	GESTIÓN DE SERVICIOS ACADÉMICOS Y BIBLIOTECARIOS		CÓDIGO	FO-GS-15	
			VERSIÓN	02	
	ESQUEMA HOJA DE RESUMEN			FECHA	03/04/2017
				PÁGINA	1 de 1
ELABORÓ		REVISÓ		APROBÓ	
Jefe División de Biblioteca		Equipo Operativo de Calidad		Líder de Calidad	

## RESUMEN TRABAJO DE GRADO

AUTOR(ES):

NOMBRE(S): JESÚS ENRIQUE APELLIDOS: PACHECO BAQUERO

NOMBRE(S): JORGE GEOVANNI APELLIDOS: SEPULVEDA PARADA

FACULTAD: INGENIERÍA

PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERÍA MECÁNICA

DIRECTOR:

NOMBRE(S): PEDRO ANTONIO APELLIDOS: PEREZ ANAYA

TÍTULO DEL TRABAJO (TESIS): DISEÑO, CONTRUCCION DE BANCO DE PRUEBA DE UN PROTOTIPO DE HELICE DE FLUJO AXIAL

RESUMEN

Consiste en el diseño y construcción de un banco de prueba de un prototipo de hélice de flujo axial, para poder llevar a cabo el ensamble de este proyecto se diseñaron varios elementos: como son: hélice, toberas, cilindro en acrílico, eje del motor, sistema de retorno del banco. Para su posterior construcción y ensamble del banco. El banco funciona con un flujo de agua que pasa a través de una tobera que tiene dentro una hélice de flujo axial que empuja el agua a través de un cilindro de acrílico, después el agua pasa por un difusor y una reducción que tiene acoplado un caudalímetro de Arduino y luego el agua se deposita en un tanque de retorno que la devuelve al difusor y se repite el ciclo. Se llego a la conclusion de que los enderezadores de flujo permitieron que el fluido tenga un comportamiento laminar, por lo que si no se hubieran instalado afectaría la eficiencia en la toma de datos de la prueba del prototipo de hélice y produciría rebose de fluido alrededor del banco. Y las citas de la norma AMCA, permitieron diseñar el ducto de prueba, cabe decir que la norma funciona para flujos compresibles.

PALABRAS CLAVE: Hélice de flujo axial, tobera, difusor, caudalímetro, reducción.

CARACTERISTICAS:

PÁGINAS: 99 PLANOS: 0 ILUSTRACIONES: 28 CD ROOM: 1

DISEÑO, CONTRUCCION DE BANCO DE PRUEBA DE UN PROTOTIPO DE  
HELICE DE FLUJO AXIAL

JESÚS ENRIQUE PACHECO BAQUERO

JORGE GEOVANNI SEPULVEDA PARADA

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍA

PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA MECÁNICA

SAN JOSÉ DE CÚCUTA

2022

DISEÑO, CONTRUCCIONDE BANCO DE PRUEBA DE UN PROTOTIPO DE  
HELICE DE FLUJO AXIAL

JESÚS ENRIQUE PACHECO BAQUERO

JORGE GEOVANNI SEPULVEDA PARADA

Proyecto de grado presentado como requisito para optar al titulo de

Ingeniero Mecanico

DIRECTOR

ING. PEDRO ANTONIO PEREZ ANAYA

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍA

PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA MECÁNICA

SAN JOSÉ DE CÚCUTA

2022

## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE UN TRABAJO DE GRADO

**FECHA:** CÚCUTA, 30 DE JUNIO 2022  
**HORA:** 04:00 P.m.  
**LUGAR:** LABORATORIO DE HIDRAÚLICA UFPS  
**PLAN DE ESTUDIOS:** INGENIERÍA MECÁNICA

**TÍTULO:** "DISEÑO, CONSTRUCCIÓN DE BANCO DE PRUEBA DE UN PROTOTIPO DE HÉLICE DE FLUJO AXIAL".

**Jurados:** ING. LUIS EMILIO VERA DUARTE  
ING. ORLANDO GUTIÉRREZ LÓPEZ

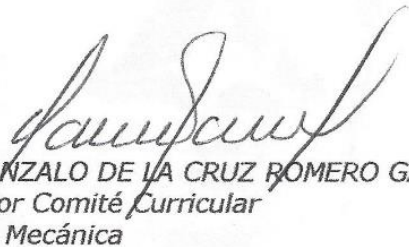
**Director:** ING. PEDRO ANTONIO PEREZ ANAYA.

Nombre del estudiante	Código	Calificación	
		Letra	Número
JESÚS ENRIQUE PACHECO BAQUERO	1121388	Cuatro, Dos	4.2
JORGE GEOVANNI SEPULVEDA PARADA	1121272	Cuatro, Dos	4.2

### APROBADA

  
ING. LUIS EMILIO VERA DUARTE

  
ING. ORLANDO GUTIÉRREZ LÓPEZ

  
Vo.Bo GONZALO DE LA CRUZ ROMERO GARCÍA  
Coordinador Comité Curricular  
Ingeniería Mecánica

## Contenido

	<b>Pág.</b>
Introducción	15
1. El problema	17
1.1 Título	17
1.2 Planteamiento del problema	17
1.3 Formulación del problema	18
1.4 Sistematización del problema	18
1.5 Objetivos	19
1.5.1 Objetivos generales	19
1.5.2 Objetivos específicos	19
1.6 Justificación	20
1.7 Delimitaciones	20
1.8 Alcances	21
2. Marco referencial	22
2.1 Antecedentes	22
2.2 Bases teóricas	24
2.2.1 Banco de pruebas	24
2.2.2 Hélice	26
2.2.2.1 Hélice de flujo axial	27

2.2.2.2 Hélice de viento.	27
2.2.2.3 Hélice de agua	27
2.2.3 Turbinas eólicas	27
2.2.4 Aplicaciones de las hélices.	27
2.2.5 Eficiencia total de la hélice	28
2.2.6 Eficiencia estática de la helice	28
2.2.7 Rendimiento estático del ventilador con accionamiento	28
2.2.8 Ecuación de eficiencia total de la helice.	29
2.2.9 Eficiencia total de la helice	30
2.2.10 Conducto de prueba.	30
2.2.11 Conducto de medición de caudal de aire.	31
2.2.12 Conducto de medición de presión.	31
2.2.13 Enderezador De Flujo.	31
2.2.14 Presión	32
2.2.15 Caudal	33
2.2.16 Temperatura.	34
2.2.17 Pérdidas de presión	34
2.2.18 Pérdidas en rodamientos y transmisión.	34
2.3 Marco conceptual	35
2.4 Marco legal	35

2.5 Marco espacial	36
2.6 Marco temporal	36
3. Diseño metodológico	38
3.1 Tipo de investigación	38
3.2 Método de investigación	38
3.3 Tipo de estudio	39
3.4 Población y muestra	39
3.5 Sistema de variables	39
3.6 Tratamiento de la información	40
3.7 Técnica para la recolección de información	41
3.7.1 Técnica procesamiento de la información.	41
4. Diseño	42
4.1 Diámetro de la hélice	42
4.2 Diseño del ducto de prueba	43
4.3 Esquema del túnel del banco de prueba	44
4.4 Diseño de tobera de entrada, reducción y difusor	45
4.5 Diseño de la reducción	47
4.6 Difusor de salida del flujo al final del ducto de prueba	48
4.7 Diseño del retorno del flujo, enderezadores de flujo.	49
4.7.1 Retorno del flujo.	49

4.7.2 Enderezadores de flujo.	50
4.7.3 Direccionador de flujo en la zona de retorno de fluido.	51
4.8 Diseño de acople de entrada de potencia y soporte de la hélice	52
4.8.1 Diseño del eje.	52
4.8.2 Diseño de transmisión de potencia de la hélice.	53
4.8.3 Diseño estructura soporte de la hélice.	54
4.9 Toma de datos (parte electrónica)	55
4.9.1 Medida de presión y temperatura	55
4.9.2 Medición de caudal	57
4.9.3 Potencia de entrada.	57
4.9.4 Toma de datos	57
5. Construcción Del Banco	58
5.1 Proceso de construcción	58
5.2 Construcción del ducto de prueba, tobera, difusor, reducción	58
5.3 Construcción del retorno	59
5.4 Construcción de la hélice de flujo axial	60
5.5 Construcción de la trasmisión que impulsa la hélice y su respectivo balanceo	61
5.6 Construcción de la mesa	61
5.7 Ensamble de la parte electrónica	62
6. Pruebas	63



6.1 Toma de datos	63
6.2 Elementos De Medición	63
6.3 Tabla de datos	64
6.4 Cálculos	66
6.4.1 Caudal.	66
6.4.2 Presión	66
6.4.3 Presión total del ventilador.	66
6.4.4 Presión estática del ventilador en condiciones de prueba	67
6.4.5 Motor Calibrado.	67
6.4.6 Potencia de entrada del ventilador.	67
6.4.7 Número de Reynolds.	67
6.4.8 Eficiencia De La Hélice	68
6.4.8.1 Potencia de salida del ventilador.	68
6.4.8.2 Factor de compresibilidad.	69
6.4.8.3 Función utilizada para determinar $K_p$	69
6.4.8.4 Eficiencia total de la hélice	69
6.4.8.5 Eficiencia estática del ventilador.	70
6.5 Datos calculados	70
6.6 Grafica	72
7. Marco administrativo	73

7.1 Personas que participan en el proceso	73
7.2 Cronograma de trabajo	73
7.3 Presupuesto para la investigación	75
8. Conclusiones	77
9. Recomendaciones	78
10. Referencias bibliográficas	79
Anexos	81

## Lista de tablas

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Elementos de medicion	64
Tabla 2. Datos recopilados	64
Tabla 3. Datos calculados	70
Tabla 4. Participantes del proceso	73
Tabla 5. Cronograma de actividades	73
Tabla 6. Recursos humanos	75
Tabla 7. Recursos Institucionales	75
Tabla 8. Presupuesto	76

## Lista de figuras

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Túnel de cavitación de CEHIPAR.	25
Figura 2. Componentes del túnel de viento TVIM-49-60-1*1	26
Figura 3. Grafica de eficiencia total de la helice	29
Figura 4. Tipos de Presion.	33
Figura 5. Esquema del ducto de prueba circular $D_2 = D_4$	44
Figura 6. Esquema del ducto de prueba de prototipos de hélices de flujo axial	45
Figura 7. Boquillas	45
Figura 8. Aproximación en tres puntos del arco elíptico de la boquilla	46
Figura 9. Dimensiones de la boquilla	46
Figura 10. Pieza de transición para reducción de conductos	47
Figura 11. Reducción del conducto de prueba	47
Figura 12. Dimensionamiento de la boquilla difusora del flujo al final del ducto de prueba	48
Figura 13. Simulación de fluido del banco de prueba de hélices de flujo axial	49
Figura 14. Enderezador de flujo tipo celda.	50
Figura 15. Enderezador de flujo del conducto de prueba.	50
Figura 16. Angulo de recomendado de alabe direccionador de flujo de acuerdo al Angulo de direccionamiento.	51
Figura 17. Diagrama de momento máximo	52
Figura 18. Caracteriticas para factor de seguridad	53
Figura 19. Transmisión de potencia de la hélice	54
Figura 20. Diseño estructura soporte de la hélice	55

Figura 21. Colector de anillo de piezómetro.	56
Figura 22. Proceso elaboración moldes en yeso.	59
Figura 23. Retorno del fluido en PVC	60
Figura 24. Hélices de flujo axial	60
Figura 25. Construcción y balanceo del eje de la hélice	61
Figura 26. Elaboración mesa del banco	62
Figura 27. Prueba y hélice empleada durante la prueba.	63
Figura 28. Grafica de eficiencia de la hélice	72

## **Lista de anexos**

	<b>Pág.</b>
Anexo 1. Implementos electrónicos de arduino utilizados en el banco de prueba	82
Anexo 2. Plano del banco de prueba de prototipos de hélice de flujo axial	95

## Introducción

En el campo de la ingeniería mecánica a lo largo de los años ha existido gran interés por la aplicación de hélices de flujo axial, debido a la importancia que se requiere en el campo naval, aéreo, ventilación y equipamiento industrial como lo son el procesamiento de alimentos, generando energía por medio de las hélices de generadores eólicos o turbo máquinas como turbinas de flujo axial, por lo tanto vemos que es un campo tecnológico muy amplio al cual debemos conocer y determinar los aspectos más importantes que identifica la eficiencia de la hélice.

En un banco de pruebas de hélices de flujo axial, se pueden determinar comportamientos que ayudan a identificar factores como presión de empuje y cantidad de fluido que mueve, lo cual permite caracterizar una hélice conforme a su uso y desarrollar nuevos diseños que permitan tener mayor rendimiento de la energía ya sea para impulsar un fluido o en el caso de que el fluido mueva la hélice lograr captar la mayor cantidad energía transmitida por el fluido, reduciendo las pérdidas la mayor cantidad posible.

Para desarrollar el diseño de un banco de pruebas de hélices de flujo axial, es importante identificar los factores que se van a evaluar, como lo son el caudal, la presión, temperatura, revoluciones a la cual se mueve la hélice y potencia suministrada, conocer los diseños propuestos en ingeniería referentes a la evaluación de la eficiencia de hélices de flujo axial, identificar los componentes necesarios para conformar el diseño de un banco de pruebas de prototipos de hélices de flujo axial.

En la construcción se tienen en cuenta diversos factores como económicos y dispuestos en la región para la eventual construcción del banco de pruebas, los cuales se permitió realizar pruebas

mecánicas y evaluar un prototipo de hélice con resultados que permiten caracterizar su punto de mayor eficiencia.



## **1. El problema**

### **1.1 Título**

Diseño, construcción de banco de prueba de un prototipo de hélice de flujo axial.

### **1.2 Planteamiento del problema**

En la actualidad el consumo de energías y recursos va en aumento por lo que muchos productos utilizados diariamente son rediseñados para ser cada día más eficientes y lograr un menor consumo, las hélices aunque aparentemente para las personas represente algo relevante es un elemento muy importante en el mundo, ya que desde su invención ha sido de vital importancia en la ingeniería, como lo podemos notar en el campo naval, aéreo, en maquinaria industrial, ventilación y sistemas de generación de energía eléctrica, por lo que resulta importante conocer las características de estos elementos para mejorar la eficiencia en nuevos diseños, por lo que es de vital importancia un banco de pruebas en el cual se obtengan datos de evaluación de rendimiento de prototipos de hélices de flujo axial, para determinar un diseño que genere menores pérdidas de trabajo conforme a la necesidad.

En la actualidad debido a la integridad de los conocimientos y tecnologías de los diferentes lugares del mundo, muchas de las cosas que no se creían necesarias, ya forman parte para desarrollo de la vida cotidiana, por lo que hay que resaltar que en la región no se encuentra disponible un equipo que permita evaluar el funcionamiento de hélices de flujo axial, ni a nivel educativo ni tampoco industrial, por lo que al respecto al estudio y diseño de hélices no se encuentra motivado, y aunque en la región se encuentra una zona industrial a gran escala que relacione estos elementos, la necesidad se percibe con el paso del tiempo.

### **1.3 Formulación del problema**

¿Cómo evaluar el rendimiento del prototipo de una hélice de flujo axial en un banco de prueba?

Para medir la eficiencia de un prototipo de hélice de flujo axial alimentada por un motor eléctrico de corriente continua en un banco de prueba, se debe construir un túnel de agua, que tenga un sistema de recirculación. “hay que resaltar que la diferencia entre un túnel de agua y un túnel de cavitación radica en que el segundo permite generar cavitación más fácilmente al generar vacío”. (Calderon Martinez, 2004)

En este banco se instalará el prototipo de hélice de flujo axial que moverá el agua a un ritmo lento por el sistema, por las características del banco que tiene dimensiones pequeñas. Asimismo, el banco se instalará instrumentos de medida en placa Arduino que facilitaran la toma de datos y los ordenaran. Los instrumentos de medida que se le acoplaran al banco son medidores de flujo, manómetro y una pantalla digital que nos muestra la información medida.

El diámetro del prototipo de la hélice de flujo axial debe ajustarse a las dimensiones del túnel de agua. Para un adecuado rendimiento. “sé decidió que las dimensiones en la zona de pruebas deben ser con un rango de tolerancia pequeño respecto el tamaño de la hélice. (Calderon Martinez, 2004)

### **1.4 Sistematización del problema**

Para desarrollar prácticas de laboratorios encaminadas a realizar pruebas físicas de un prototipo de hélice de flujo axial, es necesario formular varias preguntas: ¿Cómo construir un banco didáctico con todos sus requerimientos funcionales?, ¿Se necesita describir los elementos teóricos que generan el soporte ingenieril del proyecto?, ¿Es importante este tipo de proyectos? ¿Es necesario analizar los costos e inversiones del proyecto?

El cómo se encuentra estructurado un proyecto, permite identificar un orden secuencial para que cada una de las ideas pertenecientes a este se logre llevar a cabo, por lo que la consulta de información del tema es un paso inicial para unir una idea y los aspectos más importante del desarrollo del proyecto con respetos a normativas que lo rigen, a nivel de ingeniería, ético y moral, por lo que es la primera etapa la más importante de un proyecto la que define la viabilidad de su desarrollo.

Gran parte de lo que realizamos cada día va formando parte un modo significativo para el conocimiento estimule y aclare el cuestionamiento de las ideas, lo que la realización de un proyecto que enriquezca el conociendo es vital tanto para el avance y estímulo de crecimiento del campo académico e industrial.

El esfuerzo con que desempeña un proyecto va soportado estructuralmente por la parte económica, aunque a simple vista pueda no ser relevante, todo de algún modo va conectado a la parte económica sin importar las dimensiones del proyecto que se va realizar, dentro de la planificación debe ir con claridad los costos con respecto el beneficio e importancia de cada parte del proyecto y ser evaluado con respecto la capacidad de recursos que permitan hasta que puntos se puede desarrollar dado proyecto.

