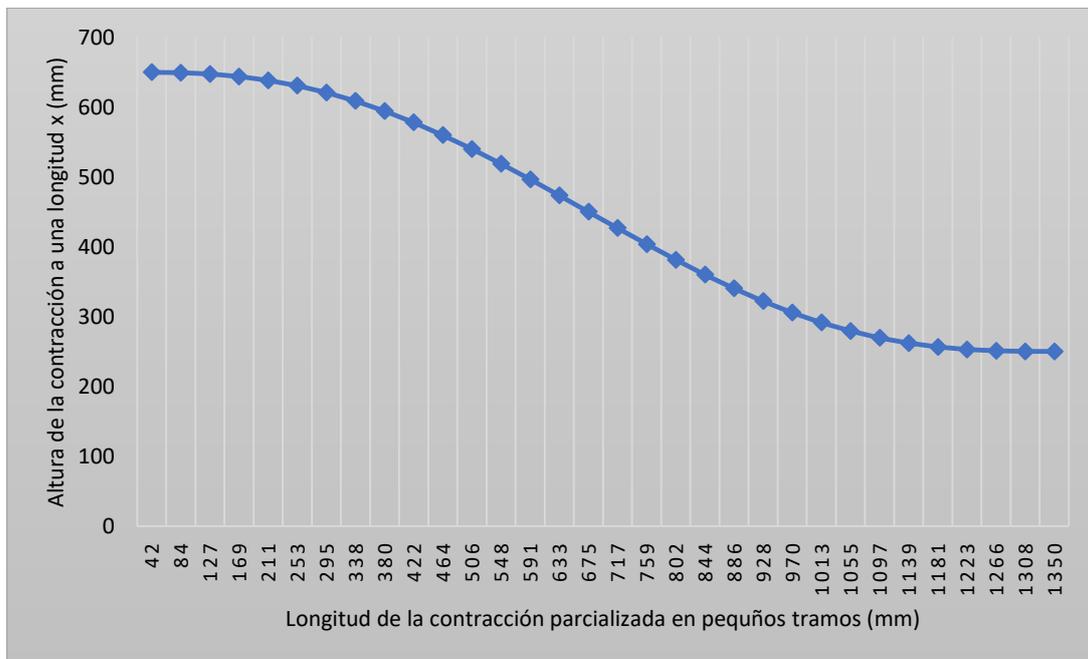


Figura 2.4 Vista superior de la curvatura del cono de contracción.

La Figura 2.3 presenta la curvatura final de la sección desde una vista superior.

Tabla 2.4 Coordenadas de curvatura del contructor vista superior.

Longitud (mm)	Altura (mm)
42	650
84	649
127	647
169	644
211	638
253	630
295	621
338	609
380	594
422	578
464	560
506	540
548	519
591	496
633	473
675	450
717	427
759	404
802	381
844	360
886	340
928	322
970	306
1 013	291
1 055	279
1 097	270
1 139	262
1 181	256
1 223	253
1 266	251
1 308	250
1 350	250

2.2.4.1 Cálculo de pérdidas del cono de contracción

La estructura del cono de contracción tiene una geometría característica que se diseña empíricamente buscando una curvatura suave para la contracción, como resultado el cálculo de sus pérdidas se vuelve compleja, [17].

El cono de contracción está compuesto por varias secciones de contracción en pequeños tramos, con el objetivo de obtener un diseño con una curva que permita minimizar las pérdidas.

La Tabla 2.5 presenta valores de coeficientes en relación del radio de curvatura y el diámetro hidráulico, donde se asume que el contractor cuenta con una curva redondeada debido a la cantidad de tramos de contracción.

Tabla 2.5 Coeficientes de resistencia, [20]

$\frac{r}{D_2}$	k
0	0,50
0,01	0,28
0,04	0,24
0,05	0,15
0,10	0,09
>0,15	0,04

El valor de coeficiente k debido a su curvatura obtenido por la presente Tabla 2.5 es k=0,04

Por lo tanto, la Ecuación 1.34 define el valor de pérdidas que presenta el cono de contracción.

$$hf = 0,04 * \frac{25^2 \left(\frac{m}{s^2}\right)}{2 * 9,81 \left(\frac{m}{s^2}\right)}$$

$$hf = 1,24 (m)$$

2.3 Potencia requerida

La sumatoria de las pérdidas en el túnel interviene en el cálculo para determinar la presión a la entrada del ventilador.

Tabla 2.6 Pérdidas por fricción del túnel de viento.

Sección de túnel de viento	Pérdidas por fricción (m)
Cámara de pruebas	1,12
Difusor	7,97
Cono de contracción	1,24
Acondicionador de flujo	2,33
Total	12,66

La Tabla 2.6 presenta el valor de pérdidas en cada sección y la sumatoria es la pérdida total en el túnel de viento.

Donde la diferencia de presiones determina con la Ecuación 1.35.

$$\Delta P = 12,546 (m) * 9,81 \left(\frac{m}{s^2}\right) * 1,225 \left(\frac{kg}{m^3}\right)$$

$$\Delta P = 150,77(Pa)$$

Sustituyendo los valores en la Ecuación 1.36, se identifica el valor de la presión en la entrada del ventilador. Donde la presión 1 es la presión atmosférica.

$$P_2 = 101325 (Pa) - 150,77(Pa)$$

$$P_2 = 101174,23 (Pa)$$

Para identificar la potencia del motor es necesario conocer el valor de caudal necesario para el funcionamiento del túnel de viento.

Donde el caudal es conocido con la Ecuación 1.38.

$$Q = 25 \left(\frac{m}{s}\right) * 0,15(m^2)$$

$$Q = 3,75 \left(\frac{m^3}{s}\right)$$

Finalmente, la Ecuación 1.37 presenta la potencia del motor necesaria para el túnel de viento.

$$Pot = 150,77 (Pa) * 3,75 \left(\frac{m^3}{s}\right)$$

$$Pot = 565,39 (w) = 0,75 (hp)$$

2.4 Selección de materiales

La Tabla 2.2 indica valores de rugosidad para diferentes tipos de materias en tuberías comerciales.

Tabla 2.7 Rugosidad de tuberías de diferente material, [1].

Material	Rugosidad ϵ	
	(ft)	(mm)
Vidrio, plástico	0 (liso)	
Concreto	0,003-0,03	0,9-9
Duela de madera	0,0016	0,5
Hule, alisado	0,00033	0,01
Tubería de cobre o latón	0,000005	0,0015
Hierro fundido	0,00085	0,26
Hierro galvanizado	0,0005	0,15
Hierro forjado	0,00015	0,046
Acero inoxidable	0,000007	0,002
Acero comercial	0,00015	0,045

2.4.1 Cámara de pruebas

La Tabla 2.7 indica que el vidrio y el plástico no presenta rugosidad, pero se trata de valores ideales, en todo material existe perdidas, pero pueden ser mínimas. Debido a eso se el material escogido para esta sección son lamias de acrílico de 1 (mm) de espesor.

2.4.2 Difusor, acondicionador de flujo, Cono de contracción

Con los valores de rugosidad presentados en la Tabla 2.7 se define que el acero comercial a utilizar por el bajo grado de rugosidad es acero galvanizado, además de sus propiedades a la corrosión y rigidez a largo plazo.

2.4.3 Malla y panel de abeja

La malla seleccionada para el acondicionador de flujo tiene alambres de 1,1 (mm) de diámetro y 5,25 (mm) de abertura entre alambres, es escogida previamente para realizar el cálculo de las perdidas en la sección.

2.4.4 Estructura de soporte

Los elementos del túnel de viento tienen dimensiones grandes y tendrán un peso considerable debido al material escogido, de manera que se seleccionó tubos cuadrados con dimensiones de 50 x 50 x 2 (mm) para la construcción de una estructura capaz de soportar los elementos del túnel de viento.

2.5 Instrumentación para medición de variables físicas

2.5.1 Arduino Uno

Es una placa de código abierto que está basado en el microcontrolador ATmega328P. Mediante el lenguaje de programación conocidos como C y C++, permitiendo la creación de programas que interactuaren de manera autónoma.

Tiene una interfaz de entrada, que permite la conexión y recopilación de datos mediante diferentes tipos de periféricos, datos que serán procesados hasta la interfaz de la salida que interactuarán con equipos diferentes automatizando procesos.

Dispositivo encargado de obtener y procesar los datos de la velocidad y presión dentro del túnel de viento, mediante la conexión de sensores.

2.5.2 Anemómetro

Conocido como anemómetro tipo veleta, instrumento efectivo en la detección de la velocidad del viento. Consiste en un anemómetro de tres tazas o veletas, y un generador de voltaje proporcional a la velocidad del viento.

La salida del instrumento es una señal analógica, que debe ser procesada por el Arduino y mostrar la velocidad del viento en relación del voltaje generado por el instrumento.



Figura 2.5 Anemómetro tipo veleta, [23].

2.5.3 Sensor de presión BMP 180

El sensor de presión barométrica presenta la relación entre la presión del aire y la altitud misma que es la base de su funcionamiento. Posee alta precisión y bajo consumo de energía. Entre sus características esta alta precisión en la medición, linealidad, es robusto, y estable a largo plazo. A través de protocolos como I2C o SPI pueden ser conectados a Arduino. Capaz de medir valores de presión y temperatura.

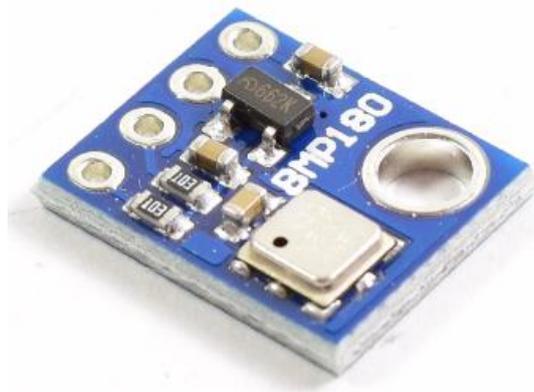


Figura 2.6 Sensor BMP 180, [26].

2.5.4 Display LCD

Un Display LCD 16 x 2 tiene dos filas y dos columnas que permiten mostrar información en forma de texto o números, compatible con controladores como Arduino. Es seleccionado para el diseño del sistema de medición de variables con el objetivo de poder visualizar el cambio de variables físicas dentro del túnel de viento. Se puede optar por un LCD más grande para mostrar con el objetivo de mostrar más información como el caso de la simulación.

2.6 Visualización de flujo

La cámara de humo en este proyecto es parte esencial porque permite visualizar y analizar el flujo de aire que rodea al modelo a estudiar de manera más directa y clara. Este componente utiliza un fluido especial, que es calentado hasta el punto de vaporización, el humo no es tóxico y puede ser usado de manera segura.

2.7 Modelado 3D de cada pieza

2.7.1 Difusor

La Figura 2.6 presenta el modelo del difusor en 3D realizado en el Software Inventor, donde se observa la sección circular misma que será acoplado el ventilador y su sección rectangular se acoplará a la cámara de pruebas. Las medidas calculadas para su fabricación se encuentran detalladas en el plano de la pieza en el ANEXO X.

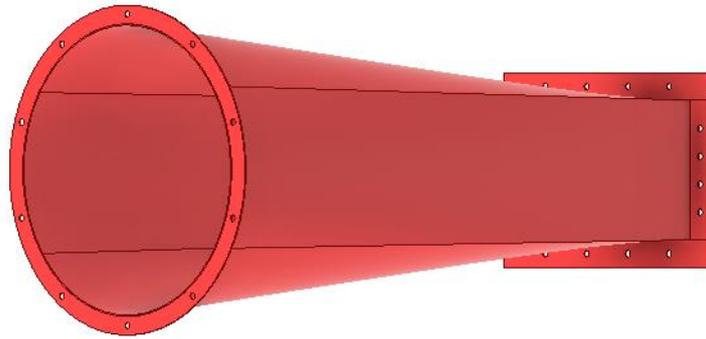


Figura 2.7 Modelo 3D del difusor.

2.7.2 Acondicionador de flujo

El acondicionador de flujo encargado de reducir las turbulencias y producir un flujo más homogéneo, es presentado su modelo 3D en la Figura 2.7 en esta sección es donde se acoplan la malla y el panel de abejas para formar un solo conjunto. Las medidas para su fabricación se encuentran detalladas en el plano de la pieza, adjuntado en el ANEXO X.



Figura 2.8 Modelo 3D del acondicionador de flujo.