## **1.5 Objetivos**

**1.5.1 Objetivos generales.** Diseñar, construir un banco de prueba de un prototipo de hélice de flujo axial

**1.5.2 Objetivos específicos.** Calcular las pérdidas primarias y secundarias que debe vencer la hélice de flujo axial para el funcionamiento del banco.

Seleccionar los materiales y equipos electrónicos que se encuentren en el mercado para la elaboración del banco.

Elaborar el diseño de un sistema de banco de prueba para prototipos de hélices de flujo axial

Evaluar el diseño propuesto

## **1.6 Justificación**

En la actualidad se encuentran diversos programas para simular el diseño de hélices, pero como tal solo se pueden apreciar datos aproximados del diseño que se simula, por lo tanto, en un banco de prueba físico se puede analizar cualitativamente los factores que evaluarán el rendimiento del diseño de un prototipo hélice.

Debido a la necesidad de evaluar y conocer la eficiencia de prototipos de hélices y que en la región no se cuenta con un banco de prueba para prototipos de hélices de flujo axial, se ve la necesidad de realizar el diseño de un banco de prueba de hélices de flujo axial, para conocer a nivel de laboratorio el rendimiento de un prototipo de hélice en momento real.

De modo pedagógico lograr identificar por completo el funcionamiento de medición de una hélice de flujo axial y poder identificar directamente los factores que se evaluarán en una hélice para poder conocer la eficiencia de prototipos de flujo axial.

## **1.7 Delimitaciones**

Debido a que en la región no se desarrollan muchos proyectos de construcción de componentes electrónicos el costo de los componentes se podrían conseguir con valores superiores a lo que se podrían conseguir en otros mercados y algunos elementos se encuentren con alto nivel de dificultad.

de ser adquirido, como lo pueden ser los sistemas electrónicos para evaluar la presión que realiza el empuje de la hélice, el caudal generado, potencia consumida y generada, puede crear limitaciones del diseño del banco de prueba de prototipos de hélices de flujo axial.

### **1.8 Alcances**

El diseño de un banco de prueba para prototipos de hélices de flujo axial es vital para determinar la eficiencia, ya que este tipo de hélices son las de mayor uso en el campo de ventilación y la industria aerodinámica para conocer a nivel experimental y pedagógico el rendimiento de una hélice.

Sugerir a los estudiantes de ingeniería mecánica de la universidad francisco de paula Santander en la utilización elementos electrónicos para la elaboración de bancos como proyectos académicos y trabajos de grado.

## 2. Marco referencial

### 2.1 Antecedentes

Oscar, Gabriel, Rojas, Burgos. 2010. Diseño, construcción y experimentación de propulsores marinos. Proyecto de grado. Universidad de los andes. Bogotá D.C. Colombia

El presente documento contiene los resultados obtenidos tras el diseño, construcción y experimentación de una hélice marina, en términos de su comportamiento dinámico. Este trabajo lo realizaron con el objetivo de mejorar la eficiencia de las propelas en cualquier medio marino ya sea barcos, submarinos y torpedos, donde se experimentó el diseño de la hélice en un túnel de prueba de la universidad de los andes

Pedro, Ochoa, Urrea. 2018. Desarrollo de banco de pruebas para hélices y motores de drones. Proyecto de grado. Universidad EIA. Envigado. Colombia.

En este proyecto se propone desarrollar un banco de pruebas con la instrumentación necesaria para tomar los datos más importantes como potencia y fuerza de una combinación numerosa de pares Motor-Hélice con el fin de sacar datos estadísticos para ver cuál es el óptimo para el uso de los drones y finalmente ver que hace que estos pares se comporten tan bien y con esto proponer ideas para desarrollar mejores motores y hélices.

Andrés, Rocha, Molina; Heiner, Castañeda, Gómez; Jairo, Salcedo, Naizir; Luis, De La Cruz Natera; Javier, Roldán, McKinley. 2017. Diseño de un banco de pruebas para ventiladores axiales en serie, norma ANSI/AMCA 210. Artículo. Universidad del atlántico. Barranquilla. Colombia.

En este proyecto Se presenta la aplicación de la norma ANSI/AMCA 210 para la implementación de un banco de ventiladores axiales en serie, teniendo en cuenta criterios de ergonomía y diseño de producto para el dimensionamiento general. El software SolidWorks fue utilizado para la generación de un modelo CAD usado para evaluar los componentes estructurales y de sujeción, así como para la generación de planos del equipo.

Joaquín, Esteban, Guevara, IHL. 2019. Diseño y construcción de un banco de pruebas para la caracterización de hélices mediante torque y empuje. Universidad de Chile. Santiago de Chile. Chile.

El propósito de este trabajo es de diseñar, calcular y construir un banco de pruebas para hélices de hasta 0,78 metros de largo que sea capaz de medir rpm, fuerza de empuje, velocidad, temperatura y torque de una manera más económica al no tener que recurrir a túneles de viento de alta velocidad existentes en laboratorios. El fin de estas mediciones es poder caracterizar distintos diseños de hélices y luego poder compararlos con modelos ya existentes y así poder cuantificar la diferencia entre ellas, dependiendo de su diseño. Como requerimiento de diseño por parte de Vempto S.P.A. se tuvo que el soporte debe poder instalarse aguas arriba (upwind) y aguas abajo (downwind) para así poder realizar ambos tipos de mediciones sobre las hélices.

Franklin, Horacio, Calderón, Neira. 2018. Implementación de un banco de ensayos tipo túnel de viento para la selección de ventiladores de refrigeradores domésticos en la UPS Cuenca. Proyecto de grado. Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca. Cuenca. Ecuador.

En este proyecto, se diseñó y construyó un banco de ensayos tipo túnel de viento con el fin de medir el caudal y la presión estática de del aire y poder obtener las curvas características de los ventiladores introducidos en los refrigeradores domésticos de la empresa Indurama S.A. Se investigó sobre los conceptos generales de los ventiladores como también su clasificación,

importancia de las curvas característica. Funcionamiento del moto-ventilador e implementación de un túnel de viento para el análisis del fluido y su adaptación de ventiladores dentro del refrigerador doméstico.

David, Emilio, Enríquez, Tipismana. 2013. Diseño de un banco de ensayos para ventiladores axiales de hasta 6000 m<sup>3</sup>/h. Proyecto de grado. Pontificia universidad católica del Perú. Lima. Perú.

En este trabajo de grado, se desarrolla un diseño de un banco de ensayos para ventiladores axiales de hasta 6000 m<sup>3</sup>/h. el cual está conformado por un ducto de 500 mm de diámetro de acero galvanizado y una longitud de 5 metros, el cual cuenta con una sección de transición, que tiene forma de cono truncado. Que permite adaptarse al diámetro de ventiladores de diferentes diámetros y formas. Respetando las distancias recomendadas por las especificaciones de las normativas técnicas que regula el ensayo de ventiladores.

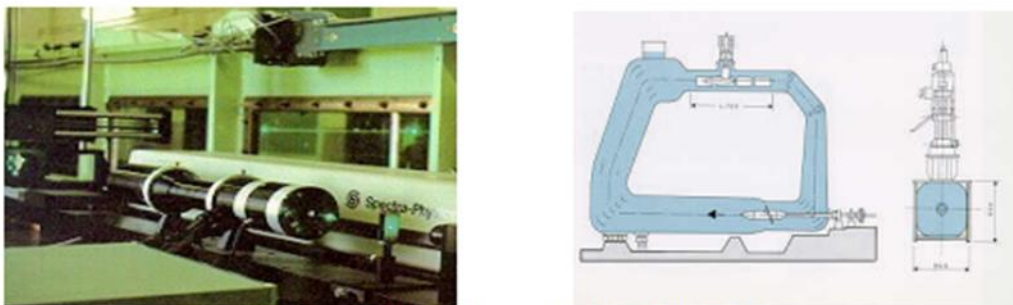
## **2.2 Bases teóricas**

**2.2.1 Banco de pruebas.** Los bancos de pruebas son plataformas de experimentación que permiten la comprobación acertada y repetible de mediciones de variables físicas del objeto de experimentación que se desee caracterizar, (...), Dichos bancos de prueba deben cumplir con requerimientos dados por variables introducidas al sistema, condiciones de prueba, y los resultados obtenidos. (Andrés, 2018, pág. 8).

Encontraron dos centros de investigaciones donde tienen montados bancos de prueba para hélices, por supuesto, muy sofisticados, donde evalúan la cavitación de las hélices, uno de ellos es



el túnel de cavitación de CEHIPAR en España, este túnel permite el estudio de las características de las hélices, estudiando la generación de La cavitación, el riesgo de la erosión, fluctuaciones de presión, y la inherente producción de ruidos por la cavitación. (agosto, 2004, pág. 10)



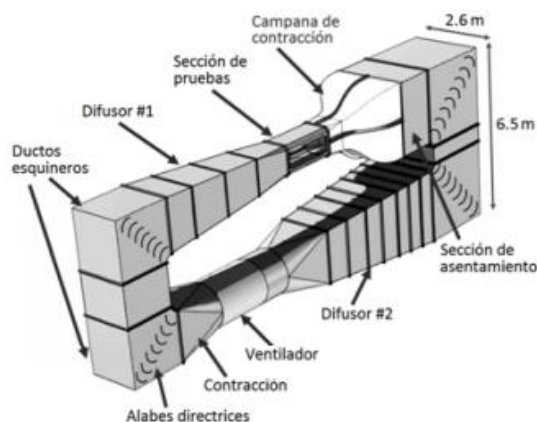
**Figura 1.** Túnel de cavitación de CEHIPAR.

Fuente: Imagen tomada de Google académico, sitio web (agosto, 2004, pág. 10).

El túnel de viento TVIM-49-60-1x1 ubicado en el laboratorio de fluidos de la universidad de los Andes, fue diseñado para condiciones de velocidad de 60 m/s, presión de 650 Pa y una sección de pruebas con dimensiones de 1 m x 1m x 2 m. Posee una longitud de 18 m desde sus extremos y una altura máxima de 6,5 m (SANTIAGO, 2008). Además, posee difusores, ductos esquineros, alabes directrices, campana de contracción, zona de pruebas, mallas y un ventilador axial de 20 aspas y 1,6 m de diámetro también diseñado por el departamento de ingeniería mecánica de la Universidad de Los Andes. (Andrés, 2018, pág. 9)

Este túnel fue diseñado y construido en el 2008 por el departamento de ingeniería. Su principal función es la prueba de elementos aerodinámicos en ambientes académicos para poder permitir a los estudiantes la posibilidad de experimentar y percibir los conceptos de aerodinámica aplicados a dichos cuerpos. Su operación requiere de la participación de un técnico calificado en el manejo

del túnel el cual está encargado de la variación de las velocidades de rotación del ventilador según sean requeridas y del experimentador que vaya a hacer uso del túnel. (Andrés, 2018, pág. 9).



**Figura 2.** Componentes del túnel de viento TVIM-49-60-1\*1

Fuente: Imagen tomada de Google académico, sitio web (SANTIAGO, 2008, pág. 2)

**2.2.2 Hélice.** La hélice es una línea de doble curvatura, engendrada por un punto que se mueve uniformemente alrededor de un eje, al mismo tiempo que se desplaza paralelamente al mismo. Si el punto generador está a una distancia fija del eje, la hélice será cilíndrica; si la distancia de ese punto móvil al eje variara uniformemente respecto al tiempo, la hélice sería cónica, la hélice cilíndrica también se puede considerar engendrada por un punto que recorre, con movimiento uniforme, una circunferencia mientras esta también se mueve uniformemente formando un cilindro. El paso de la hélice es el camino que ha recorrido la circunferencia mientras el punto a dado una vuelta entera; o también lo que avanza el punto generador al dar una vuelta entera, conservándose siempre paralelo al eje. La rotación es de izquierda a derecha, en sentido de las agujas de un reloj, el punto se mueve fuera del observador alejándose, que se supone delante, y la hélice es de paso a la derecha. (Wellman, 2003, pág. 201)

**2.2.2.1 Hélice de flujo axial.** Se define la hélice de flujo axial cuya agua en el banco de prueba entra de forma paralela al eje. (Fernando, 2017, pág. 19)

**2.2.2.2 Hélice de viento.** Son los elementos básicos de una turbina eólica, y la parte en contacto directo con el viento. Su función es captar la energía del viento para transformarla en electricidad. Para hacerlo de la manera más efectiva posible, las hélices tienen complicadas formas para adaptar sus prestaciones a nuestras necesidades. Su principio de funcionamiento combina la fuerza de empuje y sustentación creada por el viento. (maria, 2003, pág. 158)

**2.2.2.3 Hélice de agua.** He aquí la definición que de él da el capitán de navío parís en su obra: la hélice, tal como se emplea para la propulsión de los buques, consiste en dos o tres aletas helicoidales colocadas sobre un eje que gira en el agua en la parte de popa. (marcelino, 1856, pág. 418)

**2.2.3 Turbinas eólicas.** En esencia, una turbina eólica o aerogenerador, es una turbo maquina motora que intercambia una cantidad de movimiento con el viento, haciendo girar un rotor. En estas máquinas, la energía cinética del aire en movimiento proporciona energía mecánica a un rotor o hélice que, a través de un sistema de transmisión mecánico, hace girar el rotor de un generador, convirtiendo la energía mecánica rotacional en energía eléctrica. (IVÁN, 2011).

**2.2.4 Aplicaciones de las hélices.** La primeras aplicaciones de las hélices, hace miles de años, fueron los molinos de viento y agua. Hoy en día, también bajo los nombres de rotor, turbina y ventilador, las hélices y los dispositivos derivados de ellas se emplean para multitud de propósitos: refrigeración, compresión de fluidos, generación de electricidad, propulsión de vehículos e incluso para la generación de efectos visuales (estroboscopio). (Ignacio, 2011, pág. 14).

**2.2.5 Eficiencia total de la hélice.** La eficiencia total del ventilador (potencia a potencia t ) es la relación de la salida del ventilador de entrada del ventilador :

$$\eta_t = \frac{Q * P_t * Kp}{H_i} \quad \text{EC 1 : Tomada de (AMCA, 2016, pág. 21).}$$

$\eta_t$ : Eficiencia total

$Q$ : Caudal

$P_t$ : Presion total del ventilador

$Kp$ : Coeficiente de compresibilidad

$H_i$ : Potencia de entrada del ventilador

**2.2.6 Eficiencia estática de la helice.** La eficiencia estática del ventilador (  $\eta_s$  ) se puede calcular a partir de la eficiencia total del ventilador (  $\eta_t$  ) y la relación de la presión estática del ventilador  $h_s$ .

( $P_s$ ) a la presión total del ventilador ( $P_t$ ) usando:

$$\eta_s = \eta_t \left( \frac{P_s}{P_t} \right) \quad \text{EC 2: Tomada de (Inc., 2016, pág. 21).}$$

$\eta_s$ : Eficiencia estatita del ventilador

$\eta_t$ : Eficiencia total

$P_s$ : Presion estatica del ventilador

$P_t$ : Presion total del ventilador

**2.2.7 Rendimiento estático del ventilador con accionamiento**

$$\eta_{sx} = \eta_{tx} \frac{P_s}{P_t} \quad \text{EC 3: Tomada de (Inc., 2016, pág. 21).}$$

$\eta_{sx}$ : Eficiencia estatita del ventilador en la tryectoria X

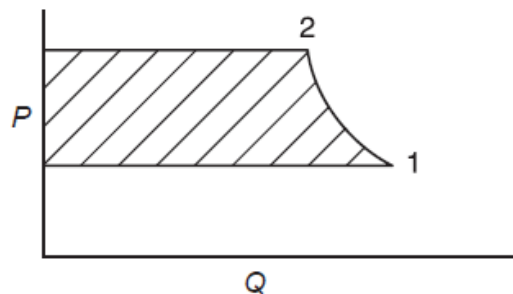
$\eta_{tx}$ : Eficiencia total del ventilador con accionamiento

$P_s$ : Presion estatica del ventilador

$P_t$ : Presion total del ventilador

**2.2.8 Ecuación de eficiencia total de la helice.** Los valores de caudal de aire del ventilador, presión total del ventilador y potencia de entrada del ventilador, que se determinan durante una prueba, son los valores de flujo comprimible para la velocidad del ventilador y la densidad del aire del ventilador predominante. A continuación se presenta una derivación de la ecuación de eficiencia total del ventilador basada en valores de flujo compresible. (Inc., 2016, pág. 52).

El proceso durante la compresión se puede trazar en un gráfico de presión total absoluta (P) versus caudal (Q). Al usar la presión total, se contabiliza toda la energía, incluida la energía cinética. (Inc., 2016, pág. 52).