2.7.3 Cono de contracción

Sección donde las turbulencias y fluctuaciones del flujo son reducidas mediante una curvatura característica en su diseño. La Figura 2.8 presenta el diseño final 3D del cono de contracción, donde se observa que la superficie mayor presenta una reducción en las medidas, a través, de la curvatura tanto superior e inferior como laterales, las medidas para la construcción se encuentran en el ANEXO X. y las medidas de la curvatura de contracción están presentes en la Tabla 2.3 y Tabla 2.4.

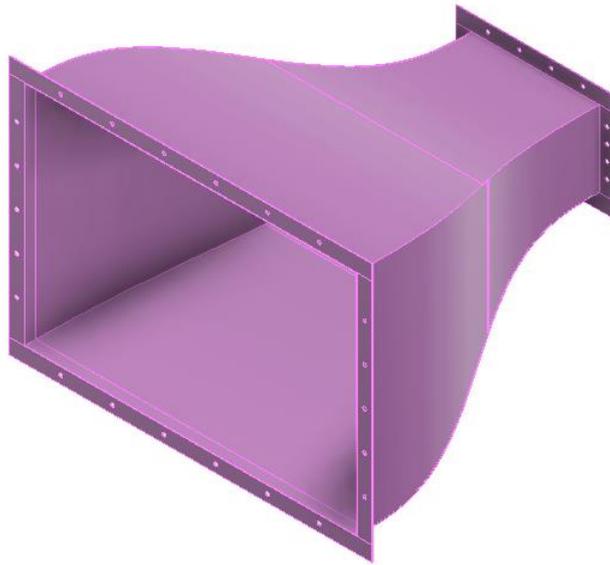


Figura 2.9 Modelo 3D del cono de contracción.

2.7.4 Cámara de pruebas

La Figura 2.9 presenta la sección donde se producirán los ensayos de perfiles y se colocara la instrumentación. Como muestra la figura el material debe ser transparente con el fin de poder analizar y visualizar en tiempo real el comportamiento del flujo de aire producido sobre los modelos a estudiar. Las dimensiones para su construcción son presentadas en el plano de la pieza adjuntado en el ANEXO X.

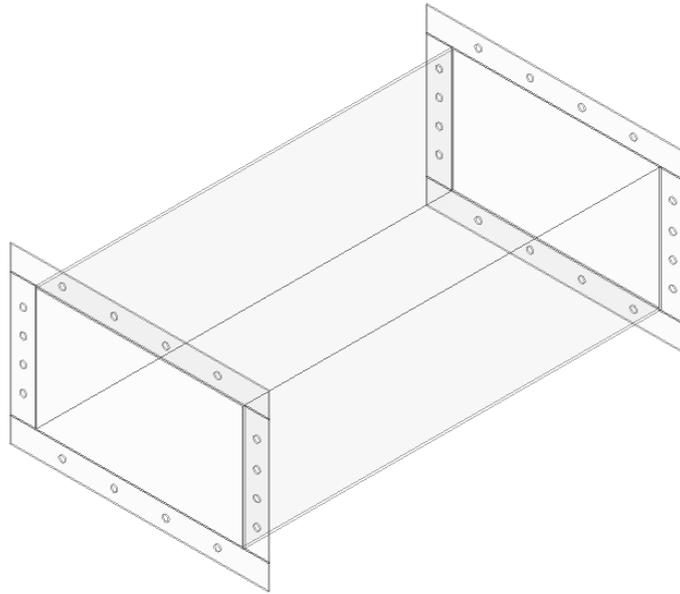


Figura 2.10 Modelo 3D de la cámara de pruebas.

2.7.5 Estructura de soporte

La Figura 2.11 presenta el modelo 3D de la estructura metálica que funcionara como soporte para los elementos del túnel de viento, debe ser lo suficientemente rígida para soportar el peso de las piezas e instrumentación necesaria, además de soportar las vibraciones que sean generadas por el funcionamiento del ventilador. Las medidas para su construcción se encuentran detalladas en el plano adjuntado en el ANEXO X.

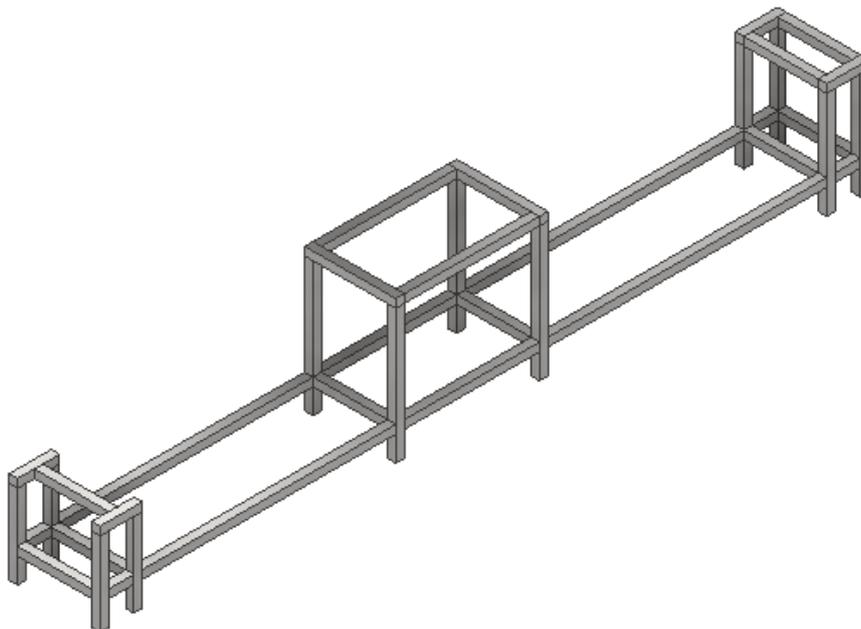


Figura 2.11 Modelado 3D de la estructura de soporte

2.8 Cotizaciones

Para desarrollar una estimación del presupuesto para el proyecto, se presenta cotizaciones realizadas en el mes de junio de 2024, donde se involucra un IVA del 15%.

2.8.1 Costo de materiales

Se solicita cotización en la empresa Acrilmax, sobre una lámina de acrílico transparente de 1220 x 2440 x 2 (mm), suficiente para obtener cada pieza necesaria para la cámara de pruebas. Con un costo de \$41,40 incluido IVA, el producto se encuentra adjunto en el ANEXO IV.

Se solicita cotización en la empresa Import Aceros, sobre planchas de acero galvanizado con medidas de 1220 x 2440 (mm), para espesores de 0,7 (mm) y 0,9 (mm), donde la unidad del material tiene un costo de \$15,38 y \$19,77 respectivamente, el material es necesario para la fabricación de secciones como difusor, cono de contracción, acondicionador de flujo, la cantidad prevista es de 6 unidades para todo el proyecto. Finalmente, se escoge la plancha con un espesor de 0,7 (mm) para el proyecto. La cotización se encuentra adjuntado en el ANEXO III.

Se solicita cotización en la empresa Import Aceros, sobre tubos cuadrados con dimensiones de 50 x 50 x 2 (mm) con longitud de 6 metros. Material necesario para la fabricación de la estructura de soporte del túnel de viento, se prevé una cantidad de 4 tubos para completar la estructura, el costo unitario de la tubería es de \$21,75, la cotización se encuentra en el ANEXO III.

2.8.2 Costo de instrumentación

Se presenta la cotización realizada a la empresa Pro Electronics, de los sensores necesarios para la medición de las variables físicas, El costo unitario del anemómetro o sensor de viento tipo veleta es de \$34,78, y el costo unitario del sensor de presión BMP 180 es de \$2,61. La cotización realizada se encuentra adjuntada en el ANEXO V.

Se presenta la cotización realizada a la empresa Electrónica Quito, sobre el controlador Arduino uno y un Display 16x2. El Arduino estará encargado de recibir las señales de los sensores y procesarlas su costo es de \$14,35 para un elemento replica y el display está cumplirá la función de mostrar las variables medidas por los diferentes sensores tiene un costo de \$5,22. La cotización se presenta adjuntada en el ANEXO V.

2.8.3 Costo de cámara de humo

Se presenta la cotización realizada a la empresa IMPHERSAL, de una cámara de humo necesaria para mejorar el estudio del comportamiento del aire sobre los perfiles a estudiar, permitiendo ver las líneas de aire generadas por el ventilador. El costo de este elemento se encuentra en el ANEXO VI.

2.8.4 Costo del ventilador

La selección del ventilador se basó en el dimensionamiento realizado en la sección anterior, donde se optó por reducir la sección de acoplamiento del difusor con el fin de escoger un ventilador comercial, la cotización realizada a la empresa Gonzaga y Rodríguez, presenta un ventilador comercial con el costo de \$839,83. La cotización realizada se encuentra adjuntada en el ANEXO VIII.

2.8.5 Costo de empaque y pernos

Se solicitó una cotización del material necesario para la fabricación de empaques que serán colocadas en cada acople de las diferentes secciones del túnel de viento evitando filtraciones del aire interno del proyecto. La empresa Ludepa indica que el costo por metro del empaque de caucho es de \$52,56.

Además, se obtuvo el costo de elementos como pernos, tuercas, arandelas planas y de presión, cada uno por unidad. Donde el costo total del juego completo por unidad es de \$1,63. La cotización se adjunta en el ANEXO VII.

3 RESULTADOS

3.1 Túnel de viento dibujo 3D

El diseño 3D de cada pieza que conforma un túnel de viento fue realizado conforme a las medidas obtenidas gracias al dimensionamiento realizado, estas dimensiones son detalladas en cada plano técnico de manera individual proporcionando las características a que se deben tomar en cuenta para una futura fabricación. Finalmente se desarrolló el ensamblaje de cada pieza asegurando que cada componente encajara de manera correcta entre las diferentes secciones del túnel de viento. La Figura 3.1 indica el ensamblaje realizado en el Software Inventor, con el fin de presentar un enfoque detallado que sirva de guía para la construcción del proyecto, además de presentar un plano de conjunto que indique cada característica.

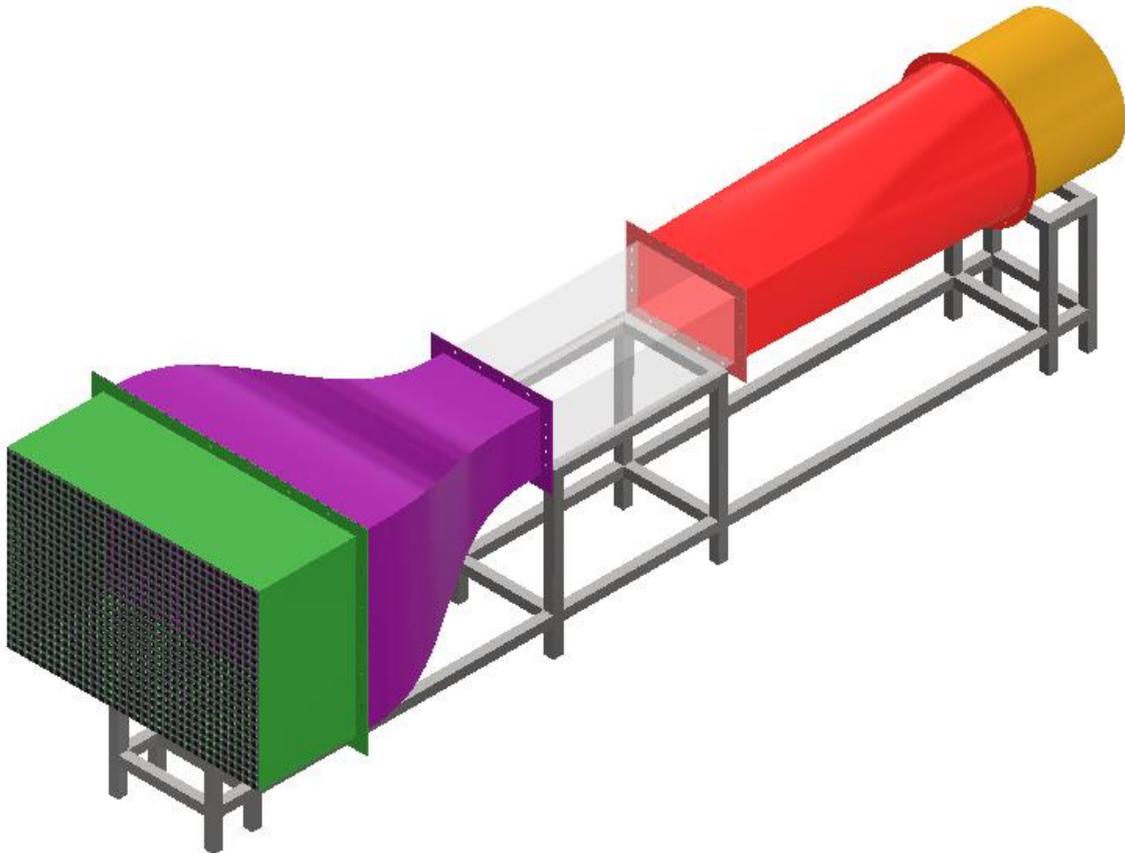


Figura 3.1 Modelado 3D del túnel de viento

3.2 Presupuesto para del túnel de viento.

Teniendo en cuenta las cotizaciones realizadas y la cantidad de material necesario para implementación de este proyecto, se realizó un presupuesto total del túnel de viento este

será presentado en la Tabla 3.1. Dentro del costo total se encuentra contemplado el valor del IVA 15%.

Tabla 3.1 Presupuesto con base en las cotizaciones

Instrumento /material	Proveedor	Modelo	Costo unidad	Cantidad	Costo total
Cámara de pruebas					
Acrílico transparente	Acrilmax	1220 x 2440 x 2 (mm)	\$36,00	1	\$36
Difusor, cono de contracción, acondicionador de flujo.					
Acero galvanizado	Import Aceros	122 x 2400 x 0,70 (mm)	\$15,38	6	\$92,28
Malla					
Malla inoxidable	Reper Metal	MESH #4 x 1,1(mm) x 1(m)	\$45	4	\$180
Estructura de soporte					
Tubo cuadrado acero negro	Import Aceros	50 x 50 x 2 (mm) Longitud 6 (m)	\$21,75	4	\$87
Visualización de flujo					
Cámara de humo	IMPHERSA L	400 (w)	\$34,78	1	\$34,78
Medición de presión					
Sensor de presión	Pro Electronics	BMP 180	\$2,61	1	\$2,61
Medición de velocidad					
Anemómetro	Pro Electronics	Veleta	\$34,78	1	\$34,78
Controlador					
Arduino	Electrónica Quito	Arduino UNO	\$14,35	1	\$14,35
Visualización de datos					
Pantalla LCD	Electrónica Quito	Display LCD 16 x 2	\$5,22	1	\$5,22
Sección de propulsión					

Ventilador axial	Gonzaga y Rodríguez	Siemens 2CC2 636-5YB6 Trifásico Potencia: 0,51 (kW)	\$839,83	1	\$839,83
Empaques					
Empaque neopreno caucho negro	Ferretería Ludepa	Grosor 3,2 (mm) Ancho 1,2 (m) Largo 1(m)	\$52,56	2	\$105,12
Juego de pernos					
Perno completo Acero inoxidable	Ferretería Ludepa	Perno M12 x 40 (mm) Tuerca $\frac{1}{2}$ (in) Arandela plana y presión $\frac{1}{2}$ (in)	\$1,63	70	\$114,1
IVA 15%					\$231,91
Costo total					\$1 777,98

3.3 Diseño de medición de variables físicas

La Figura 3.2 indica la simulación del sistema de medición de variables físicas, diseñado para la lectura y presentación confiable de valores de velocidad, presión y temperatura dentro del túnel de viento.

El diseño integra diferentes componentes cada uno con un propósito en específico donde:

Arduino Uno: Encargado de recibir y procesar los datos obtenidos en los sensores y direccionarlos a las salidas para la presentación.

Anemómetro: Conectado en la entrada digital y encargado de medir la velocidad del viento.

BMP 180: Conectado en las entradas analógicas y encargado de medir variables de presión y temperatura.

LCD 16x4: Presenta valores medidos por los sensores en tiempo real.

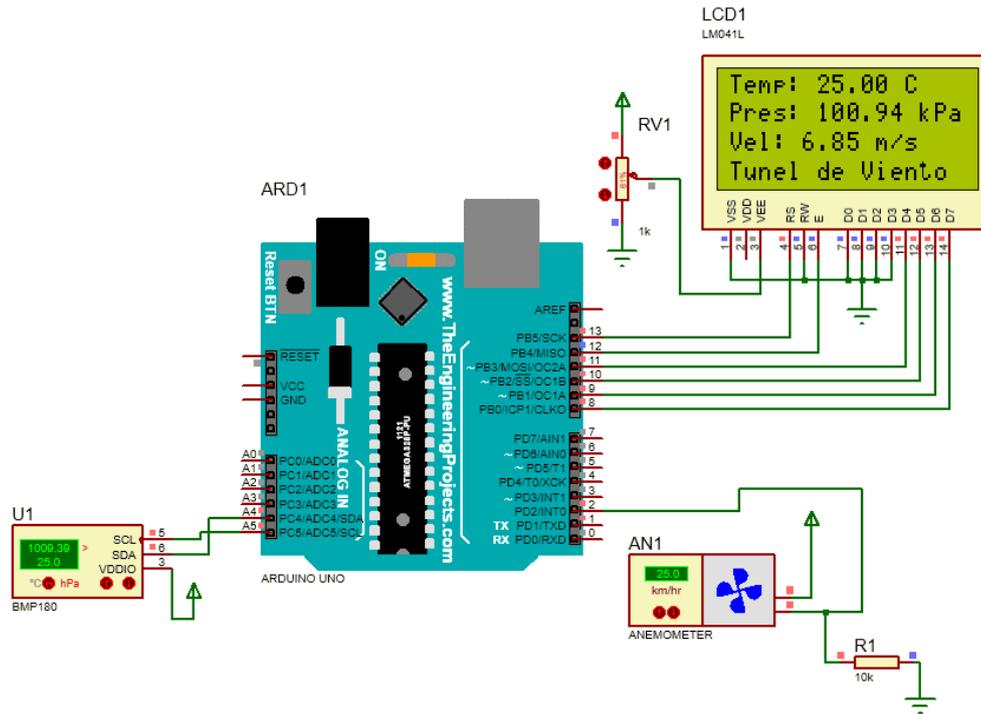


Figura 3.2 Simulación de los sensores en el software Proteus

En la Figura 3.2 se evidencia de manera detallada los puertos de entrada y salidas para los diferentes elementos que conforman el circuito. Finalmente, en el ANEXO IX se adjunta la programación de código en Arduino utilizado para la simulación.

4 CONCLUSIONES

- Se realizó un análisis de la teoría que se aplica para el estudio de la aerodinámica a través de fuentes confiables, donde se comprendió los principios esenciales que intervienen en el comportamiento de los fluidos y su interacción con estructuras sólidas. Dicho estudio también fue esencial para el diseño y dimensionamiento gracias al libro “Low-Speed Wind Tunnel Testing” de Barlow, Rae y Pope al proporcionar una guía detallada de conocimientos teóricos y prácticos.
- El modelo alar del Embraer 195-E2 pertenece a la familia del perfil NACA 64A010, el cual fue seleccionado por ser característico en aviones comerciales, con base a lo mencionado se realizó el dimensionamiento a través de las metodologías propuestas en las diferentes bibliografías, donde se proporciona información técnica y estructural para el diseño, detallando los modelos matemáticos usados y geometrías necesarias en su estructura que permitirá un flujo uniforme y controlable dentro del túnel de viento. Como resultado se obtuvo las medidas necesarias para cada pieza y potencias necesarias para los equipos.
- Se realizó un análisis de distintas opciones sobre materiales para cada componente, donde se seleccionó acero galvanizado de 0,70 (mm) de espesor para el difusor, cono de contracción y acondicionador de flujo, para la cámara de pruebas se determinó acrílico transparente de 2 (mm) de espesor y para la estructura de soporte se escogió tubos cuadrados de acero negro de 50 x 50 x 2 (mm), donde se realizó comparaciones con otros fabricantes o distribuidores asegurando bajos costos y durabilidad a largo plazo.
- Con base en las medidas obtenidas a través del dimensionamiento de los elementos del túnel viento y el uso del software Inventor, se desarrolló planos técnicos que incluyen dimensiones precisas, tolerancias, características de fabricación, además se cuenta con un plano de ensamble que permite visualizar el acoplamiento preciso para cada componente.
- Con el objetivo de mejorar el estudio de los perfiles aerodinámicos NACA 63A418 y NACA 64A010, se diseñó un sistema de control que permite conocer valores de variables físicas que afectan a los cuerpos sólidos cuando se encuentran sometidos a algún fluido. La simulación se encuentra realizada en el software Proteus permitiendo observar valores como presión, velocidad y temperatura en tiempo real dentro del túnel de viento. Además, se realizó una

selección de una cámara de humo para la visualización del comportamiento del aire alrededor del cuerpo a estudiar.

- Finalmente, se solicitaron cotizaciones de los materiales y equipos necesarios a diferentes empresas y distribuidores, tomando en cuenta la cantidad necesaria para cada elemento, consiguiendo así un presupuesto total de \$1 777,98 dólares necesarios para una futura implementación de proyecto.

5 RECOMENDACIONES

- Para una futura implementación es aconsejable realizar una revisión de la bibliografía para comprender el funcionamiento y objetivo de cada elemento que compone el túnel de viento.
- Se aconseja utilizar programas de simulación como Autodesk CFD o Ansys siendo opciones ideales para el análisis del comportamiento de fluidos en el diseño del túnel de viento, identificando así posibles mejoras en el diseño e incrementar su eficiencia al momento de su construcción.
- En el caso de haber elementos difíciles de conseguir, como el caso del panel de abeja, se sugiere la opción de mandarlo a construir con las medidas exactas u otra opción puede ser omitir el elemento y a su vez duplicar las secciones de malla que se colocaran en el acondicionador de flujo.
- El sistema de control en Arduino al ser una simulación trabaja de manera ideal, es importante adquirir las hojas de datos de los diferentes elementos de instrumentación para poder realizar una calibración correcta del sistema así trabaje eficientemente en un ambiente real.
- Las cotizaciones realizadas son válidas hasta cierto número de días, esto debido a posibles variaciones en los costos, de manera que sería importante realizar una comparación de precios al momento de adquirir el material para la futura construcción del proyecto.

6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] C. Yunus A. y C. John M., *Mecánica de fluidos*, México : McGraw Hill, 2018.
- [2] C. Gherardelli, «Mecanica de Fluidos: Capa límite Cap10,» 31 Julio 2007. [En línea]. Available: https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2007/2/ME33A/1/material_docente/. [Último acceso: 09 Junio 2024].
- [3] C. A. Noguera Campo, «Universidad Autónoma de Occidente,» 16 Octubre 2020. [En línea]. Available: <http://red.uao.edu.co//handle/10614/12647>. [Último acceso: 04 Mayo 2024].
- [4] A. Muñoz Mejías, «Universidad Carlos III de Madrid,» 26 Octubre 2012. [En línea]. Available: <https://hdl.handle.net/10016/15901>. [Último acceso: 04 Mayo 2024].
- [5] O. L. Moles, «Universitat Politècnica de Catalunya,» 05 Julio 2021. [En línea]. Available: <http://hdl.handle.net/2117/357232>. [Último acceso: 06 Mayo 2024].
- [6] S. P. Paz, «El perfil alar y su nomenclatura NACA,» *Ciencia y Poder Aéreo*, vol. 8, nº 1, pp. 26-32, 2013.
- [7] L. A. L. Aguilar, «Universidad Tecnológica del Perú,» junio 2019. [En línea]. Available: <https://hdl.handle.net/20.500.12867/2377>. [Último acceso: 07 mayo 2024].
- [8] A. I. Carmona, *Aerodinámica y actuaciones del Avión*, España: Paraninfo, 2000.
- [9] J. Barlow, W. Rae y A. Pope, *Low Speed Wind Tunnel Testing*, New York: John Wiley & Son, 1999.
- [10] D. P. Pineda Maigua y W. H. Vega Santillan, «Escuela Politécnica del Ejército,» Septiembre 2010. [En línea]. Available: <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/2948>. [Último acceso: 12 Mayo 2024].
- [11] J. Anderson, *Fundamentals of Aerodynamics*, New York: McGraw-Hill, 2017.
- [12] R. Mehta y P. Bradshaw, «Design rules for small low speed wind tunnels,» *The Aeronautical Journal*, vol. 83, pp. 443-453, 1979.