**Figura 3.** Grafica de eficiencia total de la helice

Fuente: Imagen tomada de google academico, sitio web (AMCA, 2016, pág. 52)

### 2.2.9 Eficiencia total de la helice

$$\eta_t = \frac{\frac{Q_1 P_t}{6343.3 H_i} \left(\frac{n}{n-1}\right) \left[\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{(n-1)/n} - 1\right]}{\left(\frac{P_2}{P_1} - 1\right)} \quad \text{EC 4: Tomada de (AMCA, 2016, pág. 52)}$$

$\eta_t$ : Eficiencia total del ventilador

$Q_1$ : Caudal

$H_i$ : Potencia de entrada del ventilador

$n$ : Exponente politropico

$P_2$ : Presion en el punto 2

$P_1$ : Presion en el punto 1

**2.2.10 Conducto de prueba.** Se puede incorporar un conducto en una configuración de prueba de laboratorio para proporcionar un plano de medición o para simular las condiciones que se espera que encuentre el ventilador en servicio o ambas. (AMCA, 2016, pág. 12)

La dimensión D3 o D4 en las cifras de configuración de prueba son el diámetro interior de un conducto de sección transversal circular o un diámetro equivalente al interior de un conducto de sección transversal rectangular con dimensiones transversales interiores a y b, donde: (AMCA, 2016, pág. 12)

$$D_a = \sqrt[4]{\frac{4 \cdot a \cdot b}{\pi}} \quad \text{EC 5 Tomada de (AMCA, 2016, pág. 12)}$$

$D_a$ : Diametro equivalente

$a$ : Ancho del ducto rectangular

$b$ : Alguna del ducto rectangular

**2.2.11 Conducto de medición de caudal de aire.** Un conducto con un plano de medición para la determinación del flujo de aire debe ser recto y tener una sección transversal circular uniforme. Un conducto transversal de Pitot debe tener al menos 10 diámetros de largo con el plano transversal ubicado entre 8,5 y 8,75 diámetros desde el extremo aguas arriba. Dicho conducto puede servir como conducto de entrada o conducto de salida, así como para proporcionar un plano de medición. Un conducto conectado al lado aguas arriba de una boquilla de flujo deberá tener entre 6,5 y 6,75 diámetros de largo cuando se use solo para proporcionar un plano de medición o entre 9,5 y 9,75 diámetros de largo cuando se use también como conducto de salida. (AMCA, 2016, pág. 12)

**2.2.12 Conducto de medición de presión.** Un conducto con un plano para medir la presión debe ser recto y puede tener una sección transversal uniforme circular o rectangular. Un conducto de salida con un anillo piezómetro debe tener al menos 10 diámetros de largo con el plano del piezómetro ubicado entre 8,5 y 8,75 diámetros desde el extremo aguas arriba. (AMCA, 2016, pág. 12)

**2.2.13 Enderezador De Flujo.** Cómo se explico anteriormente, urge la necesidad de diseñar un elemento que elimine cualquier giro y reduzca la turbulencia, para que el flujo llegue a la zona

de pruebas casi de una forma ideal para minimizar los errores durante las pruebas. (agosto, 2004, pág. 37)

Para disminuir la turbulencia, se utilizan enderezadores de flujo cuyas celdas pueden ser redondas, cuadradas, triangulares o hexagonales, construida de tal forma que la longitud del enderezador sea 5 a 10 veces el diámetro de la celda. (agosto, 2004, pág. 37)

Es recomendable que esta relación sea menor a 8 debido a que la caída de presión es proporcional a la relación entre la longitud y el diámetro. (agosto, 2004, pág. 37)

**2.2.14 Presión.** La presión es una fuerza por unidad de superficie y puede expresarse en unidades tales como pascal, bar, atmósferas, kilogramos por centímetro cuadrado y psi. (MATAIX, 1982) (BARAHONA, 2015, pág. 13).

Se puede definir a la presión como la fuerza ejercida en dirección perpendicular a una superficie. (VINICIO, 2016, pág. 10)

$$p = \frac{F}{A} \text{ EC 6 Tomado de (VINICIO, 2016, pág. 10)}$$

$p$ : Presion

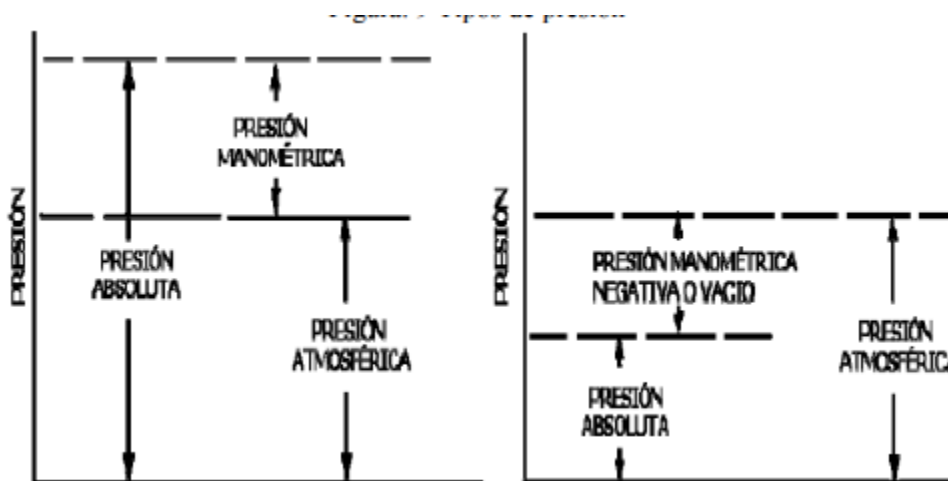
$F$ : Fuerza

$A$ : Area

La presión se presenta de varias formas, ya que la podemos encontrar en cualquier medio y en cualquier lugar, a esta presión se la denomina presión atmosférica y varia con la altura del lugar



donde se encuentre. La otra forma de encontrar la presión es en lugares presurizados o que no tengan la influencia del exterior a este tipo de presión se la denomina presión manométrica. (VINICIO, 2016, pág. 10)



**Figura 4.** Tipos de Presion.

Fuente: Imágenes tomada de google academico.Sitio Web (VINICIO, 2016, pág. 10)

**2.2.15 Caudal.** El gasto, o caudal, es la cantidad de agua que pasa por una determinada sección de un conducto en un cierto tiempo. Para calcular dicho gasto en un conducto, simplemente se multiplica el área de la sección transversal del conducto, por la velocidad con que escurre el agua en la misma sección. Si se asigna al gasto la letra  $Q$  y al área la letra  $A$  y a la velocidad la letra  $V$ ; se puede plantear la fórmula  $Q=AV$ . Esta fórmula o ecuación, es, en el ámbito de la hidráulica, la ecuación del gasto. En la historia de dicha ecuación presentan varias anécdotas curiosas. Leonardo Da Vinci ya hablaba de ella, pero es a Benedetto Castelli a quien se le reconoce su autoría. (Pedroza, 2018, pág. 26).

**2.2.16 Temperatura.** La temperatura, es la propiedad de los sistemas que determina si están en equilibrio térmico. El concepto de temperatura se deriva de la idea de medir el grado de caliente o frío relativo y de la observación de que las variaciones de calor sobre un cuerpo producen una variación de su temperatura, mientras no se produzca la fusión o ebullición. La sensación de calor o frío al tocar una sustancia depende de su temperatura, de la capacidad de la sustancia para conducir el calor y de otros factores. Cuando se aporta calor a una sustancia, se eleva su temperatura, así los conceptos de temperatura y calor, aunque están relacionados, son diferentes: la temperatura es una propiedad de un cuerpo y el calor es un flujo de energía producido por las diferencias de temperatura. (juan, 2019, pág. 85)

La temperatura es una de las variables básicas del tiempo y clima. Cuando preguntamos como está el tiempo afuera, casi siempre decimos algo sobre la temperatura, como hace frío o hace calor. De nuestra experiencia diaria, sabemos que la temperatura varía en diferentes escalas de tiempo en un mismo lugar, en periodos estacionales, diarios, horarios, etc., y varía también en el espacio. (juan, 2019, pág. 85)

**2.2.17 Pérdidas de presión.** Las pérdidas de carga se calcularán para los conductos de medida y los enderezadores que se encuentren entre el ventilador y el plano de medida. (AMCA, 2016, pág. 58)

**2.2.18 Pérdidas en rodamientos y transmisión.** Si bien puede haber otras leyes de similitud que cubran los cojinetes y otros elementos impulsores, las leyes de los ventiladores no se pueden usar para predecir las pérdidas de cojinetes o impulsores. El procedimiento correcto es restar las pérdidas para la primera condición, hacer proyecciones de entrada de energía de la ley del

ventilador para la primera condición corregida a la segunda condición y luego sumar las pérdidas en los rodamientos y la transmisión para la segunda condición. (AMCA, 2016, pág. 58)

### **2.3 Marco conceptual**

La interacción del comercio internacional y de tecnologías, permite que muchas de las cosas que normalmente no sean necesarias empiecen a formar parte de algo indispensable, por lo tanto, en nuestra región, norte de Santander, vemos el aumento de nuevas tecnologías en relación a las hélices de flujo axial, ya sea por el clima, en los sistemas de ventilación, el aumento industrial o de dispositivos voladores como drones, imparte la necesidad por conocer las características de cada tipo de hélice conforme a su respectivo uso. En Colombia se han realizados diversos proyectos en relación con bancos de pruebas de hélices de flujo axial, como en la ciudad de Bogotá, propulsores marinos, en barranquilla, banco de prueba de hélices de flujo axial en serie.

A nivel internacional, se han hecho grandes desarrollos para evaluar el comportamiento de las hélices de flujo axial, ya que cada día representan un elemento de gran utilidad.

### **2.4 Marco legal**

Bajo la norma internacional de banco de prueba de tipo túnel, ANSI/AMCA – Standard 210-16, esta reglamentación establece condiciones que permiten evaluar bajo condiciones iguales el funcionamiento de una hélice de flujo axial en un sistema de túnel de viento con recomendaciones que rigen a nivel internacional.

## **2.5 Marco espacial**

El diseño y construcción del banco de prueba de prototipo de hélice de flujo axial se realizará en el laboratorio de fluidos y térmicas ubicado en los edificios fundadores primer piso de la universidad francisco de paula Santander; Dirección: Avenida Gran Colombia No. 12E-96, Barrio Colsag Cúcuta, Norte de Santander.

En el laboratorio de hidráulica de la universidad Francisco de paula Santander, hay disponibilidad de espacio para el banco de prueba, que ocupa un espacio máximo de un metro cuadrado, el banco estará bien protegido de condiciones ambientales como la brisa y el sol. Además, el banco estará montado en una estructura metálica con rodachinas para poder cambiado de lugar cuando lo requiera el encargo del laboratorio.

El banco será parte importante del laboratorio en el estudio de las hélices de flujo axial, En la realización de pruebas de laboratorio, cuando los estudiantes lo requieran para poder afianzar sus conocimientos.

## **2.6 Marco temporal**

El estudio para el diseño y construcción del banco de prueba para prototipo de hélice de flujo axial empezara en el mes de junio del año 2020 y finalizara en junio del año 2021...se realizará una investigación tipo cualitativo y cuantitativo para mirar que los dispositivos electrónicos se puedan conseguir en el mercado y los materiales a utilizar se puedan conseguir en la ciudad de Cúcuta norte de Santander. Se realizará investigación tipo documento debido al confinamiento decretado por el gobierno nacional debido a la pandemia por COVID 19.se analizará el estado del arte de otros túneles hidrodinámicos para hacer comparaciones y conocer materiales que utilizaron

en el diseño de este. Cabe destacar que no se encontrado diseño parecido al túnel hidrodinámico para el estudio de los prototipos de hélice de flujo axial.

### **3. Diseño metodológico**

La investigación se realizará bajo la modalidad cualitativa, porque se propuso la implantación del Banco de Pruebas de prototipo de hélice de flujo axial para el laboratorio de fluidos y térmicas de la universidad francisco de paula Santander para las prácticas académicas de los estudiantes.

Para el diseño y elaboración del banco se realizó un estudio de documentos, con proyectos llevados a cabo a nivel mundial, continental y nacional.

#### **3.1 Tipo de investigación**

Esta investigación se basa en un enfoque cuantitativo y cualitativo. En el desarrollo del diseño del banco de pruebas de hélices de flujo axial, se tomarán en cuenta el desarrollo de otros proyectos semejantes, pero ajustándolo con base a los recursos que se encuentran en la región, lo cual mediante ensayos se permita conocer las características de cada hélice de flujo axial probada y lograr mediante datos obtenidos en cada prueba las curvas características de cada prototipo de hélice, como también observar el comportamiento de la hélice durante la prueba en interacción con el fluido.

#### **3.2 Método de investigación**

Una vez realizado el diseño con la geometría correspondiente del banco de pruebas de hélices de flujo axial, como también los implementos necesarios para la realización de ensayos, se realizará un ensayo de circulación de flujo del banco de prueba, en el software de diseño SolidWorks, para detectar posibles errores en el prediseño del banco de prueba.

### **3.3 Tipo de estudio**

La eficiencia de las hélices no solo debe quedar en solo cálculos, también se debe demostrar en un banco de pruebas el cual mediante un análisis en tiempo real se pueda identificar mediante la toma de datos durante la prueba de la hélice en sistema simulado y el cual también se pueda identificar visualmente la interacción de la hélice con el fluido. Debido a que las empresas fabricantes de hélices no comparten el procedimiento para calcular la hélice más eficiente, por tal razón se va a diseñar y montar el banco de pruebas con el fin poder conocer las variables que afecten un mal funcionamiento y altos costos de energía de consumo, y posteriormente en un rediseño de la hélice se logre mejorar el diseño de un prototipo que desarrolle un mejor funcionamiento con la menor cantidad de pérdidas posibles.

### **3.4 Población y muestra**

Se busca transmitir conocimiento y la importancia que conlleva conocer las características específicas de ensayos de prototipos de hélices de flujo axial, a partir de prototipos básicos de hélices, el cual permita identificar las características de cada prototipo mediante curvas características de cada ensayo realizado, teniendo en cuenta los diversos diseños dispuestos hasta la actualidad, se tendrán en cuenta los de mayor uso frecuente basados en prototipos basados en las leyes de semejanzas, para no alterar las cualidades de determinados diseños.

### **3.5 Sistema de variables**

Los sistemas de variables en el diseño y construcción del banco de prueba para para prototipo de hélice de flujo axial son: pérdidas en el túnel de agua y sus accesorios: así como codos y material para conocer la rugosidad y poder calcular el número de Reynolds, En la recirculación del fluido,

medida de la presión en los diferentes puntos de estudio, cálculo del caudal para que, con las dimensiones de la sección, calcular la velocidad en el punto seleccionado de estudio.

El sistema de variables más importante del banco es el caudal, presión, velocidad del fluido el cual la hélice va a manejar, por lo que se van a evaluar son prototipos del diseño de hélices, los datos obtenidos de cada prueba representaran una predicción estimada conforme a diseños a mayor o menor escala, por el método leyes de semejanza.

Para realizar un análisis de variables debo hacer una comparación de la propagación del error de los sensores de medición de la placa Arduino, cómo la ecuación que cada uno utiliza, y las señales analógicas con respecto al voltaje que llega a la placa para ser interpretado como una variable física hidráulica.

La calibración de los sensores es una forma de hacer un análisis de las variables, ya que debemos conocerlos ecuaciones de comportamiento lineal que maneja por ejemplo el sensor de presión para hacer una estimación exacta de la medida de las presiones en el punto 1 y 2.

De la medición de los sensores de Arduino debemos sacar dos o tres medidas para hacer una comparación entre ellas y calcular el grado de error y el patrón a utilizar para tener una medida más exacta, Debemos hacer un dato final a partir de un promedio.

### **3.6 Tratamiento de la información**

Después de haber investigado los antecedentes para el diseño y la fabricación del banco de prueba de prototipo de hélice de flujo axial, se realizará un bosquejo en un programa de diseño mecánico llamado SolidWorks, analizando las posibles fallas que podamos tener en la elaboración del diseño y posteriormente se llevará a cabo el ensamble del banco.



### **3.7 Técnica para la recolección de información**

Se usará el Internet y los libros que contienen la información del tema a tratar.

El estudio y análisis de hélices de flujo axial, no es algo nuevo a lo cual se esté desarrollando, por lo que una ventaja, para la consulta de información, en la actualidad el internet facilitad esta labor por la cantidad de información que se encuentran en documentos científicos, como también facilidad de deducción de información, ya que hacer esta labor en textos y libros físicos representaría una labor que se tomaría más tiempo en completar, pero lo que es importante que se debe complementar estos dos métodos de recolección de información.

**3.7.1 Técnica procesamiento de la información.** En la recolección de la información, se utilizará Google académico que nos facilitará trabajos de grado con antecedentes, libros que nos faciliten el diseño y cálculo con leyes físicas aplicadas. Recomendaciones de los profesores de ingeniería mecánica de la universidad francisco de paula Santander. Se dibujará en SolidWorks el bosquejo del banco para analizar posibles dificultades y nos facilite la construcción del banco.

## 4. Diseño

Para este diseño de banco de pruebas de prototipos de hélices de flujo axial, se tiene como referencia diseños dedicados a la medición de eficiencia y caracterización de hélices de flujo axial para diversos campos en la industria. En un banco de pruebas de hélices consiste en medir el flujo impulsado por la hélice y compararlo con la potencia de entrada, para construir la curva característica de la hélice y definir su punto de mayor eficiencia.

Por lo que en este diseño se busca una metodología que logre caracterizar gran parte de los diferentes modelos de hélices a nivel global, en el cual mediante un ducto de prueba se logre determinar datos que permitan construir la curva característica del trabajo de la hélice ya sea por medio de un flujo compresible como el aire o incompresible como el agua, en los que se busca medir una diferencia de presión y temperatura, como también medir el caudal directamente mediante sensores eléctricos para compararlo con la potencia de entrada, en donde se tiene en cuenta la potencia y RPM del motor que impulsa la hélice.

Para tomar datos se realiza mediante sensores eléctricos los cuales se procesan mediante una placa Arduino que emite los datos en una pantalla y podrán ser almacenados en una base de datos y poder utilizar la información que me permita caracterizar el trabajo de la hélice puesta en prueba.

### 4.1 Diámetro de la hélice

El tamaño del banco de prueba depende principalmente del diámetro de la hélice, debido a que se busca evaluar prototipos de hélices con infinidad de propósitos, y el diámetro depende principalmente de su utilidad, Conforme a esto se identifica una potencia a la cual debe trabajar para calcular el diámetro, por lo que el tamaño del banco de prueba difiere en tamaño de la hélice, para este proyecto se busca diseñar un banco de prueba que logre predecir el comportamiento del

prototipo de una hélice de flujo axial de modo didáctico educativo, por lo que el tamaño debe ser de tal modo logre concordar con las expectativas de construcción del mismo y logre cumplir el aspecto visual.

(Arbui Herranz & Caja Roca, 2015) Mediante la siguiente fórmula obtenemos un valor orientativo del diámetro:

$$D = \frac{15.75 * BHP^{0.2}}{RPM^{0.6}} \quad \text{EC 7}$$

Siendo

D: el diámetro en metros.