- [13] J. H. d. Barrera, *El proyecto de investigación*, Caracas: Quirón, 2012.
- [14] F. E. C. Molina, «Universidad Centroamericana "Jose Simeon Cañas",» Mayo 2012. [En línea]. Available: <https://es.scribd.com/document/186458545/Tunel>. [Último acceso: 16 Mayo 2024].
- [15] A. G. Muñoz, «Instituto Tecnológico de Pachuca,» 07 Noviembre 2014. [En línea]. Available: https://itp.itpachuca.edu.mx/pdf/repositorio_tesis/11200971.pdf. [Último acceso: 20 Mayo 2024].
- [16] J. Garzón Ortiz, D. A. Hidalgo Carvajal y C. A. Páez Torres, «Universidad de San Buenaventura,» 05 Diciembre 2008. [En línea]. Available: <http://hdl.handle.net/10819/1712>. [Último acceso: 20 Mayo 2024].
- [17] A. C. Arias Riveros y C. A. Peña Pardo, «Fundación Universidad de América,» 14 Agosto 2017. [En línea]. Available: <http://hdl.handle.net/20.500.11839/6500>. [Último acceso: 22 Mayo 2024].
- [18] P. L., «Attaining a steady air stream in wind tunnels,» *NACA*, vol. 4, nº 726, p. 40, 1933.
- [19] E. Réne Tolentino, V. Miguel Toledo, Guilibaldo Tolentino y s. Florencio Sánchez, «Modificaciones al túnel de viento del LABINTHAP para mediciones de velocidad de aire desde 5 m/s hasta 30 m/s,» *Simposio de Metrología*, p. Octubre, 2004.
- [20] R. Mott, *Mecánica de fluidos aplicada*, México: Prentice Hall Hispanoamericana, 1996.
- [21] B. A. Bustillos Hidalgo y J. G. Zambrano Cruz, «Universidad Técnica Estatal de Quevedo,» 2018. [En línea]. Available: <https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/3778>. [Último acceso: 31 mayo 2024].
- [22] Y. Fernández, «Xataka,» 23 Septiembre 2022. [En línea]. Available: <https://www.xataka.com/basics/que-arduino-como-funciona-que-puedes-hacer-uno>. [Último acceso: 04 Junio 2024].
- [23] ProElectronincs, «Tienda de Robótica,» [En línea]. [Último acceso: 04 Junio 2024].
- [24] Wikipedia, «Wikipedia,» [En línea]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Embraer_E-Jets_E2. [Último acceso: 30 Mayo 2024].

- [25] D. E. M. Coza, «Universidad de Sevilla,» 17 Noviembre 2016. [En línea]. Available: <http://hdl.handle.net/11441/48843>. [Último acceso: 07 Junio 2024].
- [26] Naylamp Mechatronics, «Naylamp Mechatronics,» [En línea]. Available: https://naylampmechatronics.com/blog/43_tutorial-sensor-de-presion-barometrica-bmp180.html. [Último acceso: 04 Junio 2024].

7 ANEXOS

ANEXO I. Reporte de Similitud Generado por Turnitin

ANEXO II. Certificado de Funcionamiento de Trabajo de Integración Curricular

ANEXO III. Características y cotización de las planchas de acero galvanizado y tubos cuadrados

ANEXO IV. Características y cotización del acrílico transparente

ANEXO V. Características y cotización de la instrumentación

ANEXO VI. Características y cotización de la cámara de humo

ANEXO VII. Características y cotización de la malla

ANEXO VIII. Características y cotización empaques y pernos

ANEXO IX. Características y cotización del ventilador

ANEXO X. Código en Arduino para la medición de variables físicas

ANEXO XI. Planos de taller y ensamble

ANEXO I. REPORTE DE SIMILITUD GENERADO POR TURNITIN

DMQ, 25 de julio de 2024

Yo, Jonathan Gabriel Loor Bautista, como Director del presente Trabajo de Integración Curricular, certifico que el siguiente es el resultado de la evaluación de similitud realizado por la plataforma Turnitin:

Fecha de entrega: 25-jul-2024 09:56p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2422553967

Nombre del archivo: TIC_Guachamín_Héctor_Turnitin.pdf (2.03M)

Total de palabras: 11341

Total de caracteres: 53633

TIC Guachamín Héctor_Turnitin.pdf

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	repository.uamerica.edu.co Fuente de Internet	3%
2	repositorio.espe.edu.ec Fuente de Internet	1%
3	bibdigital.epn.edu.ec Fuente de Internet	1%
4	repositorio.uo.edu.cu Fuente de Internet	<1%

Excluir citas Activo Excluir coincidencias < 10 words
Excluir bibliografía Activo

DIRECTOR

Ing. Jonathan Gabriel Loor Bautista

ANEXO II. CERTIFICADO DE FUNCIONAMIENTO DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

DMQ, 25 de julio de 2024

Yo, Jonathan Gabriel Loor Bautista, docente a tiempo completo de la Escuela Politécnica Nacional y como director de este trabajo de integración curricular, certifico que he constatado el correcto diseño de un túnel de viento a escala para estudiar la aerodinámica en perfiles NACA 63A418 y 64A010, el cual fue desarrollado por el estudiante Héctor Steve Guachamín Tapuy.

El proyecto cumple con los requerimientos de diseño y parámetros necesarios para que los usuarios de la ESFOT puedan usar las instalaciones con seguridad para los equipos y las personas.

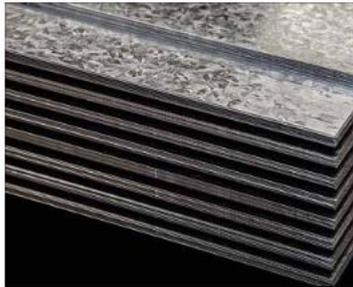
DIRECTOR

Ing. Jonathan Gabriel Loor Bautista

Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía | Edificio N. 21 | Área 3 | Oficina 20

Correo: jonathan.loor@epn.edu.ec | **Ext:** 2746

ANEXO III. CARACTERÍSTICAS Y COTIZACIÓN DE LAS PLANCHAS DE ACERO GALVANIZADO Y TUBOS CUADRADOS



PLANCHAS GALVANIZADAS

El recubrimiento de zinc, el cual puede ser G40, G60, o G90, que la plancha galvanizada posee le aporta mayor dureza y resistencia que cualquier otro tipo de recubrimiento, soporta la acción corrosiva del medio ambiente, no necesita mantenimiento. Se la utiliza para la realización de ductos para aire acondicionado, muebles, mobiliario urbano, equipamientos para carreteras, etc. Lo puedes encontrar en espesor de 0.45 mm hasta 4 mm y se despacha en dimensión estándar de 4 por 8 pies, o lo que es lo mismo 1220mm por 2440mm.

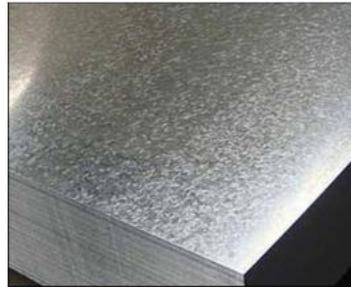
Los acabados pueden ser: Flor regular, la cual es la mas comercial, flor grande, flor minima o cero flor.

DESCRIPCIÓN

Planchas Galvanizadas

Especificaciones Generales:

Acero Base:	Calidad comercial o según tabla de laminado al frío
Norma:	NTE INEN 115
Espesores:	0,40mm a 4mm
Rollos:	X 1219mm y por flejes
Planchas:	1220x2440mm, 4 x 8 pies y medidas especiales
Flor:	Grande, Regular, Mínima, Zero



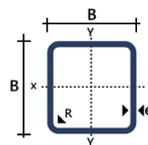
Tubo cuadrado mecánico

Son perfiles de acero al carbono, laminado en frío. Este producto es fácil de soldar, y tiene una facilidad de corte, moldado y mecanizado moderados, ya que se trata de un material muy denso. Usos: para muebles metálicos en general, cerrajería (rejas, puertas, etc.), divisiones Modulares, Pasamanos, Cerramientos, parantes de repisas, etc.

Categoría Tubo Mecánico y Estructural

NOMENCLATURA

Largo Normal:	6 metros
Recubrimiento:	Negro o Galvanizado
Norma de Calidad:	ASTM A366
Norma de Fabricación:	INEN 2415
Espesores:	Desde 0,60 a 1,50 mm
Observaciones:	Otras dimensiones y largos, previa consulta



Área= Área de la selección transversal del tubo, cm²

I= Momento de inercia de la sección, cm⁴

W= Módulo resistente de la sección, cm³

i= Radio de giro de la sección cm

**IMPORT ACEROS INDUSTRIA METALMECANICA
PROCESADORA DE ACERO SCC**
COTIZACIÓN DE VENTA No.: 126281

RUC: 1792628431001

Dir. Matriz : N77 Antonio Castillo OE1 346 y Av OE1 C Juan de Selis

AGENTE DE RETENCION RESOLUCION Nro.1

Contribuyente Especial Nro. : 283E

OBLIGADO A LLEVAR CONTABILIDAD: SI


PBX: 022 486 287
Celulares: 099 789 8777 095 893 3013 098 816 6400
Sitio Web: www.importaceros.com
Correo Ventas: info@importaceros.com.ec
Correo Facturas: facturacion@importaceros.com.ec

Razón Social: GUACHAMIN TAPUY HECTOR STEVE

RUC : 1725042038

Dirección Cliente: QUITO

Email : steveguachamin83@gmail.com

Fecha Emisión : 11/06/2024

Fecha de Vencimiento: 19/06/2024

Teléfono: 0994290349

Vendedor: YANEZ J

Condición de Pago: Crédito CL - Contado

N° de Oportunidad:

Comentarios:

Cantidad	Código Principal	Descripción	Peso Unit(kg)	Peso Total (kg)	Precio Kilo	Precio de Venta	% Dscto	Precio Neto	Precio Total
1,00	1001005056	PLANCHA GALVANIZADA 0.70 mm (1/32) (1220*2440 MTRS) (4*8)	16,36	16,36	0,94	15,38	0,00	15,38	15,38
1,00	1001005059	PLANCHA GALVANIZADA 0.90 mm (1/25) (1220*2440 MTRS) (4*8)	21,03	21,03	0,94	19,77	0,00	19,77	19,77
4,00	1002012025	TUBO CUADRADO L/C 50MM * ESP. 2.00MM (EXT 2") * 6M	17,95	71,80	1,21	21,75	0,00	21,75	87,00

Forma de Pago	Valor
Otros con utilización del sistema financiero	140,47

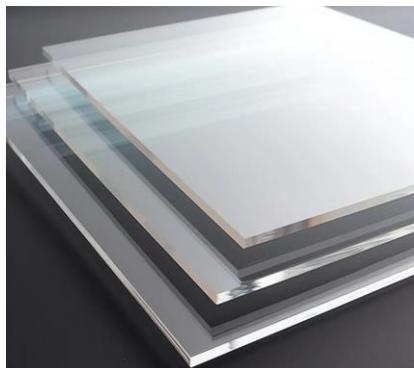
Peso Total kg: 109,19 SubTotal 15% 122,15

Peso Total QQ: 2,40 IVA 15% 18,32

SON: CIENTO CUARENTA CON 47 / 100

Valor Total 140,47

ANEXO IV. CARACTERÍSTICAS Y COTIZACIÓN DEL ACRILICO TRANSPARENTE



¿Qué es el Acrílico Transparente?

El acrílico transparente es un polímero termoplástico, transparente o pigmentado, que se obtiene de la polimerización del monómero de metacrilato y se funde para ofrecerlo en láminas de medidas estándar.

Es uno de los materiales plásticos de mayor consumo ya que es utilizado en diversos campos como: arquitectura, óptica, construcción, [publicidad](#), decoración, exhibición, impresión, aplicaciones de ingeniería, artes gráficas y artes plásticas.

Puede ser una excelente opción para materializar ideas creativas por su alta transparencia, ligereza, inalterabilidad a la intemperie y al paso del tiempo.



Nombre comercial: ACRILMAX S.A.
 Razón Social: ACRILMAX S.A.
 RUC/CI: 0993252468001
 Dirección: GUAYAS / GUAYAQUIL / TARQUI
 Correo: facturacion@acrilmaxec.com
 Teléfono: 0987881058

COTIZACION:

No. 202406000391

Cliente:
 Steve Guachamín
 CI/RUC:
 1725042038
 Dirección:
 Quito- El condado
 Teléfono:
 0994290349
 Fecha Emisión:
 10/06/2024

#	Item	Cantidad	Precio	Subtotal
1	LAMINA DE ACRILICO TRANSPARENTE PREMIUM 2MM / 122x244 CM - PROD002	1.00 Unid.	\$36.00000	\$36.00

Información Adicional

Descripción: PAGO CONTADO TRANSFERENCIA
 Vendedor: ALEXANDRA JAMILEX PALMA
 Garantía: transferencia
 Forma de Pago: pago contado
 Usuario: Alexandra Palma

Descuento:	\$0.00
Subtotal 15%:	\$36.00
Subtotal 5%:	\$0.00
Subtotal 0%:	\$0.00
IVA 15%:	\$5.40
IVA 5%:	\$0.00
Total:	\$41.40
Saldo:	\$41.40

ANEXO V. CARACTERÍSTICAS Y COTIZACIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN

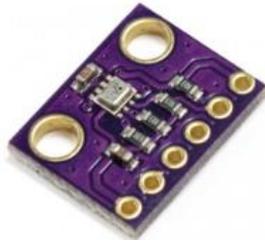
ANEMOMETRO



Características

Diámetro de la copa: 60 mm
Voltaje de salida: de 0 VDC a 1.2 VDC
Tolerancia: 10%
Longitud del cable: 3 metros

SENSOR DE PRESIÓN



Características

Voltaje de Operación: 3.3V – 5V DC
Interfaz de comunicación: I2C (3.3V)
Rango de Presión: 300 a 1100 hPa (0.3-1.1bar)
Resolución: 1 Pa
Precisión absoluta: 1 hPa
Medición de temperatura incluida
Resolución de temperatura: 0.1°C
Precisión Temperatura: 1°C
Frecuencia de Muestreo: 120 Hz (máx.)
Rango de altura medible: 0-9100 metros
Ultra-bajo consumo de energía
Completamente calibrado

ARDUINO UNO



Características

Microcontrolador: ATmega328
Voltaje de operación: 5V
Voltaje de entrada (recomendado): 7-12V
Voltaje de entrada (límites): 6-20V
Pines de E/S digitales: 14 (de los cuales 6 proporcionan salida PWM)
Pines de entrada analógica: 6
Corriente DC por pin de E/S: 40 mA
Corriente DC para 3.3V Pin: 50 mA
Memoria Flash: 32 KB de los cuales 0,5 KB utilizados por el bootloader
SRAM: 2 KB (ATmega328)
EEPROM: 1 KB (ATmega328)
Velocidad de reloj: 16 MHz

PANTALLA LCD 16X2



Características

Tipo: Pantalla LCD Monocromática
Voltaje de alimentación: 5V DC
Interfaz de comunicación: Paralelo 4 u 8 bits
Filas: 2
Columnas: 16
Controlador: HD44780
Color: Fondo azul y texto blanco
Modo de operación: 4 y 8 bits
Corriente máximo: 25mA
Peso: 32 g



PRO ELECTRONICS
 Víctor Hugo Masapanta Guayta
 Dirección matriz: Versalles N25-30 y Avenida Colón
 Teléfono: 0998819116
 OBLIGADO A LLEVAR CONTABILIDAD: NO

RUC: 1720926300001
FACTURA
 No. 001-010-000002987
 NÚMERO DE AUTORIZACIÓN
 1006202401172092630000120010100000029876972720818
 FECHA Y HORA DE AUTORIZACIÓN: 10/06/2024 12:37 PM
 AMBIENTE: PRODUCCIÓN
 EMISIÓN: NORMAL
 CLAVE DE ACCESO



1006202401172092630000120010100000029876972720818

Razón social / Nombres y apellidos: Héctor Steve Guachamín Tapuy
 Identificación: 1725042038
 Fecha emisión: 10/06/2024
 Dirección: Quito-El Condado
 Teléfono: 0994290349

Cod. Principal	Cod. Auxiliar	Cantidad	Descripción	Precio unitario	Descuento	Precio total
SENSOR19	SENSORDE	1,00	Sensor de viento Anenómetro	34,782609	0,00	34,78
SENSORBM	SENSORBM	1,00	Sensor BMP180	2,608696	0,00	2,61
SUBTOTAL IVA 15%						37,39
SUBTOTAL IVA 0%						0,00
SUBTOTAL No objeto de impuesto						0,00
SUBTOTAL Exento de IVA						0,00
SUBTOTAL SIN IMPUESTOS						37,39
TOTAL DE DESCUENTO						0,00
IVA 15%						5,61
ICE						0,00
IRBPNR						0,00
PROPINA						0,00
VALOR TOTAL						43,00

Forma de pago	Valor
01 - Sin utilización del sistema financiero	43,00

Información adicional
 Correo de cliente: steveguachamin83@gmail.com
 Enviar los comprobantes de retenciones electrónicas al correo: hugo.masapanta@hotmail.com

Quito, 15 de JUNIO de 2024

PROFORMA N°00009-008-2023

CANTIDAD	ITEM	PRECIO UNIDAD	TOTAL
1	ARDUINO UNO ORIGINAL	19,13	19,13
1	ARDUINO UNO COPIA	14,35	14,35
1	DISPLAY LCD	5,22	5,22
		SUBTOTAL	38,70
		IVA	5,80
		TOTAL	44,50

VALIDES DE LA OFERTA. 30 DIAS
CONSULTAR DISPONIBILIDAD EN CASO DE APROBAR LA PROFORMA.

DIR. COLON OE3-184 Y AMERICA
TLF.02 2228735

ANEXO VI. CARACTERÍSTICAS Y COTIZACIÓN DE LA CAMARA DE HUMO



MAQUINA DE HUMO 400 W

CARACTERÍSTICAS:

voltaje: AC 110 V-240 V/50-60 HZ

potencia: 400 W

Capacidad del depósito: 0.3 L

tiempo de calentamiento: 5-8 min

modo de control: control Inalámbrico

distancia del aerosol: 2-4 m

Material: Aluminio

tamaño del embalaje: 290*150*190 MM



HERRERA SALAZAR LAURA CRISTINA

IMPHERSAL

Dirección Matriz: Calle: AV. MALDONADO Numero: S9-438 Interseccion: FRANCISCO GOMEZ

Dirección Sucursal: Calle: AV. MALDONADO Numero: S9-438 Interseccion: FRANCISCO GOMEZ

OBLIGADO A LLEVAR CONTABILIDAD NO

R.U.C.: 1711111367001

FACTURA

No. 004-100-00000014

NÚMERO DE AUTORIZACIÓN

110620240117111113670012004100000000143716863719

FECHA Y HORA DE AUTORIZACIÓN: 11/06/2024 12:53:09

AMBIENTE: PRODUCCIÓN

EMISIÓN: NORMAL

CLAVE DE ACCESO



110620240117111113670012004100000000143716863719

Razón Social / Nombres y Apellidos:		GUACHAMIN TAPUY HECTOR STEVE	
Identificación	1725042038	Placa / Matricula:	Guía
Fecha	11/06/2024		
Dirección:	El condado		

Cod. Principal	Cod. Auxiliar	Cantidad	Descripción	Detalle Adicional	Precio Unitario	Subsidio	Precio sin Subsidio	Descuento	Precio Total
21		1.00	MÁQUINA DE HUMO		34.78	0.00	0.00	0.00	34.78
Información Adicional					SUBTOTAL 15%				
Telefono: 0994290349					SUBTOTAL 0%				
Email: steveguachamin83@gmail.com					SUBTOTAL NO OBJETO DE IVA				
					SUBTOTAL EXENTO DE IVA				
					SUBTOTAL SIN IMPUESTOS				
Forma de pago					TOTAL DESCUENTO				
17 - DINERO ELECTRONICO					ICE				
					IVA 15%				
					TOTAL DEVOLUCION IVA				
					IRBPNR				
					PROPINA				
					VALOR TOTAL				
					VALOR TOTAL SIN SUBSIDIO				
					AHORRO POR SUBSIDIO: (Incluye IVA cuando corresponda)				

ANEXO VII. CARACTERÍSTICAS Y COTIZACIÓN DE LA MALLA

Tipos y especificaciones de Mallas Lisas

MESH	Hilo	Abertura	%	1 m	1.22 m	1.5 m
1	2 mm	25 mm		x		
1 Esp.	2.5 mm	25 mm		x	x	
2	1.6 mm	12.2 mm	72	x	x	
2 Esp.	2 mm	10.70 mm	65	x	x	
3	1.4 mm	7.22 mm	73	x	x	
3 Esp.	1.6 mm	6.87 mm	67	x	x	
4	1.1 mm	5.25 mm	68	x	x	



REPRESENTACIONES DE METALES PERFORADOS SA REPERMETAL SA

Página 1 de 1

RUC 1790977625001

MATRIZ: AV. AMERICA N34-483 Y HERNANDEZ DE GIRON

22439786

ventas@repermetal.com.ec

PROFORMA N° 000004371

Proformado a:

HECTOR STEVE GUACVHAMIN TAPUY

Cod Cliente CL-0012954

RUC: 1725042038

Dirección: EL CONDADO

Ciudad: QUITO

Teléfono:

Fecha Emision 13/06/2024

Vendedor: ROCIO ARAUJO

Cod. Vend : 004

Fecha Vence 13/06/2024

Observación: FORMA DE PAGO: CONTADO

PLAZO DE ENTREGA: INMEDIATO

VALIDEZ PROFORMA: 48 HORAS

Código ITEM	Descripción del ITEM	Unidad	Cantidad	Dcto.%	V.Unitario	V.Total
MESH4	MALLA INOX. MESH 4X1.1MM X 1MT	UNIDAD	4.00	0.00	45.0000	180.00
MALLAS 04	MALLA INOX. 1.5MM X 1.5MM (12.5X12.5) X1000MM	UNIDAD	4.00	0.00	130.0000	520.00
Tot Cant :			8.00			

ANEXO VIII. CARACTERÍSTICAS Y COTIZACIÓN DE EMPAQUES Y PERNOS

EMPAQUES



Características:

- Presentación en rollos de 10 mtrs x 1,22mtrs de ancho
- Acabado liso tipo espejo por ambas caras
- Grado de dureza 65° Shore «A»
- Resistencia a la tensión 500PSI
- Rangos de temperaturas -30°C a 120°C (-22°F a 248°F)
- Presenta buena resistencia a la temperatura y el ozono
- Autoextinguible. No propaga la llama
- Buena Adhesión al metal
- Cierta absorción de H₂O
- Elongación 280%

PERNOS



Acabado	Plano	
	Longitud	40mm
	Material	Acero Inoxidable
	Tamaño de la Rosca	M12
	Tipo de Acero Inoxidable	A2, 304

 <p>Ludepa SU MUNDO FERRETERO MARINO E INDUSTRIAL Llámenos gratis: 1800-LUDEPA</p>	<p>FERRETERIA LUDEPA Delgado Panchana María de Lourdes R.U.C: 1303980963001</p>		<p>PROFORMA</p> <p>Nº: 1015384</p> <p>Fecha: 26/06/2024</p> <p>Validez: 8 días laborables</p>
	<p>Matriz: Av. La Cultura y Circunvalación , Telf: 05-2677383 05-2677484 Taruqui: Calle 105 y Av. 106 - Manta Telf: 05-2454683 Samborondón: Km 14.5 Vía Samborondón, Bod.14 Almax. Telf: 0994085800 Email: gerencia@ludepa.ec www.ludepa.ec</p> <p>Obligado a llevar contabilidad</p>		

Nombre: CONSUMIDOR FINAL	Cond.Pago: CL CONTADO
RUC: 9999999999999	Contacto: Vendedor: ANA FIGUEROA
Teléfono: 0000000000000	Email: grupoludepa@gmail.com
Dirección: CALLE 11 ENTRE AVE 9 Y 10	

#	Código	Descripción	Imagen Ref.	Cantidad	P. Unit	% Dcto	P. final	Total
1	18402 UNIDAD	PERNO ACERO M12 X 40MM PASO 1.5 RG		1,00	1.2500	0,00	1.2500	1.2500
2	21741 METRO	EMPAQUE NEOPRENO CAUCHO NEGRO SIN LONA 1/8 (PULG) 3.2MM CR/SBR (ROLLO 1.2 X 10		2,00	52.5600	0,00	52.5600	105.1200
3	05056 UNIDAD	TUERCA ACERO M12		1,00	0.2225	0,00	0.2225	0.2200
4	03495 UNIDAD	ANILLO PLANO HIERRO 1/2 (PULG)		1,00	0.1176	0,00	0.1176	0.1200
5	03269 UNIDAD	ANILLO PRESION HIERRO 1/2 (PULG)		1,00	0.0400	0,00	0.0400	0.0400

* Las imágenes de los artículos son de referencia. El artículo puede diferir de las imágenes

OK.CR Héctor Guachamin Tapuy
099 429 0349

Parcial:	106,75
Total dscto	0,00
Subtotal:	106,75
Iva:	16,01
Total:	122,76

VALIDEZ DE LA PROFORMA 8 DÍAS LABORABLES

Fecha emisión: Manta, 26 de junio de 2024

Puntos bono acumulados: 9

Firma autorizada

<p>Sucursales:</p> <p>MANTA - GUAYAQUIL - SAMBORONDÓN</p> <p>1800 - LUDEPA</p> <p>Cel: 0992163284</p>

Fecha impresión: 26/6/2024
MS v1.5 - Sap Business One

Hora de impresión: 11:33:46

ID interno: 83469

Usuario: Ana Figueroa

Página 1 de 1

ANEXO IX. CARACTERÍSTICAS Y COTIZACIÓN DEL VENTILADOR

DATOS TÉCNICOS						
Tipo	Diámetro	Caudal	Potencia	Intensidad	Nivel Ruido	Peso
	mm.	m3/s	kW	(A)	(dB) (A)	Kg.
Con motor monofásico, 110 V., 4 polos, 1800 RPM						
110V						
2CC2 254-5YC3	250	0.38	0.050	0.8	62	5.0
2CC2 314-5YC3	316	0.70	0.088	1.5	62	6.0
22CC2 354-5YC3	350	1.01	0.110	1.9	68	7.0
2CC2 404-5YC3	400	1.45	0.220	3.2	74	8.0
2CC2 504-5YA3	500	2.93	0.700	8.3	78	23.5
Con motor trifásico, 220/440 V., 4 polos, 1800 RPM						
220V 440V						
2CC2 404-5YP6	400	1.45	0.20	1.14	0.57	74
2CC2 504-5YB6	500	2.93	0.66	3.00	1.50	78
2CC2 634-5YB6	630	5.33	1.60	6.40	3.20	87
2CC1 714-5YB6*	710	8.37	3.58	14.00	7.00	91
Con motor trifásico, 220/440 V., 6 polos, 1200 RPM						
2CC2 506-5YB6	500	1.91	0.19	1.22	0.61	68
2CC2 636-5YB6	630	3.55	0.51	3.10	1.55	76
2CC2 716-5YB6	710	5.27	1.20	6.70	3.35	80

*Con aspa de aluminio.