BHP: la potencia a MCR. = 60 W = 0,06 KW

RPM: las revoluciones por minuto del propulsor. = 3000 RPM

$$D = \frac{15.75 * 0,06 \text{ KW}^{0.2}}{3000 \text{ RPM}^{0.6}}$$

$$D = 0,075 \text{ m}$$

Para evitar cavitación se recomienda un diámetro 30% mayor al calculado, por lo que el diámetro máximo de la hélice es de 100 mm y el diámetro mínimo de 75 mm. (Arbui Herranz & Caja Roca, 2015).

#### **4.2 Diseño del ducto de prueba**

Sobredimensionamiento del ducto de prueba, por recomendación, la distancia mínima entre las puntas de la hélice y el ducto de trabajo, varía entre el 2% y 17% del diámetro de la hélice para

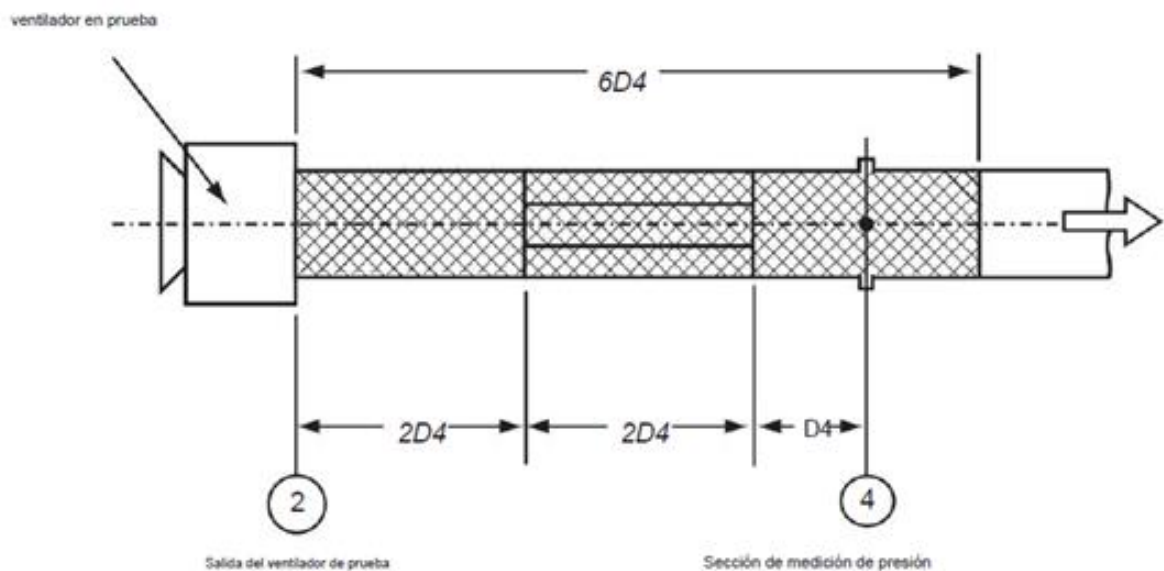
lograr impulsar directamente el flujo unidireccionalmente y captar la mayor eficiencia del trabajo de la hélice . (Wilson, 2005).

Se elige un 4% del diámetro de la hélice como factor de sobre dimensionamiento, el diámetro del ducto de prueba.

$$D_{DP} = (100 \text{ mm} * 0.04) + 100 \text{ mm} = 104 \text{ mm} \text{ EC } 8$$

### 4.3 Esquema del túnel del banco de prueba

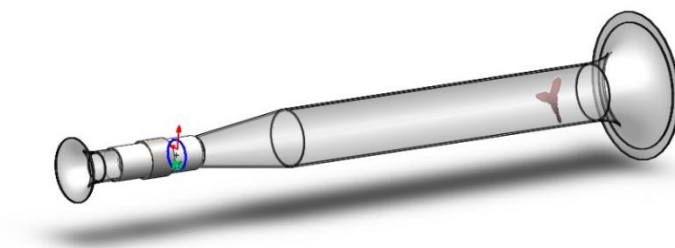
Para el diseño del túnel de prueba se tubo en cuenta la recomendación del diseño de la norma AMCA 210 - 16, como se muestra en la “figura 18 pieza común para salida del ventilador circular cuando  $D_2 = D_4$ ”



**Figura 5.** Esquema del ducto de prueba circular  $D_2 = D_4$

Fuente:tomado de (AMCA, 2016)

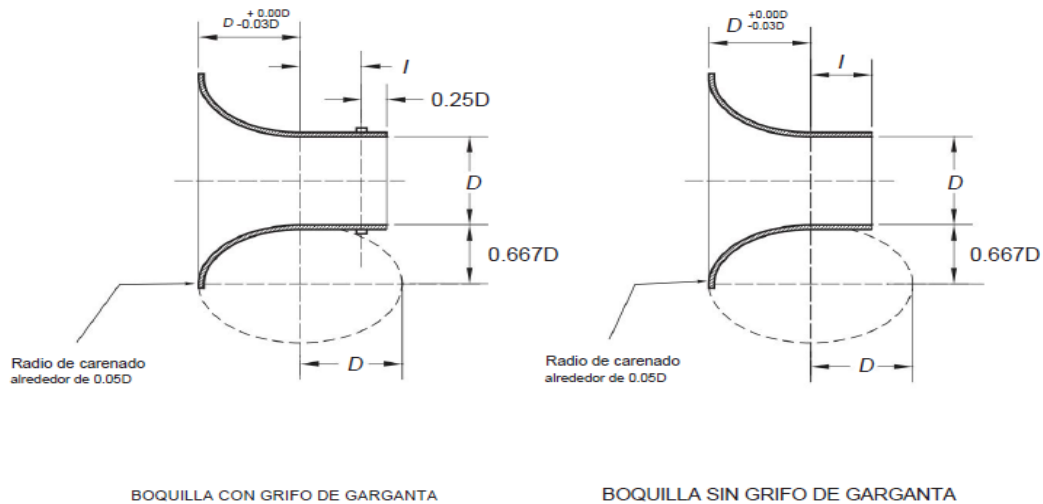
Par este el diseño del ducto de prueba sigue el mismo concepto, con la excepción de que se mide el caudal directamente al final del ducto, como muestra la figura 6



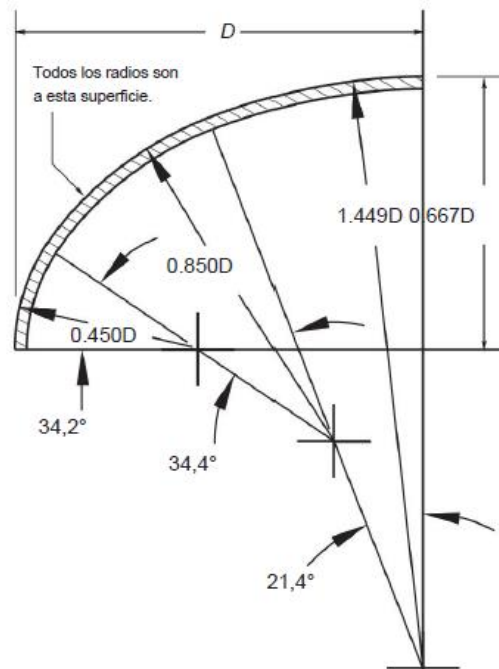
**Figura 6.** Esquema del ducto de prueba de prototipos de hélices de flujo axial

#### 4.4 Diseño de tobera de entrada, reducción y difusor

Diseño de tobera de entrada, bajo recomendación la recomendación de la norma de la AMCA 210 – 16, “figura 4A boquillas“.



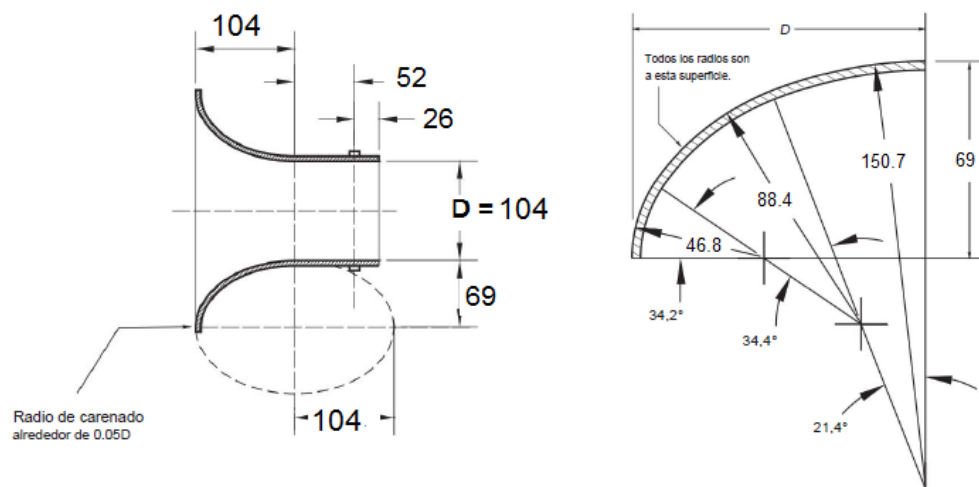
**Figura 7.** Boquillas



**Figura 8.** Aproximación en tres puntos del arco elíptico de la boquilla

Fuente: tomado de (AMCA, 2016)

Para la tobera de entrada del ducto se dimensiona de la siguiente forma.

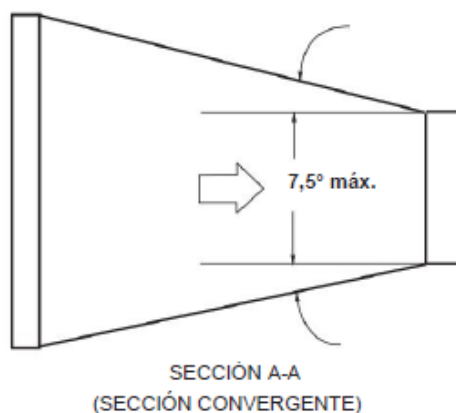


**Figura 9.** Dimensiones de la boquilla

Fuente: tomada de (AMCA, 2016)

#### 4.5 Diseño de la reducción

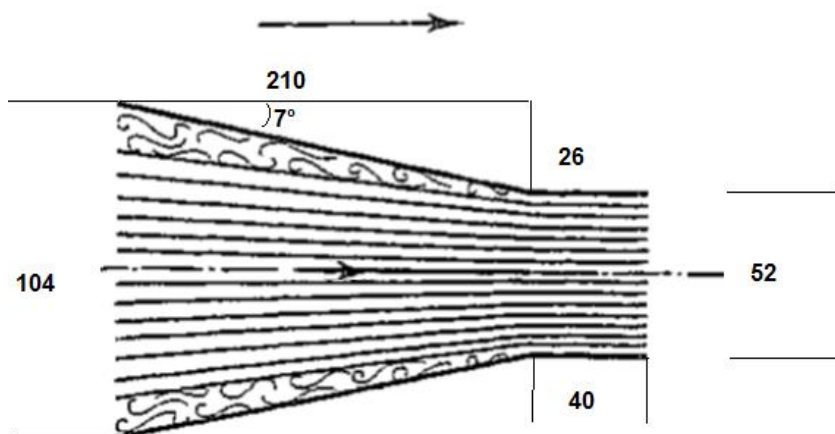
Por recomendación de la norma AMCA 210 – 16, se toma un ángulo de  $7^\circ$  para reducción de un ducto de 104 mm a uno de 56 mm, se calcula la longitud pieza reductora de flujo.



**Figura 10.** Pieza de transición para reducción de conductos

Fuente: tomado de (AMCA, 2016)

La figura 11 muestra las dimensiones en milímetros del reductor del ducto de prueba que conecta el sensor de caudal.

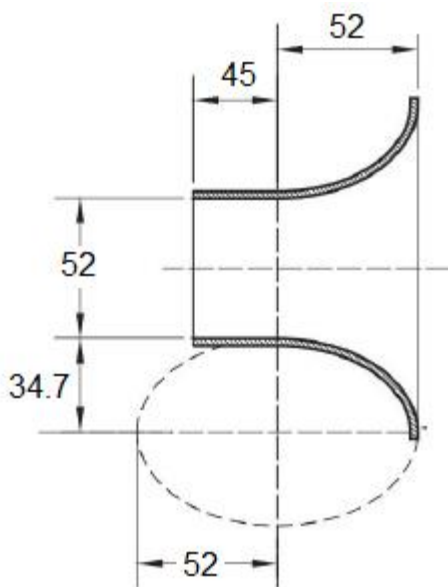


**Figura 11.** Reducción del conducto de prueba

Fuente: tomado de (AMCA, 2016)

#### 4.6 Difusor de salida del flujo al final del ducto de prueba

Como el fluido sale directamente a la zona de retorno se recomienda que el flujo salga como laminar, por lo que se utiliza el modelo de boquilla que se utiliza al inicio del ducto de prueba y las dimensiones de la boquilla difusora del flujo se encuentra en milímetros, como se representa en la figura 12



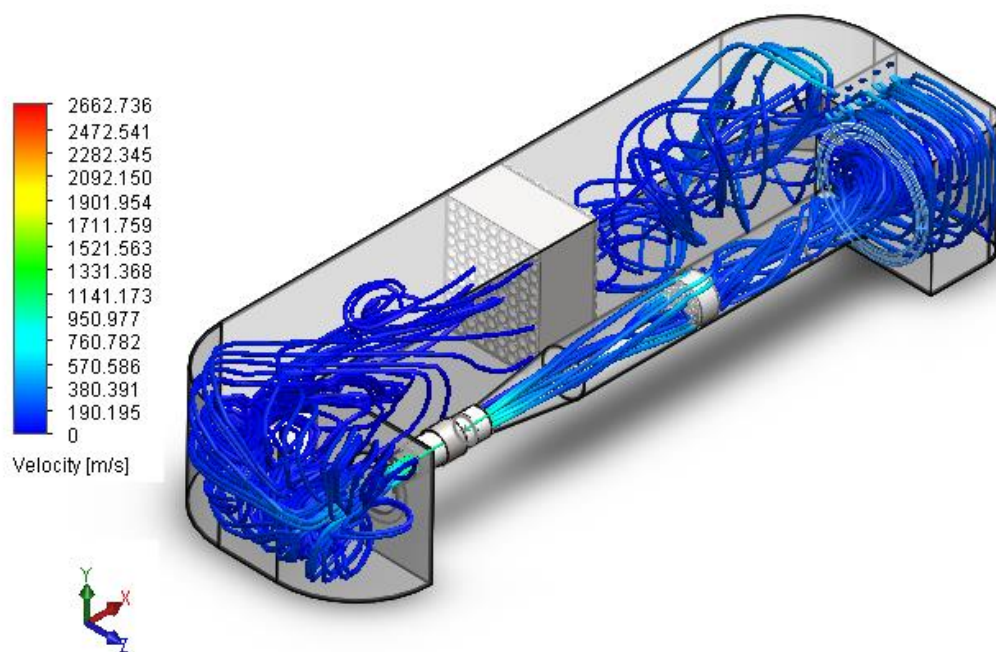
**Figura 12.** Dimensionamiento de la boquilla difusora del flujo al final del ducto de prueba

Fuente:tomada de (AMCA, 2016)



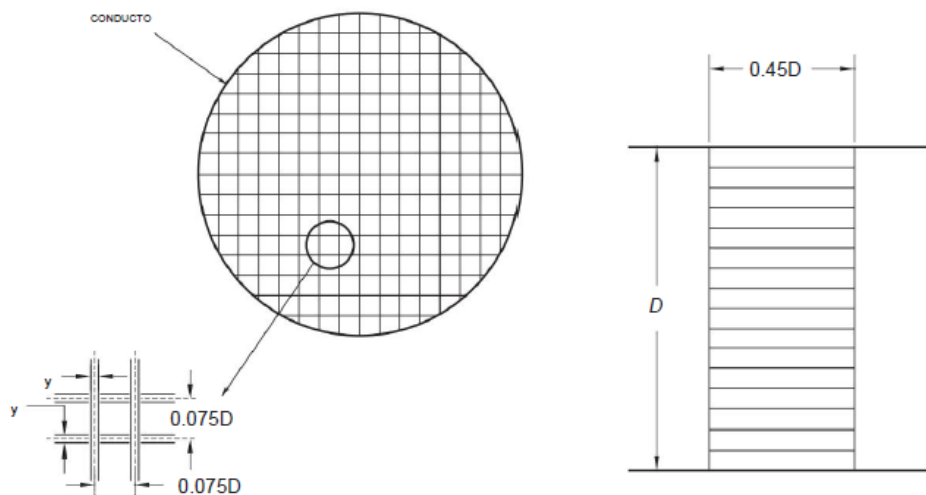
#### 4.7 Diseño del retorno del flujo, enderezadores de flujo.

**4.7.1 Retorno del flujo.** Por medio de la simulación de fluido del modelo del banco de prueba de prototipos hélices de flujo axial en SolidWorks, se concluye que el dimensionamiento del retorno del fluido debe tener tres veces el volumen de ducto de prueba.