Gonzaga y Rodriguez Cia. Ltda.

VENTA DE MAQUINARIA Y APARATOS ELECTRICOS

Servicios de Instalacion, Mantenimiento, Reparacion de Dispositivos y Equipos Electricos

MACHALA: Barrio Cristo del Consuelo, Marcel Laniado 1405 e/ Santa Rosa y Ayacucho

Tel: 0991584231 - 0999300105 Email: gr_cia.ltda2010@hotmail.com www.electricoindustrial.com.ec

Fecha Imp.: 11/06/2024 15:54:30 Pag. 1

PROFORMAS		Operador...					
Cliete...:	CONSUMIDOR FINAL	DAMARIS BALLADARE					
	MACHALA MACHALA	Numero	Fecha				
	99999999999999	019361	11/06/2024				
Page:		Vendedor:	OFICINA				
Codigo	Descripcion	Uni	Prec.Unit	Cantidad	Desc	Desc 2	Total
005456	VENTILADOR TRIFASICO 1200 RPM DIAM. 630MM 440V SIE	UNI	839.826	1.00			839.83
005961	VENTILADOR TRIFASICO 1200 RPM DIAM. 710MM 440V SIE	UNI	1,139.130	1.00			1,139.13
Suman	Descuentos Seguro	Subtotal	I.V.A.	Adicional			Total
1,978.96		1,978.96	296.84				2,275.80

Son: Dos Mil Doscientos Setenta y Cinco con 80 /100

ESTOS PRECIOS PUEDEN VARIAR SIN PREVIO AVISO

ANEXO X. CÓDIGO EN ARDUINO PARA LA MEDICIÓN DE VARIABLES

```
// Código de control para variables del tunel de viento
// librerias
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_Sensor.h>
#include <Adafruit_BMP085_U.h>
#include <LiquidCrystal.h>

// Definir entradas y salidas para el LCD
const int RS=13, EN=12, d4=11, d5=10, d6=9, d7=8;           //Declaración
de entradas para el LCD
LiquidCrystal lcd(RS,EN,d4,d5,d6,d7);

// Definición de variables
Adafruit_BMP085_Unified bmp = Adafruit_BMP085_Unified(10085);

const int anemometerPin = 2; // Pin 2 declarado como entrada para el
anemometro
volatile int count = 0;
unsigned long lastTime = 0;
unsigned long duration = 5000; // Medir durante 5 segundos

void setup() {
  pinMode(anemometerPin, INPUT);
  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(anemometerPin), countAnemometer,
RISING);

  // Iniciar Display
  Serial.begin(9600);
  lcd.begin(16, 4);

  // Iniciar el sensor BMP180
  if (!bmp.begin()) {
    Serial.print("No se encuentra el sensor BMP180.");
    while (1);
  }
}

void loop() {
  sensors_event_t event;
  bmp.getEvent(&event);

  if (millis() - lastTime >= duration) {
    detachInterrupt(digitalPinToInterrupt(anemometerPin));
    float windSpeed = calculateWindSpeed(count, duration);
```

```

// medición de temperatura
float temperature;
bmp.getTemperature(&temperature);

// Conversión de presión en hpa a kpa
float pressure_kPa = event.pressure / 10.0;

// Mostrar en LCD
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("Temp: ");
lcd.print(temperature);
lcd.print(" C");

lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("Pres: ");
lcd.print(pressure_kPa);
lcd.print(" kPa");

lcd.setCursor(0, 2);
lcd.print("Vel: ");
lcd.print(windSpeed);
lcd.print(" m/s");

lcd.setCursor(0, 3);
lcd.print("Tunel de Viento");

// Imprimir valores en monitor serial para comprobación
Serial.print("Temperatura: ");
Serial.print(temperature);
Serial.print(" C, ");
Serial.print("Presion: ");
Serial.print(pressure_kPa);
Serial.print(" kPa, ");
Serial.print("Velocidad del viento: ");
Serial.print(windSpeed);
Serial.println(" m/s");

count = 0;
lastTime = millis();
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(anemometerPin),
countAnemometer, RISING);
}

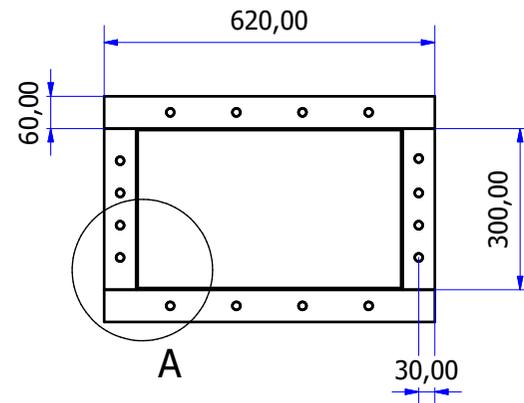
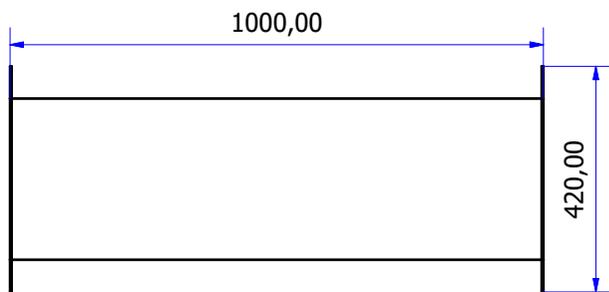
delay(1000); // Esperar 1 segundo entre lecturas
}

void countAnemometer() {

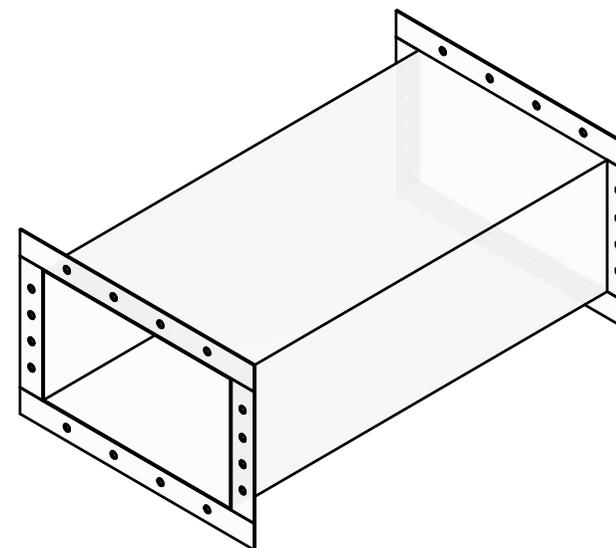
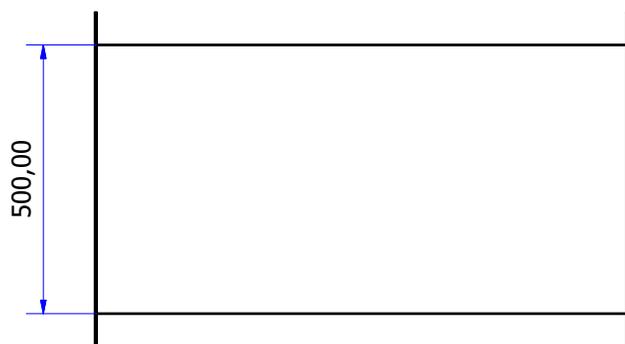
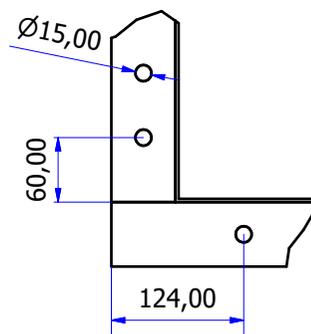
```

```
    count++;  
}  
  
float calculateWindSpeed(int count, unsigned long duration) {  
    float frequency = (float)count / (duration / 1000.0); // Hz (cuentas  
    por segundo)  
    float windSpeed = frequency * 0.612; // Velocidad del viento (este  
    factor depende del anemómetro específico)  
    return windSpeed;  
}
```

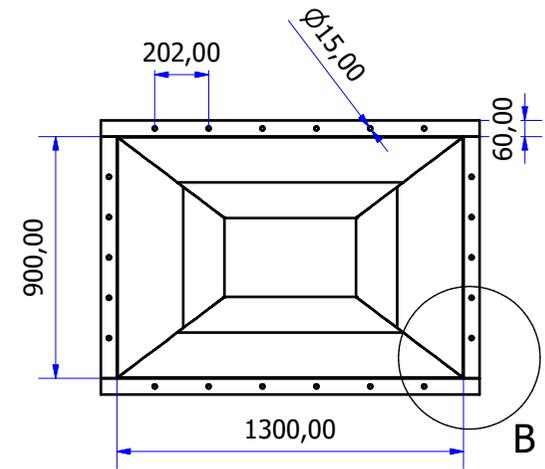
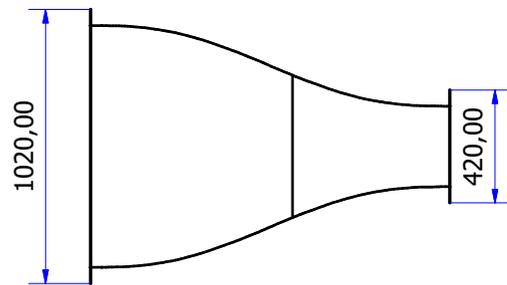
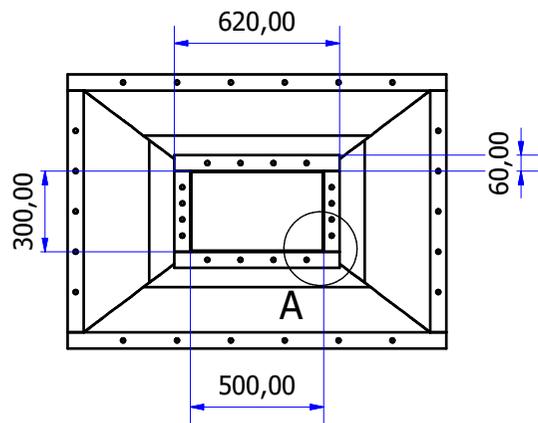
ANEXO XI. PLANOS DE TALLER Y ENSAMBLE



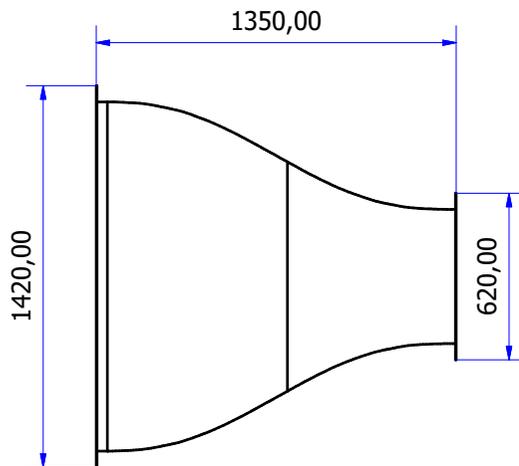
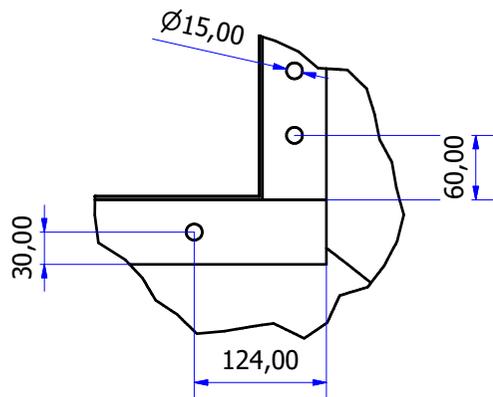
A (1 : 5)



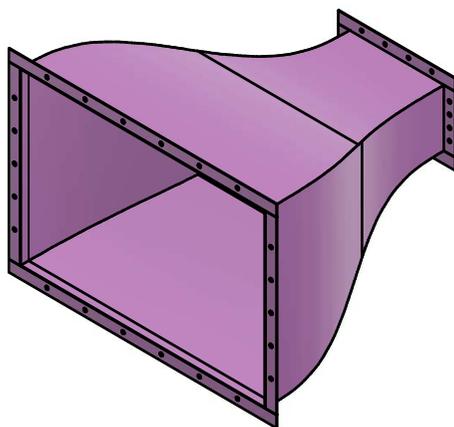
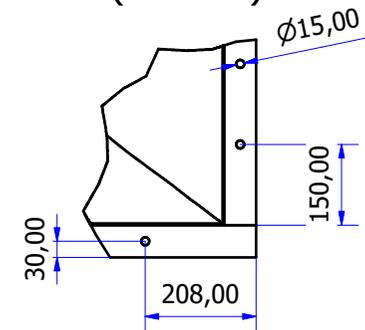
Trat Térmico	Ninguno	EPN	ESFOT – CARRERA DE ELECTROMECAÁNICA		
Recubrimiento	Ninguno		Dib.	Guacamín Héctor	
MATERIAL: Acrílico Transparente 2mm		Tol. Gral ±0,05	ESCALA 1:10	Dis.	Guacamín Héctor
				Rev.	Loor Jonathan
Cámara de pruebas			Plano N°1		Fecha: 04-07-24



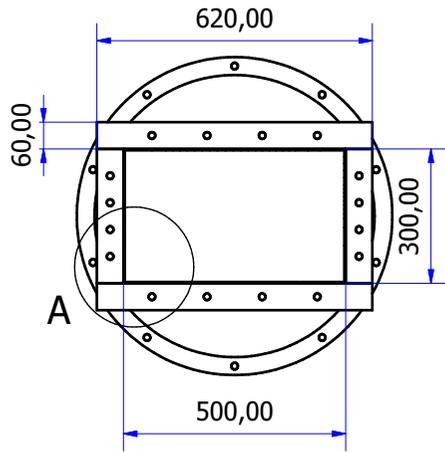
A (1 : 5)



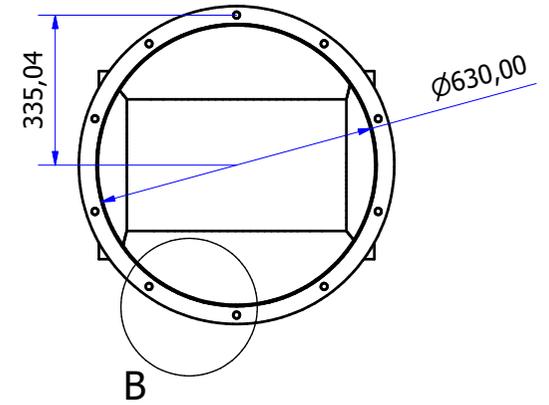
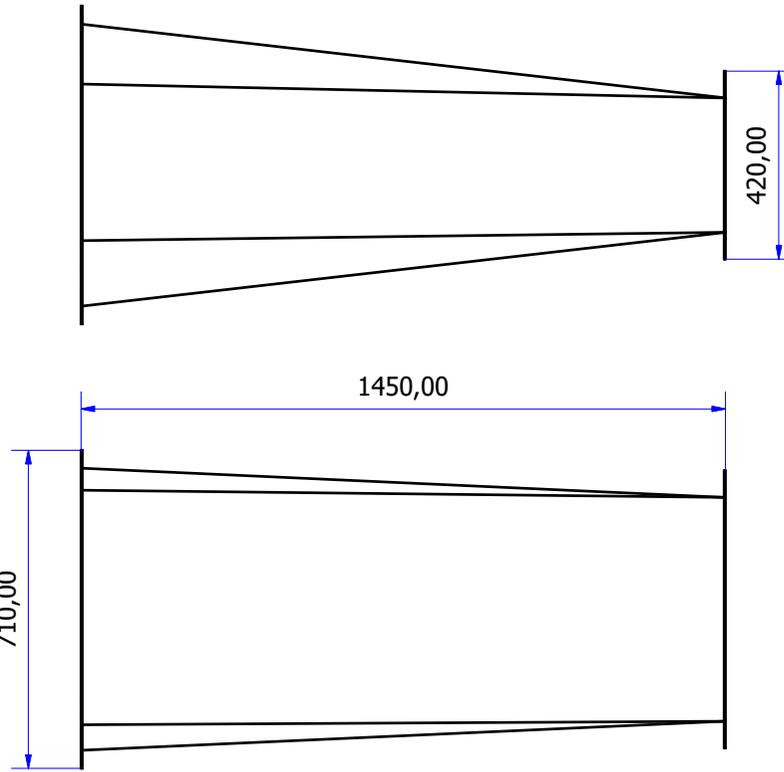
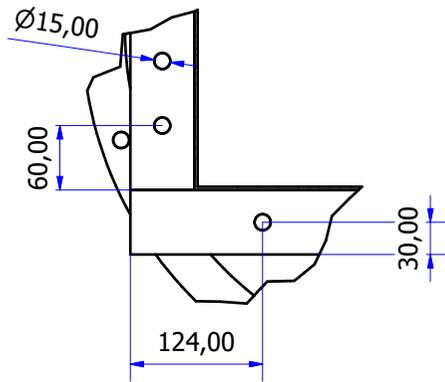
B (1 : 10)



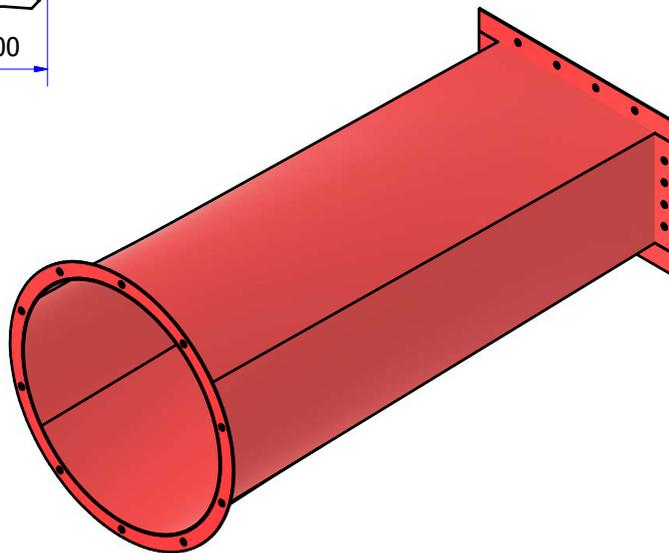
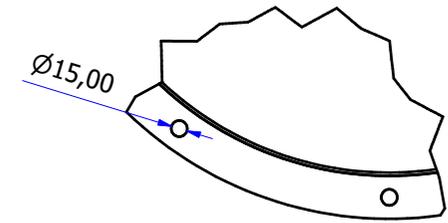
Trat Térmico	Ninguno	EPN	ESFOT – CARRERA DE ELECTROMECAÁNICA	
Recubrimiento	Ninguno		Dib.	Guacamín Héctor
MATERIAL: Acero Galvanizado 0,70mm		Tol. Gral ±0,05	ESCALA 1:20	Dis. Guacamín Héctor
				Rev. Loor Jonathan
Cono de contracción			Plano N°2	
			Fecha: 04-07-24	



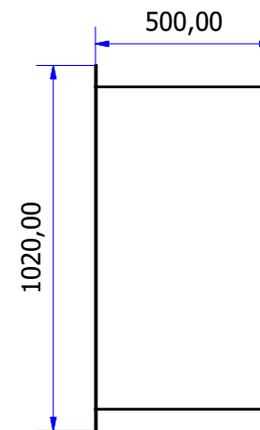
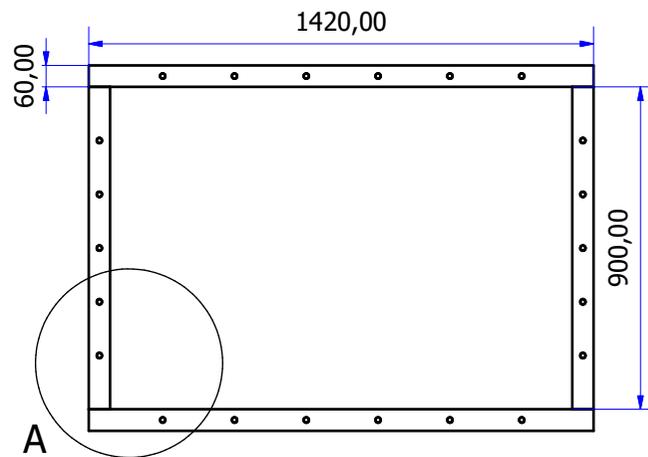
A (1 : 5)



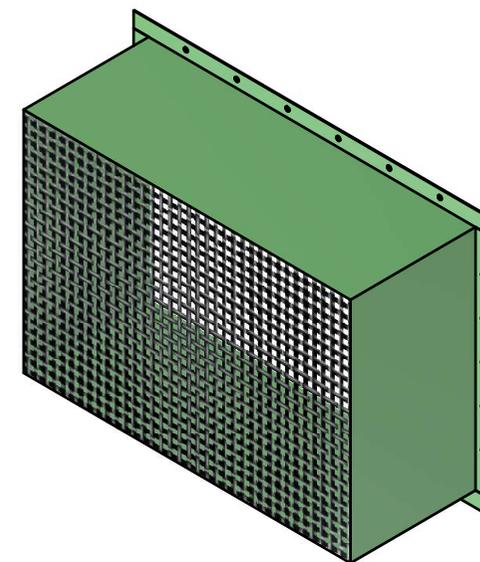
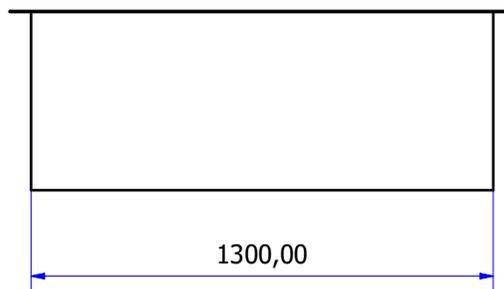
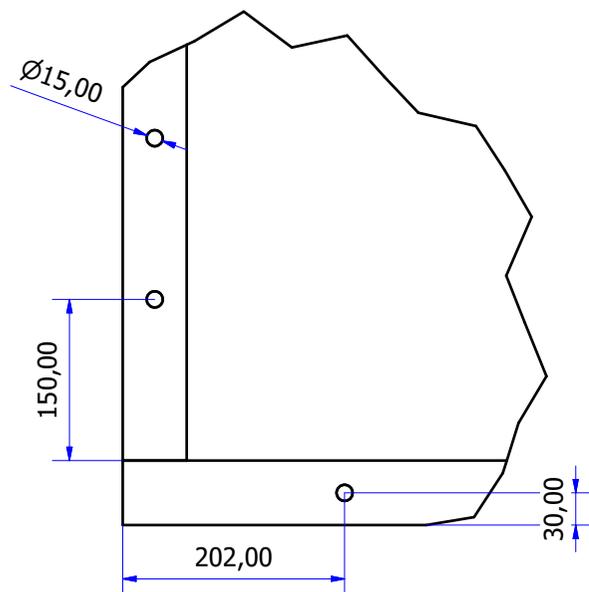
B (1 : 5)