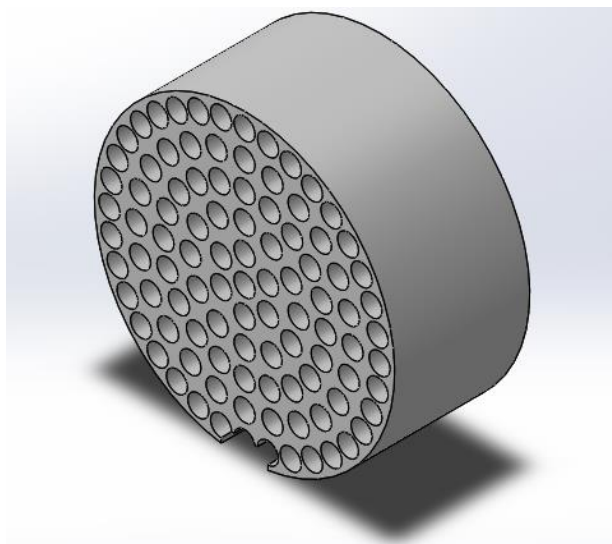
**Figura 13.** Simulación de fluido del banco de prueba de hélices de flujo axial

**4.7.2 Enderezadores de flujo.** Para el enderezador de flujo del ducto se realiza conforme al diámetro la zona de prueba



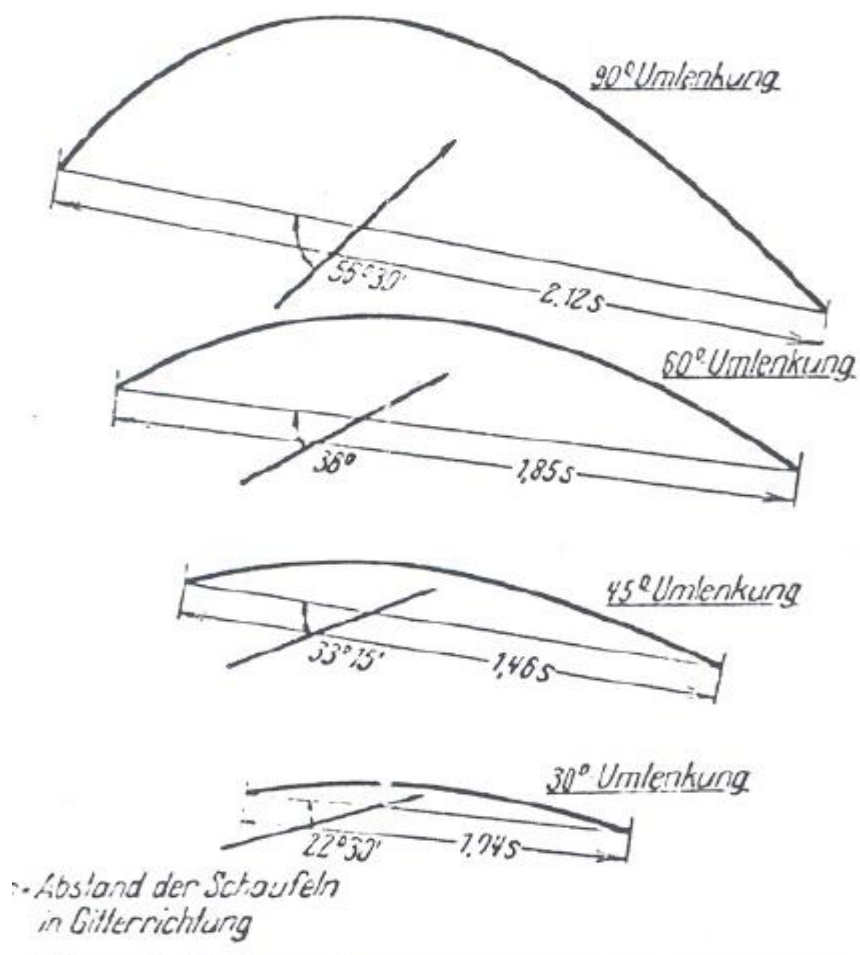
**Figura 14.** Enderezador de flujo tipo celda.

Fuente: tomada de (AMCA, 2016)



**Figura 15.** Enderezador de flujo del conducto de prueba.

**4.7.3 Direccionador de flujo en la zona de retorno de fluido.** Para el diseño de los alabes direccionador de flujo y el contorno curvo del retorno del fluido incomprensible a la zona de prueba, Se realiza en base a la recomendación. (agosto, 2004)



**Figura 16.** Angulo de recomendado de alabe direccionador de flujo de acuerdo al Angulo de direccionamiento.

Fuente: Tomado de (agosto, 2004, pág. 32)

En la siguiente figura se muestra el dimensionamiento de los direccionadores de flujo

#### 4.8 Diseño de acople de entrada de potencia y soporte de la hélice

4.8.1 Diseño del eje. Mediante la ecuación de energía de distorsión

$$d = \left[ \frac{16 n}{\pi S_Y} (4M^2 + 3T^2)^{\frac{1}{2}} \right]^{\frac{1}{3}} \quad \text{EC 9}$$

$n$  : factor de seguridad

$S_Y$  : limite elástico = 205 MPa

$T$  : Torque máximo =  $5 \cdot 10^{-3}$  Nm

$M$  : Momento máximo = 2.80 Nm



**Figura 17.** Diagrama de momento máximo

Fuente: Programa FrameDe-Sign

Factor de seguridad, se tomo de la recomendacion del libro (Hamrock, 2000, pág. 9), para calcular un factor de seguridad para el calculo del diametro del eje, mediante siguiente ecuacion 10.

$$n = n_{dx} * n_{dy} \text{ ec 10}$$

$n_{dx}$ : Factor de seguridad que involucra características A, B y C

$n_{dy}$ : Factor de seguridad que involucra características D y E

**Tabla 1.1** Características de factor de seguridad A, B y C.

Característica <sup>a</sup>		B =			
		mb	b	r	p
A = mb	C = mb	1.1	1.3	1.5	1.7
	C = b	1.2	1.45	1.7	1.95
	C = r	1.3	1.6	1.9	2.2
	C = p	1.4	1.75	2.1	2.45
A = b	C = mb	1.3	1.55	1.8	2.05
	C = b	1.45	1.75	2.05	2.35
	C = r	1.6	1.95	2.3	2.65
	C = p	1.75	2.15	2.55	2.95
A = r	C = mb	1.5	1.8	2.1	2.4
	C = b	1.7	2.05	2.4	2.75
	C = r	1.9	2.3	2.7	3.1
	C = p	2.1	2.55	3.0	3.45
A = p	C = mb	1.7	2.15	2.4	2.75
	C = b	1.95	2.35	2.75	3.15
	C = r	2.2	2.65	3.1	3.55
	C = p	2.45	2.95	3.45	3.95

<sup>a</sup> mb = muy bien, b = bien, r = regular y p = pobre.  
 A = calidad de los materiales, mano de obra, mantenimiento e inspección.  
 B = control sobre la carga aplicada a la parte.  
 C = exactitud del análisis de esfuerzos, de la información experimental o de la experiencia con partes similares.

**Tabla 1.2** Características del factor de seguridad D y E.

Característica <sup>a</sup>	D =		
	ns	s	ms
E =	ns	1.0	1.2
	s	1.0	1.3
	ms	1.2	1.4

<sup>a</sup> ms = muy serio, s = serio y ns = no serio.  
 D = peligro para el personal.  
 E = impacto económico.

**Figura 18.** Características para factor de seguridad

Fuente: (Hamrock, 2000, pág. 9)

$$n = 1.5 * 1.0 = 1.5$$

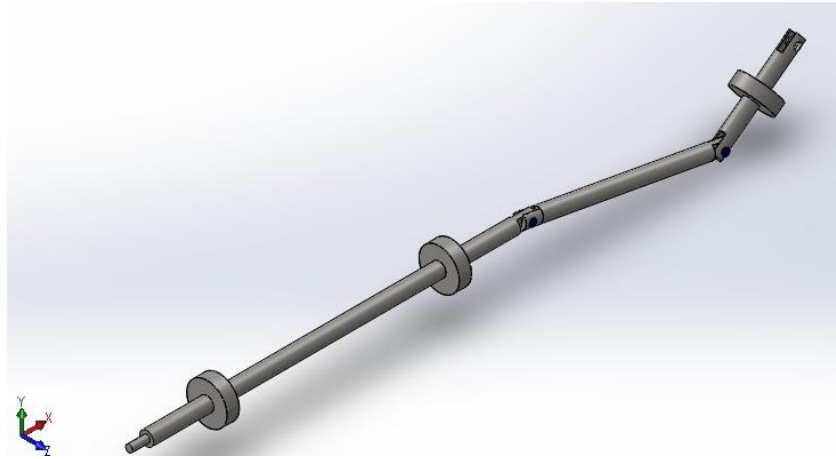
Se calcula el diametro del eje

$$d = \left[ \frac{16 * 1,5}{\pi * 205 * 10^6 Pa} (4 * 2.80 \text{ Nm}^2 + 3 * 5 * 10^{-3} \text{ Nm}^2)^{\frac{1}{2}} \right]^{\frac{1}{3}} = 0,0074 \text{ m}$$

Diámetro comercial 7,9 mm, el cual es el diámetro del eje

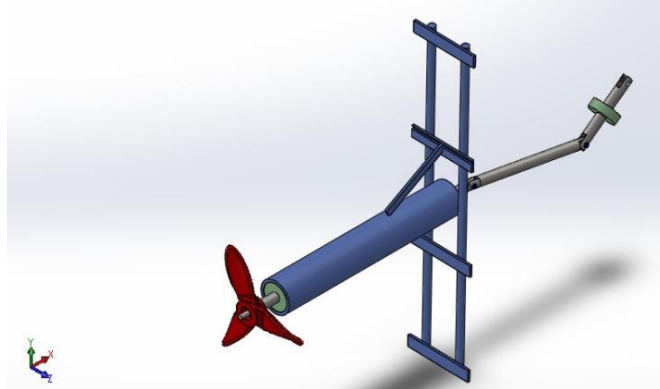
**4.8.2 Diseño de transmisión de potencia de la hélice.** Un sistema de potencia mecánica desde el motor hasta el eje del ventilador. Ejemplos de transmisiones son correas/poleas, acoplamientos y engranajes, en este caso se utiliza un sistema de acoplamientos, que permite conectar la potencia

del motor puesto en la parte exterior de la zona del retorno del flujo incomprensible hacia el eje de la hélice en la zona de prueba, también debe facilitar retirar el eje del soporte de la hélice para el cambio de otro modelo hélice a evaluar, identificar los puntos de apoyo del eje de modo que reduzca el mayor nivel vibración o fluencia del eje para evitar que el funcionamiento de la hélice las aspas impacten el ducto de prueba. Mediante el programa de SolidWorks se diseña el sistema de transmisión de potencia para identificar estos puntos en la figura 19.



**Figura 19.** Transmisión de potencia de la hélice

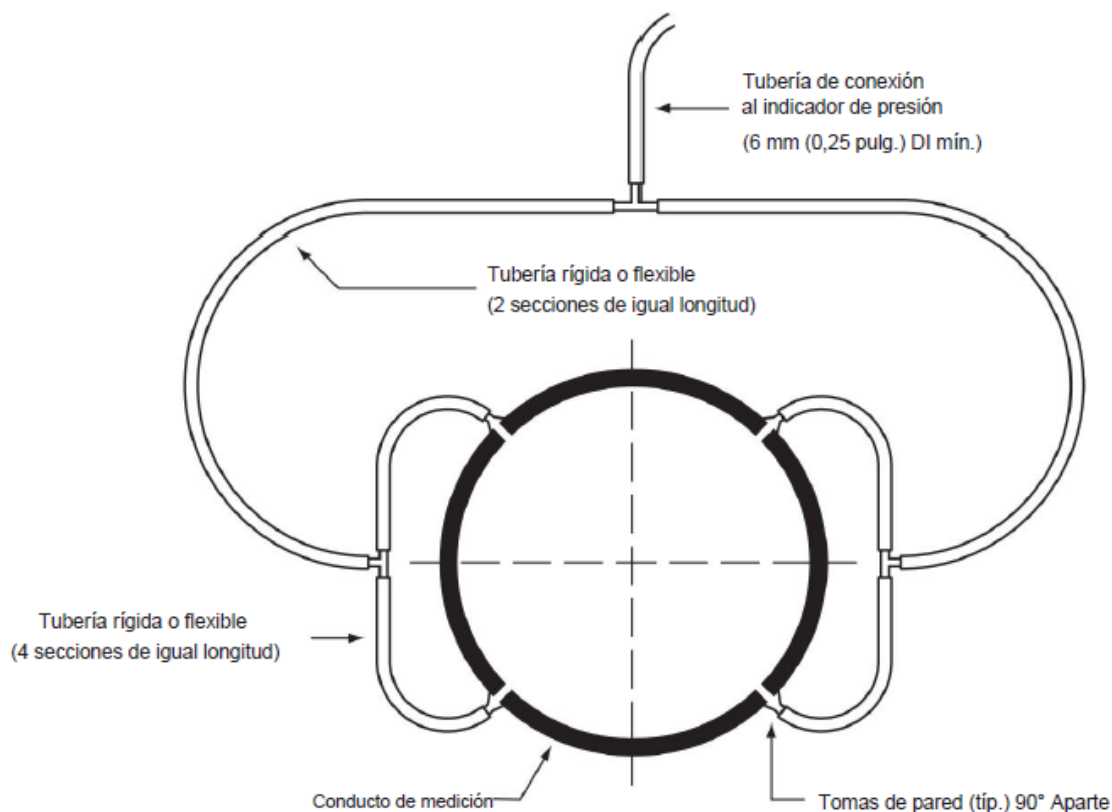
**4.8.3 Diseño estructura soporte de la hélice.** Se define un diseño de la estructura que logre dar mayor estabilidad al trabajo de la hélice dentro del ducto de prueba y evitar que haya impactos en la zona de prueba, como también facilitar el cambio de prototipo de hélice por otro modelo a evaluar, mediante el programa de SolidWorks se realiza el diseño, en la figura 20.



**Figura 20.** Diseño estructura soporte de la hélice

#### **4.9 Toma de datos (parte electrónica)**

**4.9.1 Medida de presión y temperatura.** Para los puntos de medición del punto uno y dos para la toma de datos de presión y temperatura, se tiene en cuenta la recomendación de la norma ANSI/AMCA 210-16, que, por medio de un anillo piezométrico, como lo muestra la figura 21



**Figura 21.** Colector de anillo de piezómetro.

Fuente: Tomado de (AMCA, 2016).

Se implementa sensores electrónicos para tomar datos de prueba de la hélice, como transductores de presión, que permita toma de datos de presión de flujo compresible e incompresible, sucesivamente los datos de temperatura de trabajo de la hélice se implementa el uso de sondas de temperatura que permita obtener datos en ambos tipos de flujo, estos puntos de medición se ubican en dos puntos recomendados por la norma AMCA 2016-10, el punto uno está ubicado a un diámetro antes del punto de trabajo de la hélice dentro del ducto de prueba, y el segundo punto de medición se ubica a seis diámetros posterior la punto de prueba.



**4.9.2 Medición de caudal.** Se utiliza un sensor de flujo de dos pulgadas efecto hall, para medir el caudal de flujo directamente en el ducto de prueba el cual se ubica posterior a la zona de medición presión y temperatura y se conecta mediante una reducción del ducto directamente al sensor, logrando medir la mayor cantidad de flujo sin perdidas posible que logre desarrollar la hélice durante la prueba.

**4.9.3 Potencia de entrada.** Para la medición de la potencia de entrada al trabajo de hélice mediante sensores electrónicos como sensor de velocidad que permite leer las RPM a las que está trabajando la hélice, sensor de corriente y voltaje para identificar con que potencia se impulsa la hélice.

**4.9.4 Toma de datos.** Mediante una placa Arduino se procesan los datos emitidos por los sensores, los cuales se pueden apreciar en una pantalla para caracterizar el funcionamiento de la hélice

## **5. Construcción Del Banco**

### **5.1 Proceso de construcción**

En el proceso de construcción del banco encontramos obstáculos que resolvieron a medida que se iba ensamblando el banco, una de las principales dificultades es que la ciudad de Cúcuta no está industrializada, el cual acceder a una buena maquina es escasa para poder mirar precios y que las cosas sean de calidad.

Por ejemplo, en la elaboración del cilindro de acrílico trasparente no tenemos la tecnología suficiente para la elaboración, así como también de la tobera, difusor y la reducción, para resolver estas dificultades construimos bancos que nos permitieran crear los moldes y posterior mente facilitarle al artesano la construcción de todas las figuras de acrílico. (recomendación)

### **5.2 Construcción del ducto de prueba, tobera, difusor, reducción**

Se elaboro moldes en yeso de acuerdo con el diseño realizo en el programa SolidWorks, el tallado y forma se hace en una maquina giratoria que se construye por necesidad de fabricar los moldes el cual se observa en la figura 22.



**Figura 22.** Proceso elaboración moldes en yeso.

La fabricación del ducto de prueba, tobera, difusor, reducción se contó con la ayuda de la empresa ACRIPLAS dedicada a la reparación de todo lo relacionado en acrílico ubicada en la calle 23 # 2-83 B. Ospina Pérez atalaya -Cúcuta.

### **5.3 Construcción del retorno**

Se hace en PVC de 2 mm de espesor, con forma de tanque con sus respectivas curvas y enderezadores de flujo, se pega con acrílico líquido y barra de silicona para evitar fugas de agua.

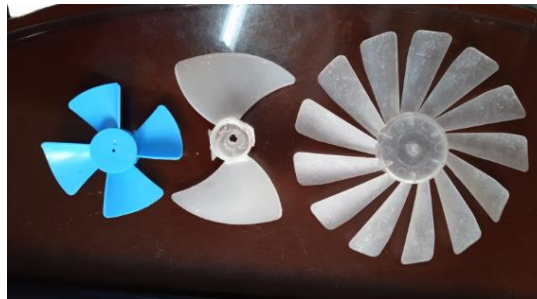
El PVC se somete a temperatura para poder moldearlo y hacer (SANTIAGO, 2008) la forma a las curvas y sea más fácil de realizarlo. En la figura 23 se aprecia como va quedando el retorno.



**Figura 23.** Retorno del fluido en PVC

#### **5.4 Construcción de la hélice de flujo axial**

La hélice de flujo axial está diseñada en el programa SolidWorks, quedo construida en máquina de 3D. el cual el material es en plástico ABS y el PLA.



**Figura 24.** Hélices de flujo axial

### 5.5 Construcción de la transmisión que impulsa la hélice y su respectivo balanceo

El eje está diseñado a carga estática, con un diámetro de  $D=7$  mm, Se compro en acero inoxidable con un diámetro que se ajuste a un valor comercial de  $D=5/16$  pulgadas. El balanceo de la hélice se logró con la elaboración de una estructura metálica antes de la entrada de fluido, Con la ayuda de círculos en PVC y una barra cilíndrica hueca de acero inoxidable se balancea la hélice dentro del cilindro de acrílico, se está evitando que las vibraciones del motor produzcan que choquen las palas de la hélice con las paredes del cilindro y se produzca un daño en el banco de prueba.