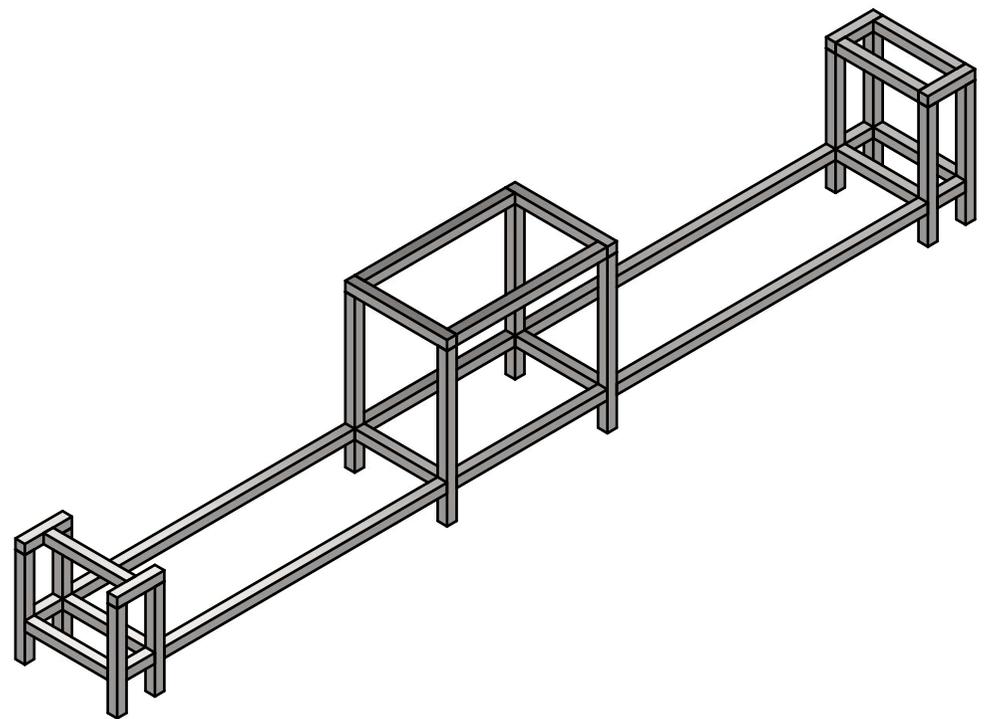
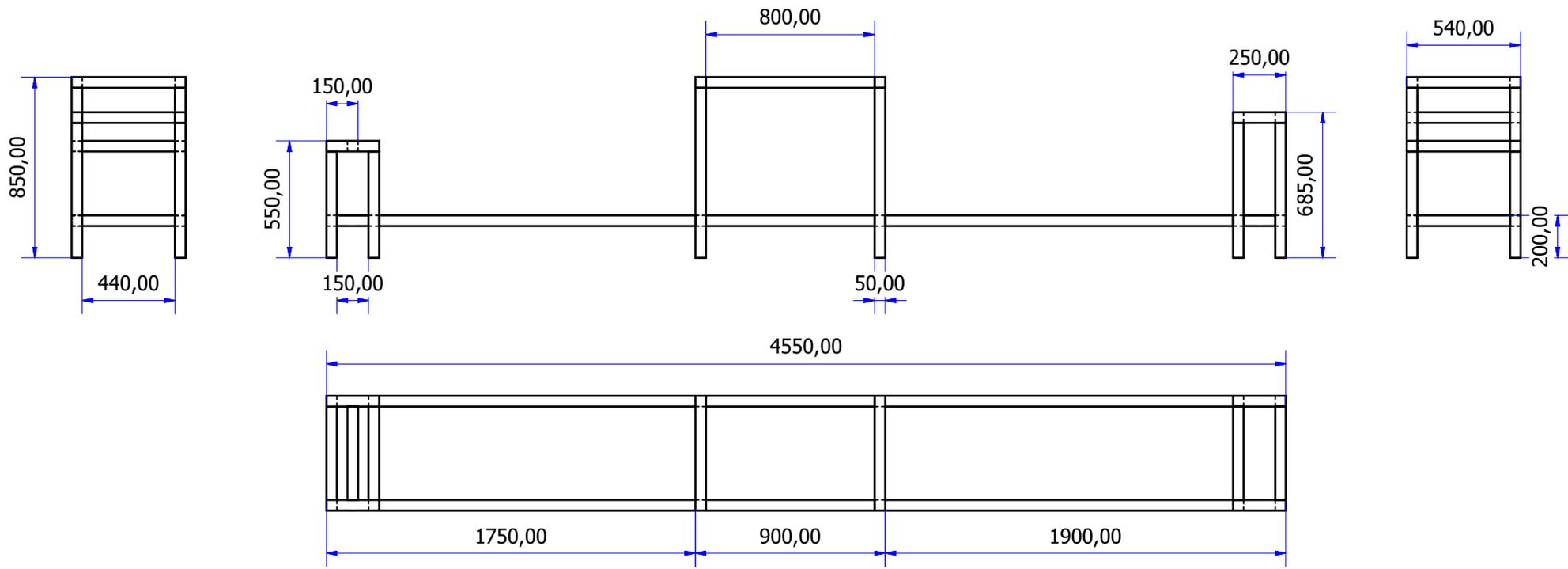
Trat Térmico	Ninguno	EPN	ESFOT – CARRERA DE ELECTROMECAÁNICA		
Recubrimiento	Ninguno		Dib.	Guacamín Héctor	
MATERIAL: Acero Galvanizado 0,70mm		Tol. Gral ±0,05	ESCALA 1:12	Dis.	Guacamín Héctor
				Rev.	Loor Jonathan
Difusor			Plano N°3		Fecha: 04-07-24



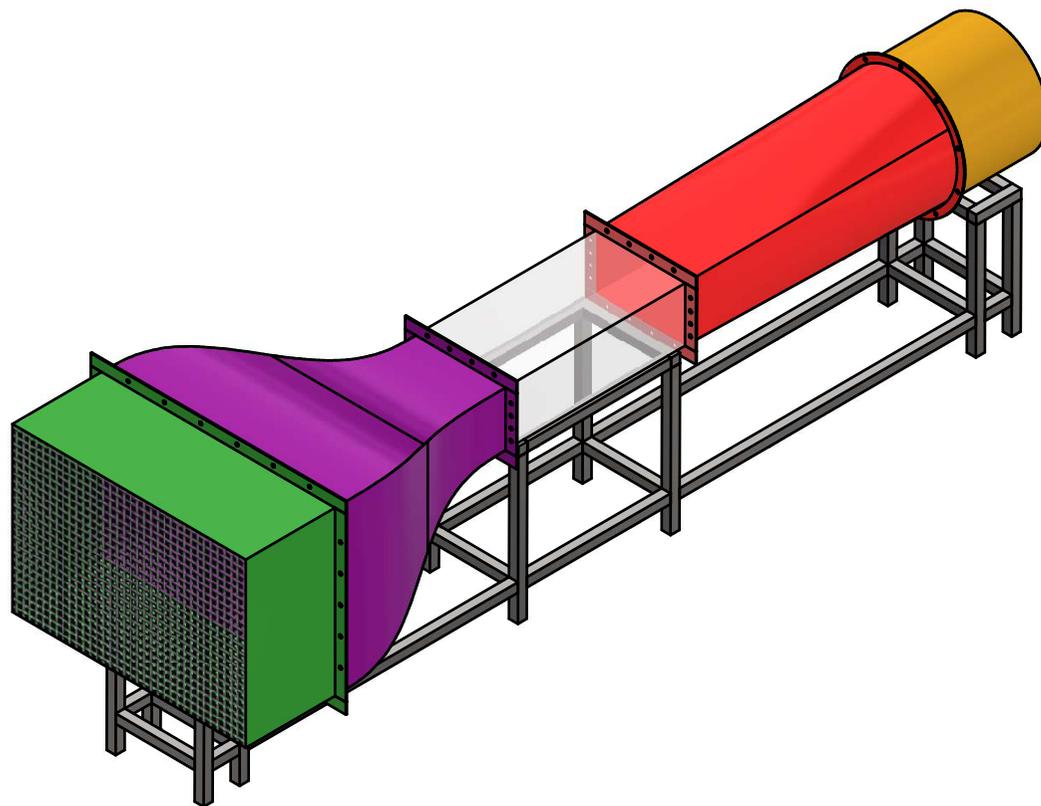
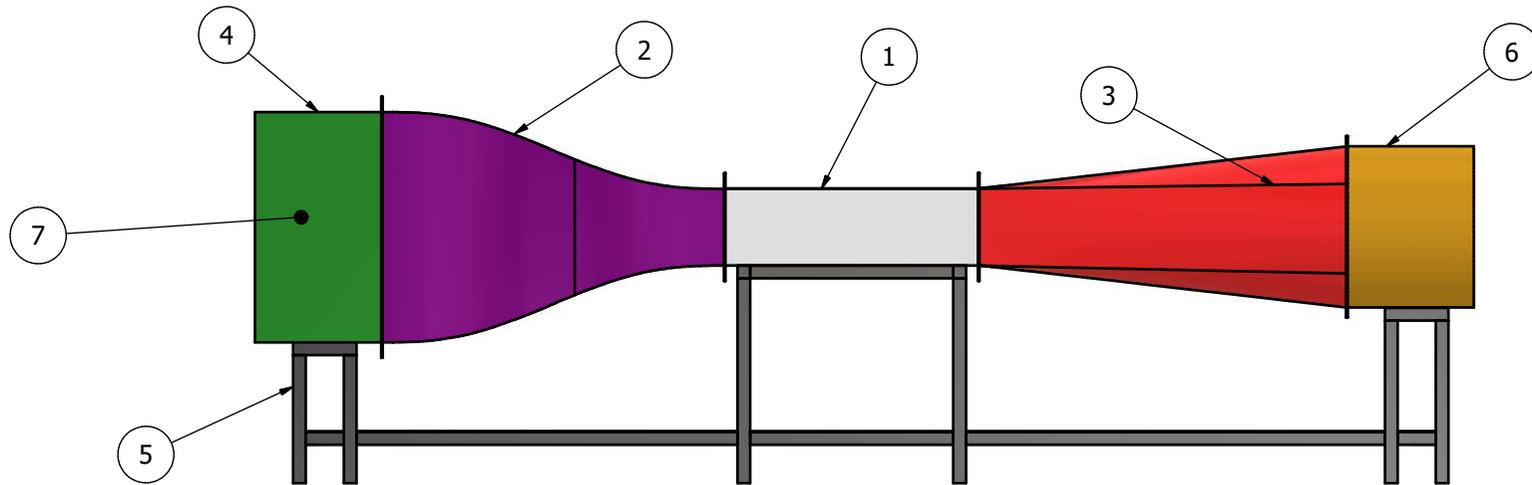
A (1:5)



Trat Térmico	Ninguno	EPN	ESFOT – CARRERA DE ELECTROMECAÁNICA		
Recubrimiento	Ninguno		Dib.	Guachamín Héctor	
MATERIAL: Acero Galvanizado 0,70mm		Tol. Gral $\pm 0,05$	ESCALA 1:15	Dis.	Guachamín Héctor
				Rev.	Loor Jonathan
Acondicionador de flujo			Plano N°4		Fecha: 04-07-24



Trat Térmico	Ninguno	EPN	ESFOT – CARRERA DE ELECTROMECAÁNICA	
Recubrimiento	Ninguno		Dib.	Guacamín Héctor
MATERIAL: Tubo cuadrado 50 x 50 x 2mm		Tol. Gral ±0,05	ESCALA 1:20	Dis. Guacamín Héctor
			Rev.	Loor Jonathan
Estructura de soporte			Plano N°5	
			Fecha: 04-07-24	



7	3	Malla	Mesh #4 Acero inoxidable
6	1	Ventilador	Trifasico 0,51 (kW)
5	1	Estructura de soporte	Tubo cuadrado Acero negro 50 x 50 x 2 (mm)
4	1	Acondicionador de flujo	Acero Galvanizado 0,75 (mm)
3	1	Difusor	Acero Galvanizado 0,75 (mm)
2	1	Cono de contracción	Acero Galvanizado 0,75 (mm)
1	1	Cámara de pruebas	Acrílico transparente 2 (mm)
ELEMENTO	CTDAD	NOMBRE	MATERIAL

LISTA DE PIEZAS

Trat Térmico	Ninguno	EPN	ESFOT – CARRERA DE ELECTROMECAÁNICA	
Recubrimiento	Ninguno			
MATERIAL: Detallado en cada plano	Tol. Gral ±0,05	ESCALA 1:20	Dib.	Guachamín Héctor
			Dis.	Guachamín Héctor
			Rev.	Loor Jonathan

Ensamble
Tunel de viento

Plano N°6

Fecha:
04-07-24