**Figura 25.** Construcción y balanceo del eje de la hélice

### 5.6 Construcción de la mesa

Se cuenta con equipo de soldadura, gracias a los conocimientos adquiridos en la carrera, Se hace fácil la construcción de la mesa donde reposa el banco, se está realizando en material perfil

de hierro, el cual se corta, suelda y pinta, y se instala 4 rodachines para su fácil desplazamiento.

En la figura 6 está la evidencia de la realización de la mesa.



**Figura 26.** Elaboración mesa del banco

### **5.7 Ensamble de la parte electrónica**

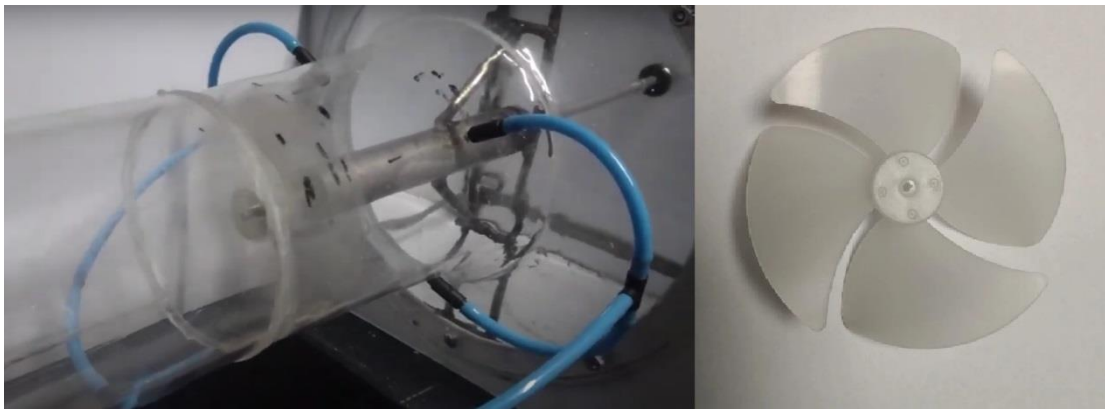
Para la toma de datos del banco de prueba se instaló la tarjeta Arduino Mega 2560, sonda sensor digital de temperatura Ds18b20 Impermeable, medidor de caudal control 10-200L/min, transductor de presión para presión de (300 PSI), HTI Generador 12v @ 12,000 Rpm -30 W nominal – 60 W De potencia De Pico- Motor Viento, módulo de control de velocidad ajustable PWN para motores DC, Modulo foto interruptor infrarrojo tipo herradura, Pantalla LCD TOUCH, sensor corriente voltaje Gy-471 3a Max471 precisión Arduino.

Se realizó un curso de Arduino en la oficina de las TIC de la alcaldía de Cúcuta en los Smart place de la ciudad, en cual tiene intensidad de 48 horas, el cual se aprendió a instalar las partes electrónicas del banco y su respectiva programación.

## 6. Pruebas

### 6.1 Toma de datos

Durante la realización de la prueba se toman datos de modo manual y se tabulan los datos en una hoja de cálculo Excel, para un mejor análisis de la información, para tener mayor certeza, se toman 5 ciclos de datos de cada variación, para reducir el valor de incertidumbre, en esta prueba se emplea una hélice de uso común en ventilación de hornos microondas, por lo cual tiene un diámetro de 10 cm y su diseño es semejante con otro tipo de hélices de ventilación como por ejemplo la hélice de la unidad de aire acondicionado. Como se muestra en la siguiente figura 27.



**Figura 27.** Prueba y hélice empleada durante la prueba.

### 6.2 Elementos De Medición

Instrumentos de medición Arduino para la toma de datos en la zona de prueba del banco

**Tabla 1.** Elementos de medicion

Instrumento	variable	unidad	precisión
Sonda sensor digital de temperatura	Temperatura	°C	+/- 0.5 °C
Sensor medidor de caudal	caudal	Litros/min	Agua 1.75 MPa debajo
Transductor de presión	presión	N/m <sup>2</sup>	+/- -0.5 % FS
Sensor corriente y voltaje	corriente, voltaje	Amperios, voltaje	+/- 3A, 3 a 36 v
Modulo foto interruptor	Velocidad angular	RPM	

### 6.3 Tabla de datos

**Tabla 2.** Datos recopilados

Amperios	Voltios	Watt	RPM	P <sub>1</sub> (Pa)	T <sub>1</sub> (°C)	P <sub>2</sub> (Pa)	T <sub>2</sub> (°C)	Q (L/min)
2,5	1,2	3	1200	0	28.2	0,000357093	2.2	12
2,5	1,3	3,25	1300	0	28.1	0,000357093	2.3	12
2,5	1,2	3	1200	0	28.4	0,000357093	2.4	12
2,5	1,2	3	1200	0	28,1	0,000357093	2.5	12



2,5	1,2	3	1200	0	28	0,000357093	2.6	12
2,9	1,8	5,22	1800	0	27.7	0,000716667	2.7	17
3	1,9	5,7	1900	0	27.5	0,000716667	2.8	17
3	1,8	5,4	1800	0	27.8	0,000716667	2.9	17
3	1,81	5,43	1810	0	28	0,000716667	2.10	17
3,1	1,82	5,642	1820	0	28	0,000716667	2.11	17
3,5	2,3	8,05	2300	0	28.2	0,00080346	2.12	18
3,49	2,34	8,1666	2340	0	28.3	0,00080346	2.13	18
3,5	2,3	8,05	2300	0	28.5	0,00080346	2.14	18
3,5	2,36	8,26	2360	0	28.2	0,00080346	2.15	18
3,48	2,27	7,8996	2270	0	27.7	0,00080346	2.16	18
4	2,8	11,2	2800	0	28.32	0,000895213	2.17	19
4	2,9	11,6	2900	0	28	0,000895213	2.18	19
4	2,81	11,24	2810	0	28	0,000895213	2.19	19
4	2,81	11,24	2810	0	28.1	0,000895213	2.20	19
4	2,8	11,2	2800	0	27.7	0,000895213	2.21	19
4,4	3,4	14,96	3400	0	27.8	0,001093599	2.22	21
4,5	3,45	15,525	3450	0	27.9	0,001093599	2.23	21
4,6	3,38	15,548	3380	0	27.40	0,001093599	2.24	21
4,5	3,4	15,3	3400	0	27.21	0,001093599	2.25	21
4,5	3,4	15,3	3400	0	27.32	0,001093599	2.26	21
5	3,9	19,5	3900	0	27.33	0,001200231	29.9	22
5	4	20	4000	0	27.54	0,001200231	29.10	22

5	4	20	4000	0	27.75	0,001200231	29.11	22
5	4	20	4000	0	27.96	0,001200231	29.10	22
5	4	20	4000	0	28.17	0,001200231	29.13	22

## 6.4 Cálculos

**6.4.1 Caudal.** Durante la toma de la prueba, el sensor de flujo emite datos en litros por minuto (L/min), para el proceso de datos se realiza la conversión de unidades de los valores de caudal obtenidos mediante la siguiente ecuación 10.

$$Q_{m^3/s} = Q_{L/min} * \frac{1 m^3}{1000 L} * \frac{1 min}{60 s} \quad \text{EC 11}$$

**6.4.2 Presión.** La presión diferencial entre dos puntos se mide con un indicador, con un transductor de presión conectado a una placa Arduino Omega. Con 4 puntos que van conectados a 45° del perímetro del ducto, asimismo estos conectados a un mismo sensor de presión total. (AMCA, 2016, pág. 8).

**6.4.3 Presión total del ventilador.** La presión total del ventilador (Pt) en condiciones de prueba para incompresible El caudal disponible se calculará a partir de: (AMCA, 2016)

$$P_t = P_{t2} - P_{t1} \quad \text{EC 12}$$

Esta es una expresión algebraica de modo que, si Pt1 es negativo, Pt será numéricamente mayor que Pt2.

**6.4.4 Presión estática del ventilador en condiciones de prueba.** La presión estática del ventilador ( $P_s$ ) en condiciones de prueba para flujo incomprensible se calculará a partir de: (AMCA, 2016)

$$P_s = P_t - P_v \quad \text{EC 13}$$

**6.4.5 Motor Calibrado.** Cuando se utiliza un motor eléctrico calibrado para medir la potencia de entrada, la potencia de entrada del ventilador ( $H_i$ ) se puede calcular a partir de la potencia de entrada ( $W_{em}$ ) al motor y la eficiencia del motor ( $\eta_m$ ) usando: (AMCA, 2016)

$$H_i = Pot_{em} * \eta_m \quad \text{EC 14}$$

$H_i$ : Potencia de entrada

$Pot_{em}$ : Potencia eléctrica del motor.

$\eta_m$ : Eficiencia del motor

**6.4.6 Potencia de entrada del ventilador.** Cuando se notifique la potencia de entrada mecánica, la potencia se determinará a partir de la velocidad de rotación o la potencia de entrada eléctrica medida en un motor calibrado. Cuando se notifique la potencia eléctrica de entrada, la potencia se determinará a partir de la medición de la potencia activa o real mediante un contador eléctrico. (AMCA, 2016).

**6.4.7 Número de Reynolds.** El número de Reynolds ( $Re$ ) basado en el diámetro de salida de la boquilla ( $D_6$ ) en metros, se calculará a partir de: (AMCA, 2016)

$$Re = \frac{D_2 * V_2 * \rho_2}{\rho} \quad \text{EC 15}$$

$Re$ : Numero de Reynolds

$D_2$ : Diámetro en el punto 2

$V_2$ : Velocidad en el punto 2

$\rho_2$ : Densidad del agua en el punto 2

$\rho$ : Densidad del agua

#### 6.4.8 Eficiencia De La Hélice

**6.4.8.1 Potencia de salida del ventilador.** La potencia de salida del ventilador ( $H_0$ ) sería proporcional al producto del caudal de aire del ventilador ( $Q$ ) y la presión total del ventilador ( $P_t$ ) si el aire fuera incompresible. Dado que el aire es comprimible, los efectos termodinámicos influyen en la salida y se debe aplicar un coeficiente de compresibilidad ( $K_p$ ) para que la salida de potencia sea proporcional a ( $Q * P_t$ ). (AMCA, 2016, pág. 20).

$$H_0 = Q * P_t * K_p \quad \text{EC 16}$$

$H_0$ : potencia de salida del ventilador

$Q$ : Caudal

$P_t$ : potencia total

$K_p$ : factor de compresibilidad

**6.4.8.2 Factor de compresibilidad.** El coeficiente de compresibilidad ( $K_p$ ) se determina a partir de: (AMCA, 2016)

$$X = \frac{P_t}{P_{t1} + P_b} \quad \text{EC 17 Tomada de (AMCA, 2016)}$$

X=Función utilizada para determinar  $K_p$

$P_b$ =Presión barométrica corregida

$P_{t1}$ : presión total de la hélice

**6.4.8.3 Función utilizada para determinar  $K_p$**

$$Z = \left( \frac{Y-1}{Y} \right) * \left( \frac{\frac{H_1}{Q}}{P_{t1} + P_b} \right) \quad \text{EC 18 tomada de (AMCA, 2016)}$$

Y=Relación de calores específicos

$H_1$ =Potencia de entrada de la hélice

$P_b$ =Presión barométrica corregida

$P_{t1}$ : presión total de la hélice

Q: caudal

$$K_p = \left( \frac{\ln(1+x)}{x} \right) \left( \frac{z}{\ln(1+z)} \right) \quad \text{EC 19 tomada de (AMCA, 2016)}$$

**6.4.8.4 Eficiencia total de la hélice.** La eficiencia total del ventilador ( $\eta_t$ ) es la relación de la salida del ventilador alimentación a la alimentación de entrada del ventilador, o: (AMCA, 2016, pág. 21)

$$\eta_t = \left( \frac{Q * P_t * K_p}{H_i} \right) \text{ EC 20 tomada de (AMCA, 2016, pág. 21)}$$

$\eta_t$ : eficiencia total

$P_t$ : presión total

$K_p$ : factor de compresibilidad

$H_i$ : potencia de entrada

**6.4.8.5 Eficiencia estática del ventilador.** La eficiencia estática del ventilador ( $\eta_s$ ) se puede calcular a partir de la eficiencia total del ventilador ( $\eta_t$ ) y la relación de la presión estática del ventilador ( $P_s$ ) a la presión total del ventilador ( $P_t$ ) usando:

$$\eta_s = \eta_t * \left( \frac{P_s}{P_t} \right) \text{ EC 21 tomada de (AMCA, 2016, pág. 21)}$$

$\eta_s$ : eficiencia estática del ventilador

$\eta_t$ : eficiencia total del ventilador

$P_s$ : presión estática

$P_t$ : presión total

## 6.5 Datos calculados

**Tabla 3.** Datos calculados

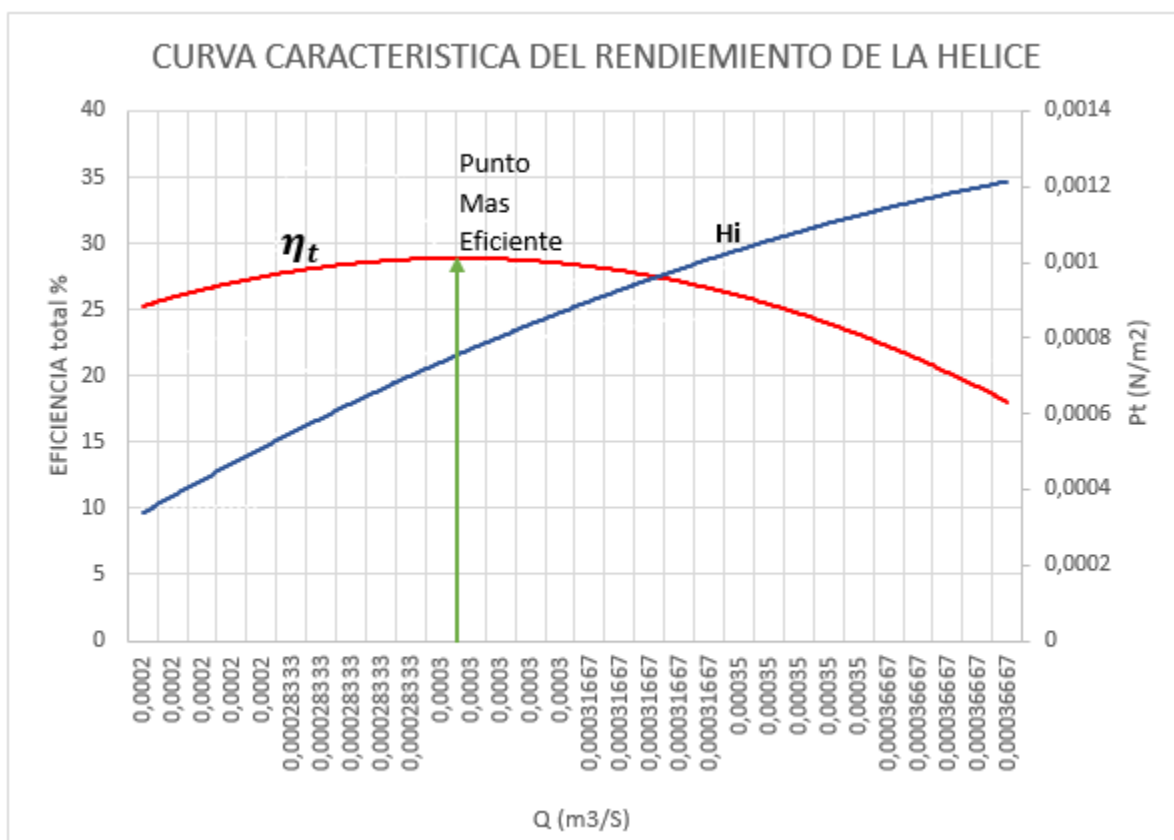
$Q$ ( $m^3/s$ )	$P_t$ ( $N/m^2$ )	$H_i$ (w)	$P_v$ ( $N/m^2$ )	$P_s$ ( $N/m^2$ )	<b>X</b>	<b>Z</b>	$K_p$	$\eta_t$	$\eta_s$
0,0002	0,00035709	0,31416	0,00027707	$8,003 * 10^{-5}$	$3,54 * 10^{-9}$	0,0044	1,002	22,8	5,11
0,0002	0,00035709	0,34034	0,00027707	$8,0027 * 10^{-5}$	$3,54 * 10^{-9}$	0,0048	1,002	21,0	4,71

0,0002	0,00035709	0,31416	0,00027707	$8,0027 \cdot 10^{-5}$	$3,54 \cdot 10^{-9}$	0,0044	1,002	22,8	5,11
0,0002	0,00035709	0,31416	0,00027707	$8,0027 \cdot 10^{-5}$	$3,54 \cdot 10^{-9}$	0,0044	1,002	22,8	5,11
0,0002	0,00035709	0,31416	0,00027707	$8,002 \cdot 10^{-5}$	$3,54 \cdot 10^{-9}$	0,0044	1,002	22,8	5,11
0,00028333	0,00071667	0,5466384	0,00055606	0,000160611	$7,10 \cdot 10^{-9}$	0,0055	1,003	37,2	8,35
0,00028333	0,00071667	0,596904	0,00055606	0,000160611	$7,10 \cdot 10^{-9}$	0,0060	1,003	34,1	7,65
0,00028333	0,00071667	0,565488	0,00055606	0,000160611	$7,10 \cdot 10^{-9}$	0,0056	1,003	36,0	8,07
0,00028333	0,00071667	0,5686296	0,00055606	0,000160611	$7,10 \cdot 10^{-9}$	0,0057	1,003	35,8	8,03
0,00028333	0,00071667	0,59083024	0,00055606	0,000160611	$7,10 \cdot 10^{-9}$	0,0059	1,003	34,5	7,72
0,0003	0,00080346	0,842996	0,0006234	0,000180062	$7,96 \cdot 10^{-9}$	0,0079	1,004	28,7	6,43
0,0003	0,00080346	0,85520635	0,0006234	0,000180062	$7,96 \cdot 10^{-9}$	0,0081	1,004	28,3	6,34
0,0003	0,00080346	0,842996	0,0006234	0,000180062	$7,96 \cdot 10^{-9}$	0,0079	1,004	28,7	6,43
0,0003	0,00080346	0,8649872	0,0006234	0,000180062	$7,96 \cdot 10^{-9}$	0,0082	1,004	28,0	6,27
0,0003	0,00080346	0,82724611	0,0006234	0,000180062	$7,96 \cdot 10^{-9}$	0,0078	1,004	29,3	6,56
0,00031667	0,00089521	1,172864	0,00069459	0,000200625	$7,96 \cdot 10^{-9}$	0,0105	1,005	24,3	5,45
0,00031667	0,00089521	1,214752	0,00069459	0,000200625	$8,86 \cdot 10^{-9}$	0,0109	1,005	23,5	5,26
0,00031667	0,00089521	1,1770528	0,00069459	0,000200625	$8,86 \cdot 10^{-9}$	0,0105	1,005	24,2	5,43
0,00031667	0,00089521	1,1770528	0,00069459	0,000200625	$8,86 \cdot 10^{-9}$	0,0105	1,005	24,2	5,43
0,00031667	0,00089521	1,172864	0,00069459	0,000200625	$8,86 \cdot 10^{-9}$	0,0105	1,005	24,3	5,45
0,00035	0,0010936	1,5666112	0,00084851	0,000245085	$1,08 \cdot 10^{-8}$	0,0127	1,006	24,6	5,51
0,00035	0,0010936	1,625778	0,00084851	0,000245085	$1,08 \cdot 10^{-8}$	0,0131	1,007	23,7	5,31
0,00035	0,0010936	1,62818656	0,00084851	0,000245085	$1,08 \cdot 10^{-8}$	0,0132	1,007	23,7	5,30
0,00035	0,0010936	1,602216	0,00084851	0,000245085	$1,08 \cdot 10^{-8}$	0,0129	1,006	24,0	5,39
0,00035	0,0010936	1,602216	0,00084851	0,000245085	$1,08 \cdot 10^{-8}$	0,0129	1,006	24,0	5,39
0,00036667	0,00120023	2,04204	0,00093125	0,000268982	$1,19 \cdot 10^{-8}$	0,0158	1,008	21,7	4,87
0,00036667	0,00120023	2,0944	0,00093125	0,000268982	$1,19 \cdot 10^{-8}$	0,0162	1,008	21,2	4,75

0,00036667	0,00120023	2,0944	0,00093125	0,000268982	$1,19 \cdot 10^{-8}$	0,0162	1,008	21,2	4,75
0,00036667	0,00120023	2,0944	0,00093125	0,000268982	$1,19 \cdot 10^{-8}$	0,0162	1,008	21,2	4,75
0,00036667	0,00120023	2,0944	0,00093125	0,000268982	$1,19 \cdot 10^{-8}$	0,0162	1,008	21,2	4,75

## 6.6 Grafica

Mediante los datos calculados se elabora la grafica para mejor conclusion de la prueba del prototipo e identificar su punto de mayor eficiencia, de acuerdo a la grafica la helice tiene un punto de mayor eficiencia cuando la helice trabaja alrededor de las 3000 RPM con una una eficiencia total del 28%.



**Figura 28.** Grafica de eficiencia de la hélice



## 7. Marco administrativo

### 7.1 Personas que participan en el proceso

**Tabla 4.** Participantes del proceso

<b>ESTUDIANTES</b>	<b>ENRIQUE BAQUERO JORGE SEPULVEDA PÁRADA</b>	<b>PACHECO GEOVANNI</b>
<b>DIRECTOR DE PROYECTO</b>	<b>ING.PEDRO ANTONIO PEREZ ANAYA</b>	

### 7.2 Cronograma de trabajo

**Tabla 5.** Cronograma de actividades

actividades	Junio				julio				Agosto				septiembre				octubre			
	n° de semanas				n° de semanas				n° de semanas				n° de semanas				n° de semanas			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
<b>Observación de problema</b>	*	*	*	*	*	*	*													
<b>Planteamiento de la pregunta</b>								*	*	*	*	*	*							

<b>Objetivos del proyecto</b>															*	*	*	*	*	*	*	*
-------------------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	---	---	---	---	---	---	---	---

<b>actividades</b>	<b>noviembre</b>				<b>diciembre</b>				<b>enero</b>				<b>febrero</b>				<b>marzo</b>			
	<b>n° de semanas</b>				<b>n° de semanas</b>				<b>n° de semanas</b>				<b>n° de semanas</b>				<b>n° de semanas</b>			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
<b>Justificación y alcances</b>	*	*	*	*	*	*	*													
<b>Búsqueda de antecedentes</b>								*	*	*	*	*	*	*						
<b>Búsqueda de bases teóricas contextuales y legales</b>															*	*	*	*	*	*

<b>Actividades</b>	<b>Abril</b>				<b>Mayo</b>				<b>junio</b>			
	<b>n° de semanas</b>				<b>n° de semanas</b>				<b>n° de semanas</b>			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
<b>Metodología y tipo de investigación</b>	*	*	*	*	*	*	*					

<b>Socialización de la propuesta</b>									*	*	*	*	*
--------------------------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	---	---	---	---	---

### 7.3 Presupuesto para la investigación

**Tabla 6.** Recursos humanos

<b>Recursos humanos</b>	Enrique pacheco Baquero Jorge Geovanny Sepúlveda parada	Se aplicaron los conocimientos adquiridos durante el proceso de formación
	Ing. pedro Pérez Anaya Prof. Omar Oswaldo Bernal	Asesoría para el desarrollo de la investigación

**Tabla 7.** Recursos Institucionales

<b>Recursos institucionales</b>	Universidad francisco de paula Santander	Lugar de formación
<b>Recursos financieros</b>		propios

**Tabla 8.** Presupuesto

<b>Recursos</b>	<b>cantidad</b>	<b>Valor unitario</b>	<b>Valor total</b>
<b>Internet</b>	2	57 900 \$	115 800 \$
<b>Llamadas en celular</b>	250 min	256 \$	51 200 \$
<b>Internet móvil</b>	2	30 000 \$	60 000 \$
<b>Computador portátil</b>	1	675 000 \$	675 000 \$
<b>Cotización diseño</b>	870	5 000 \$	2 350 000 \$
<b>Fotocopias</b>	95	200 \$	19 000 \$
<b>Transporte</b>	288	1 600 \$	460 800 \$
<b>Refrigerio</b>	24	5 000 \$	120 000 \$
<b>Block de apuntes</b>	5	3 000 \$	15 000 \$
<b>Lapiceros</b>	7	1 000 \$	7 000 \$
<b>Cotización de materiales tunes de agua</b>	12 lamina	60 000 \$	720 000 \$
<b>Implementos electrónicos</b>	25	-	1 200 000 \$
<b>Estructura de mesa de soporte</b>	1	400 000 \$	400 000 \$
<b>Costo total</b>			6 193 800 \$

## 8. Conclusiones

El banco de prueba de hélices de flujo axial se diseñó y construyó con el objetivo de identificar la hélice en su punto de mejor eficiencia de funcionamiento.

Se pudo caracterizar la eficiencia de una hélice de uso común en aparatos domésticos como hornos microondas, aires acondicionados, ya que la hélice tiene el mismo diámetro del banco construido.

Los enderezadores de flujo permitieron que el fluido tenga un comportamiento laminar, por lo que si no se hubieran instalado afectaría la eficiencia en la toma de datos de la prueba del prototipo de hélice y produciría rebose de fluido alrededor del banco.

Las citas de la norma AMCA, permitieron diseñar el ducto de prueba, cabe decir que la norma funciona para flujos compresibles, se diseñó el ducto para que funcione con flujos compresibles e incompresibles.

El proceso de diseño y construcción permitieron poner en práctica gran parte de los conocimientos adquiridos en la universidad Francisco de Paula Santander para llevar a cabo este proyecto.

## 9. Recomendaciones

Los diseños propuestos del banco varían en parámetros de plano de medida respecto a la construcción, debido a que de que diseñar no es lo mismo que construir.

Los materiales utilizados en el soporte de las hélices y su respectivo eje, permiten cambiar el tipo de hélice para ser caracterizada. Más soporte y evitar el mayor número de vibraciones.

Se puede calcular la presión total del ducto de dos maneras, la primera es solo utilizando el caudalímetro sin necesidad de los sensores de presión, la segunda forma eliminando el caudalímetro y tomando datos solo de los sensores de presión.

La eficiencia la hélice se puede calcular como la diferencia de la potencia hidráulica y la potencia motor.

La construcción del banco se adecuo al diseño propuesto, a pesar de los inconvenientes de manufactura de la región de Cúcuta, Norte de Santander.

En el momento de calibrar los sensores no se contó con un osciloscopio para calibrar la emisión de datos de cada sensor, ya que cada uno diferente tiempo de emisión de información del sensor, por lo que se debe tener en cuenta la toma de datos que emite la pantalla.

## 10. Referencias bibliográficas


- AMCA, A. M. (2016). Métodos de prueba de laboratorio Ventiladores para Aerodinámica Certificada Clasificación de Rendimiento. EEUU: amca international & ashrae.
- Andrés, O. H. (2018). Diseño y construcción de Banco de pruebas para hélices. Bogotá DC: Universidad de los Andes.
- Arbui Herranz, G., & Caja Roca, G. (2015). Proyecto de diseño preliminar de un yate de 40 metros de eslora. Barcelona: Facultat de nautica de barcelona universitat politecnica de catalunya.
- Augusto, C. M. (2004). Diseño de un Banco de Pruebas a Escala para Hélices. Bogotá, DC: Universidad de los Andes.
- Barahona, A. C. (2015). Repotenciación del banco de pruebas de la turbina hélice de eje horizontal del laboratorio de turbomaquinaria hidráulica de la facultad de mecánica. Riobamba – Ecuador: escuela superior politécnica de chimborazo.
- Calderon Martinez, G. A. (2004). Diseño de un Banco De Pruebas de hélices. Bogotá: Universidad de Univerdad.
- Fernando, Z. C. (2017). Simulación hidrodinámica de una Turbina tipo. medellin.
- Guevara IHL, J. E. (2019). Diseño y construcción de banco de. Santiago De Chile: universidad de Chile facultad de ciencias físicas y matemáticas departamento de ingeniería mecánica.
- Hamrock, B. J. (2000). Elementos de Maquinas. Mexico: McGRAW-HILL.
- Ignacio, C. M. (2017). Modelo de detección de fallas y faltas para sistema neumático. Chile: universidad de Chile.

- Ignacio, d. I. (2011). Nuevo sistema de propulsión naval. Iruja: Euskal Herriko Unibertsitateko Argitalpen Zerbitzua.
- Iván, O. B. (2011). Diseño y construcción de un prototipo de turbina eólica de eje vertical para generación a baja potencia. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.
- Juan, I. B. (2019). Meteorología descriptiva. Santiago Chile: Agencia Chilena ISBN.
- Marcelino, t. j. (1856). La Marina. Revista científica, militar, administrativa, histórica, literaria, política y de comercio, 418.
- Maria, E. I. (2003). Manual de energía eólica. Madrid: Mundi-Prensa, Madrid.
- PEDRO, O. U. (2018). Desarrollo de banco de pruebas. Envigado: Universidad EIA.
- Pedroza, G. E. (2018). Hidráulica Básica. Jiutepec México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Santiago, C. C. (2008). Desarrollo del túnel de viento. Bogotá, DC: Universidad De Los Andes.
- Vinicio, G. U. (2016). Automatización de la toma de datos en tiempo real del banco de pruebas de la turbina hélice de eje horizontal del laboratorio de turbomaquinaria de la facultad de mecánica. Riobamba – Ecuador: Escuela superior politécnica de Chimborazo.
- Wellman, L. B. (2003). Geometría descriptiva. España: Reverté, S.A.
- Wilson, j. (2005). Medidas de ahorro de combustible y de costos para armadores de pequeñas embarcaciones pesqueras. ROMA: FAO Documento técnico de pesca.
- Wilson, J. (2005). Medidas de ahorro de combustible y de costos para armadores de pequeños embarcaciones. ROMA: FAO Documentos técnicos de pesca.



## **Anexos**

### Anexo 1. Implementos electrónicos de arduino utilizados en el banco de prueba

INSTRUMENTO	CARACTERISTICA	FUNCION
<p>Tarjeta Arduino mega 2560</p> 	<p>Micro controlador: ATmega2560</p> <p>Voltaje Operativo: 5V</p> <p>Tensión de Entrada: 7-12V</p> <p>Voltaje de Entrada(límites): 6-20V</p> <p>Pines digitales de Entrada/Salida: 54 (de los cuales 14 proveen salida PWM)</p> <p>Pines análogos de entrada: 16</p> <p>Corriente DC por cada Pin Entrada/Salida: 40 mA</p> <p>Corriente DC entregada en el Pin 3.3V: 50 mA</p> <p>Memoria Flash: 256 KB (8KB usados por el bootloader)</p> <p>SRAM: 8KB</p> <p>EEPROM: 4KB</p> <p>Frecuencia: 16 MHz</p>	<p>Recibir y emitir datos suministrados por los sensores</p>
<p>Sonda sensor digital de temperatura ds18b20 impermeable</p>	<p>Resolución: 9 – 12 bits, precisión: +/-0,5 grados centígrados, rango de detección de temperatura: -55</p>	<p>Medir temperatura en determinados puntos del banco de prueba</p>



a 125 grados centígrados, cable líder de salida: rojo (VCC), amarillo (DATA), negro (GND).


DS18B20 chip sensor térmico digital, puede convertir directamente la señal de temperatura recogida en señal digital para el procesamiento por equipo.

Carcasa de acero inoxidable 304: 0.236 x 1.969 in, cada pin del chip está aislado con tubo termorretráctil para evitar cortocircuitos, sellado por adhesivo en el interior, resistente al agua, resistente al óxido.

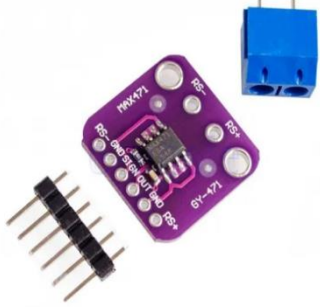
Conversión y salida de temperatura digital completa, comunicación avanzada de datos de bus único, transmisión de señal rápida, amplia gama de aplicaciones.

<p>sensor interruptor medidor de caudal control 10-200L/min DIGITEN G2 2 pulgadas</p> 	<p>Resistente al agua, resistencia al calor, resistencia a la presión, resistencia al frío.</p> <p>Fácil de instalar.</p> <p>Rango de flujo: 10-200L/min</p> <p>Sensor: efecto Hall</p> <p>Corriente máxima: 15 mA (DC 5V)</p> <p>Rango de voltaje de trabajo: DC 5-18 V</p> <p>Capacidad de carga: 10 mA (CC 5 V)</p> <p>Temperatura de funcionamiento: hasta 80 C, humedad de funcionamiento: 35 % -90 % RH</p> <p>Permitir compresión: Presión de agua 1.75 Mpa debajo</p> <p>Resistencia de aislamiento:&gt; 100M OHM</p> <p>Temperatura de almacenamiento: -25-80C</p> <p>Humedad de almacenamiento: 25%-95%RH</p> <p>Forma de onda de salida: onda</p>	<p>Medir el flujo del ducto de prueba</p>
---	--	---

	<p>cuadrada, señal de pulso de salida.</p> <p>Longitud del cable: 18.898 in.</p> <p>Tamaño máximo: 3.622 x 2.677 in.</p> <p>El paquete incluye:</p> <p>1 medidor de caudal G2 pulgadas</p>	
--	--	--


<p>Transductor de presión para transductor de presión (300 PSI)</p> 	<p>Material: acero inoxidable.</p> <p>Voltaje: 5 V CC.</p> <p>Presión: 30 psi, 100 psi, 150 psi, 200 psi, 300 psi, 500 psi (opcional)</p> <p>Tipo de rosca: 1/8" NPT</p> <p>Salida: salida de voltaje lineal de 0,5 a 4,5 V. Salidas 0 psi 0,5 V, 75 psi, 2,5 V, salidas 150 psi 4,5 V.</p> <p>Precisión: +/-0,5 % FS.</p> <p>Rosca: 1/8" NPT.</p> <p>Cableado: rojo para +5 V; negro para tierra; verde para salida de señal.</p> <p>Capacidad de sobrecarga: 2-4 veces de presión nominal</p> <p>Temperatura de funcionamiento: -40.0 °F ~ +248.0 °F.</p> <p>Temperatura de compensación: 32.0 °F ~ +176.0 °F.</p> <p>Presión mediana: aceite, gas y agua compatibles con acero inoxidable 316L.</p> <p>Resistencia de carga: ≤</p>	<p>Medir la presión del durante la prueba de la hélice, ya sea en un flujo compresible e incompresible</p>
---	---	--

	<p>(alimentación de 6,5 V/0,02 A)<math>\Omega</math></p> <p>Estabilidad a largo plazo: menos de 0,1%FS/año</p> <p>Efecto de temperatura en cero: Típico:0,02%FS/°C; Máximo:0,05%FS/°C</p> <p>Efecto de la temperatura en la Sensibilidad: Típico: 0,02%FS/°C; Máximo: 0,05%FS/°C</p>	
--	--	--

<p>Sensor Corriente Voltaje</p> <p>Gy-471 3a Max471</p> <p>Precisión Arduino</p> 	<p>El módulo MAX471 (HCSSENS0041) es un amplificador bidireccional completo de sentido de corriente para PC portátil, mide las corrientes de la batería hasta <math>\pm 3A</math>.</p> <p>El módulo tiene un resistor de sensor 2K Ohm incorporado que le da al módulo un rango completo de sensores de <math>\pm 3A</math>. Una salida SIGN de <math>\mu\mu</math>colector abierto indica la dirección del flujo de la corriente, por lo que el usuario puede controlar si una batería se está cargando o descargando. La operación es de 3V a 36V, y consume menos de <math>100\mu A</math> de temperatura</p> <p>Sens máx actual: <math>\pm 3A</math></p> <p>Voltaje actual de sens: 3 a 36V</p> <p>Salida del sensor: 1V / Amp</p> <p>Dimensiones: 20mm x 19.5mm.</p> <p>Pinout</p> <p>Sensor</p> <p>RS + ..... Carga de alimentación</p>	<p>Identificar con que potencia se encuentra trabajando el motor que impulsa la hélice</p>
---	---	--

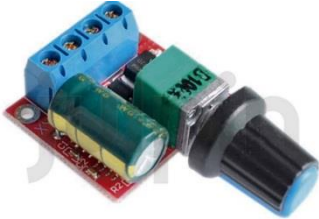



	<p>positiva (3 a 36V)</p> <p>RS -..... Conectar a carga o cargador</p> <p>Interfaz:</p> <p>RS + ..... Alimentación positiva de carga alternativa (3 a 36V)</p> <p>GND ..... Conectar a cargas 0V / GND fuente</p> <p>SALIDA ..... Salida del sensor de corriente (1V / Amp, 3V max)</p> <p>SIGNO ..... Dirección del flujo de corriente. Una salida lógica de colector abierto (bajo = flujo de corriente de RS + a RS-).</p> <p>GND ..... GND alternativo (Conectar a cargas 0V / GND)</p> <p>RS -..... Carga alternativa / conexión de cargador.</p>	
--	--	--

<p>Pantalla tft lcd touch</p> 	<p>Especificaciones: * Escudo de módulo de pantalla táctil TFT LCD de 2,4 pulgadas para Arduino Uno u otra placa compatible. * Se puede montar directamente en la parte superior de Arduino Uno *</p> <p>Pantalla táctil LCD que puede detectar dedos o lápiz óptico. *</p> <p>Resolución de 240x320, color de 18 bits (262.000) * Hay una ranura MicroSD * Interfaz digital de 8 bits, más 4 líneas de control * Voltaje: 3,3 - 5V * Pantalla táctil resistiva de 4 hilos * Dimensiones: 70 mm x 51 mm * Color: rojo</p>	<p>Ver directamente los datos adquiridos de los sensores instalados en el banco de prueba</p>
---	---	---

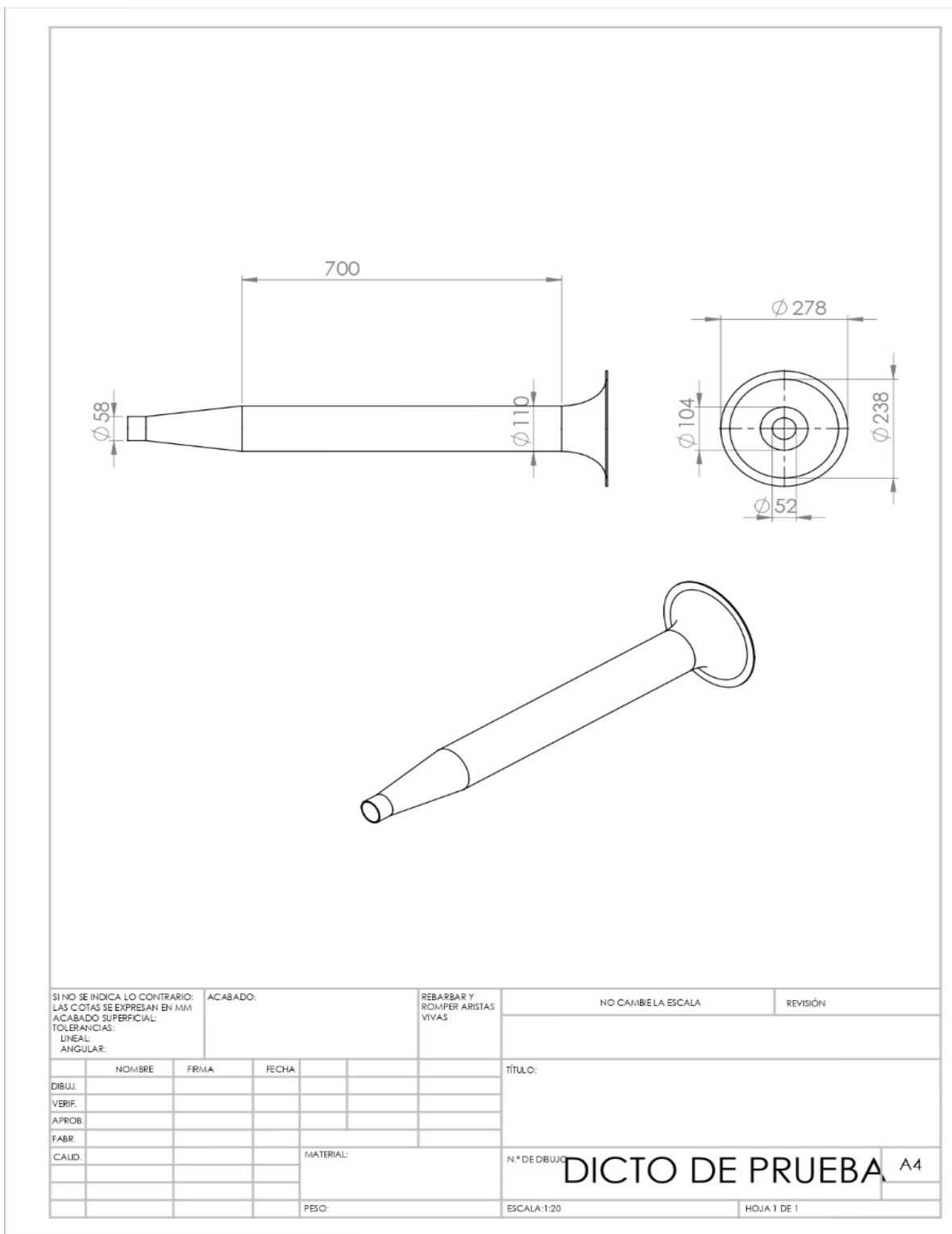
<p>Módulo foto interruptor infrarrojo tipo herradura</p> 	<p>Tipo de sensor: Infrarrojo</p> <p>Voltaje de entrada: 3.3V a 5V.</p> <p>corriente: 20mA.</p> <p>Protección: Polarización inversa.</p> <p>Velocidad: Alta conmutación.</p> <p>Salidas: Digital.</p> <p>Medidas: 14.85mm x 36.35mm.</p>	<p>es utilizado para muchas aplicaciones, incluyendo interruptores ópticos de límite, dispensadores, contadores de puntos u objetos, medir las RPM de un motor y detección general</p>
<p>Hti Generador 12v @ 12,000 Rpm - 30 W nominal - 60w De</p>  <p>Potencia De Pico-Motor</p> <p>Viento Hydro-</p>	<p>Visión de conjunto:</p> <p>Marca: HTI</p> <p>Modelo: HTBRR042</p> <p>Construcción de 5 postes</p> <p>15 vueltas de bobinado de cobre de 0,65 mm por polo</p> <p>Cepillos de grafito de carbón</p> <p>Cojinetes de bolas para una operación duradera</p> <p>El motor pesa 12,5 oz (el conjunto total pesa 1,5 lb)</p> <p>Ventilador de refrigeración interno.</p>	

	<p>Como motor:</p> <p>Rango de voltaje: 9V-15VDC</p> <p>Voltaje nominal: 12 VCC</p> <p>Características sin carga @ 12VDC:</p> <p>Corriente: 2.5A</p> <p>Velocidad: 12.000 RPM</p> <p>Calificaciones de carga desconocidas</p>	
--	---	--

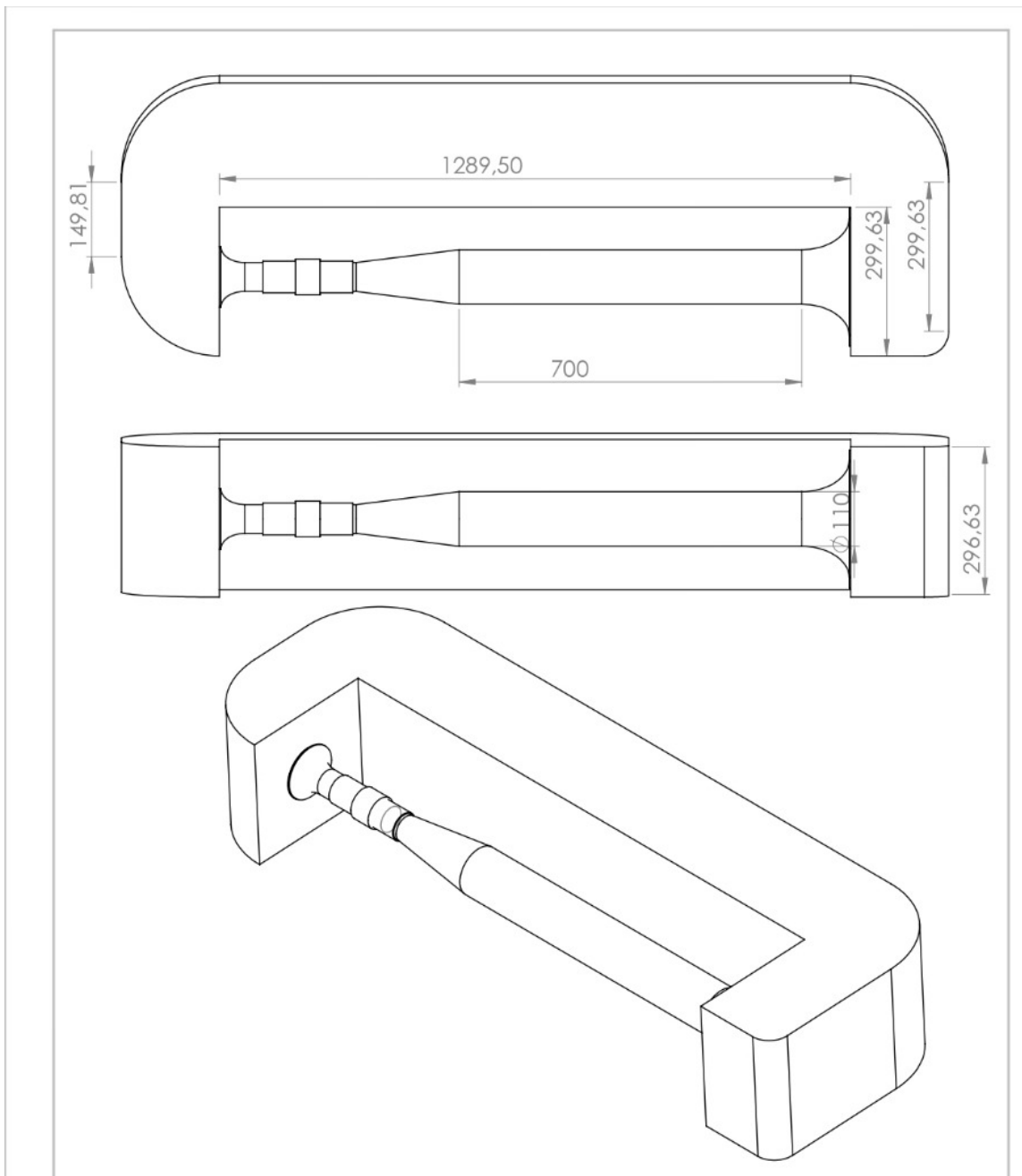
<p>Módulo de control de velocidad ajustable PWM para motores DC</p> 	<p>Este módulo se trata de un <b>control o variador PWM de la velocidad para motores DC</b>. Este módulo, con la simple conexión, por medio de los terminales de ajuste roscado, el voltaje V+ y V- que son la entrada de corriente a suministrar al motor entre 4.5V y 35V y luego debes conectar a M+ y M- las salidas al motor DC. Al girar la perilla del módulo, se genera una <b>variación en la corriente inducida en el motor</b> que va desde 0A hasta 5A, (<b>no es un variador de voltaje</b>) con la variación en la intensidad de la corriente, se varia la velocidad a un voltaje constante</p> <p>Voltaje de funcionamiento: 4.5V DC - 35V DC.</p> <p>Corriente de salida: 0 - 5A.</p> <p>Ciclo de trabajo PWM: 1% -100%.</p> <p>Potencia de salida: 90W (máx.).</p>	<p>Regular la velocidad de RPM del motor</p>
---	---	--

	<p>Corriente de reposo: 7uA (en espera).</p> <p>Frecuencia PWM: 20khz.</p> <p>Tamaño: 30 mm x 26 mm x 14 mm (Sin mango)</p>	
<p>Fuente De Poder 12v 30amp</p> 	<p>Fuente metálica 12v 30 amperios</p> <p>360w 12v voltaje 110v-220v</p> <p>DIMENSIONES</p> <p>22CMX10.5CMX5CM</p>	<p>Alimentar de energía el sistema eléctrico del banco de pruebas</p>

**Anexo 2. Plano del banco de prueba de prototipos de hélice de flujo axial**

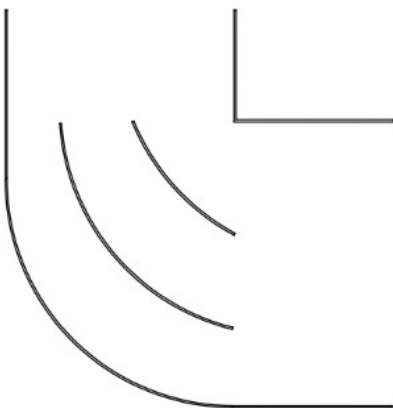
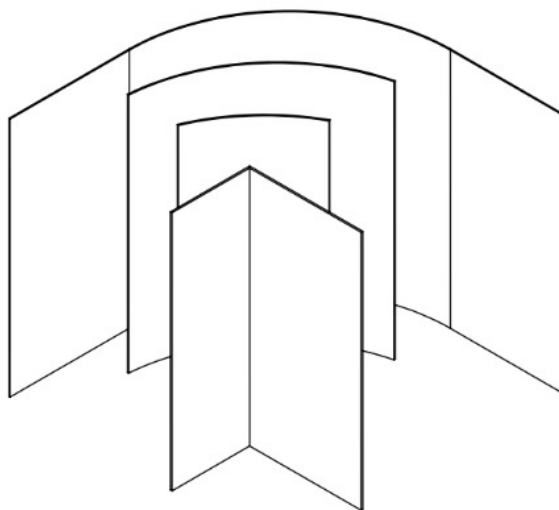
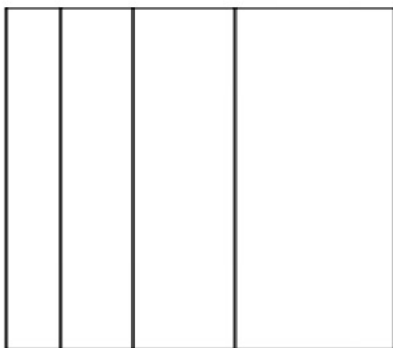


SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
DIBUJ.		NOMBRE		FRMA		FECHA		TÍTULO:	
VERIF.									
APROB.									
FABR.									
CALID.						MATERIAL:		N° DE DIBUJO	
								DICTO DE PRUEBA A4	
						PESO:		ESCALA: 1:20	
								HOJA 1 DE 1	

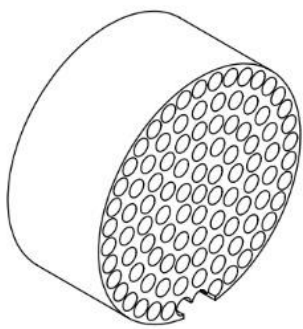
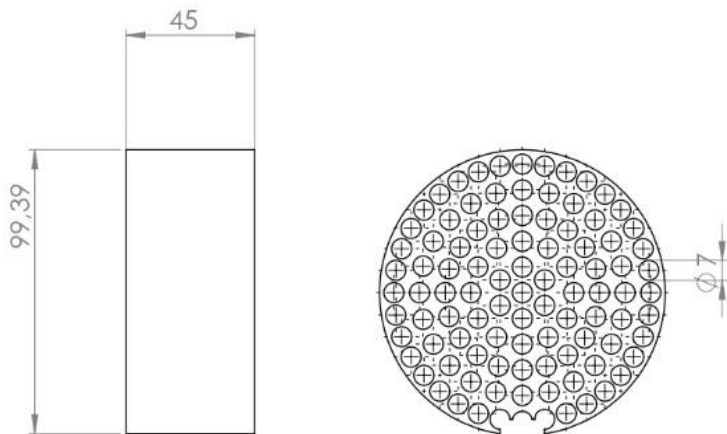


SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
NOMBRE	FRMA	FECHA		TÍTULO:	
DIBUJ.				<p style="text-align: center; font-size: 24px; font-weight: bold;">Ensamblaje DUCTO DE PRUEBA</p>	
VERIF.					
APROB.					
FABR.					
CAID.					
			MATERIAL:	N° DE DIBUJO	
			PESO:	ESCALA: 1:20	HOJA 1 DE 1



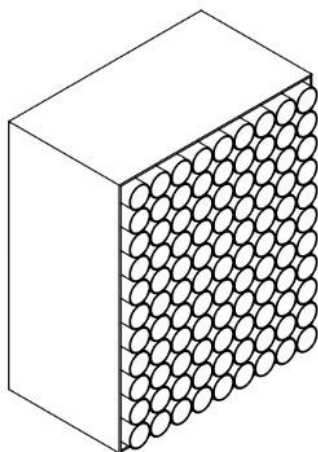
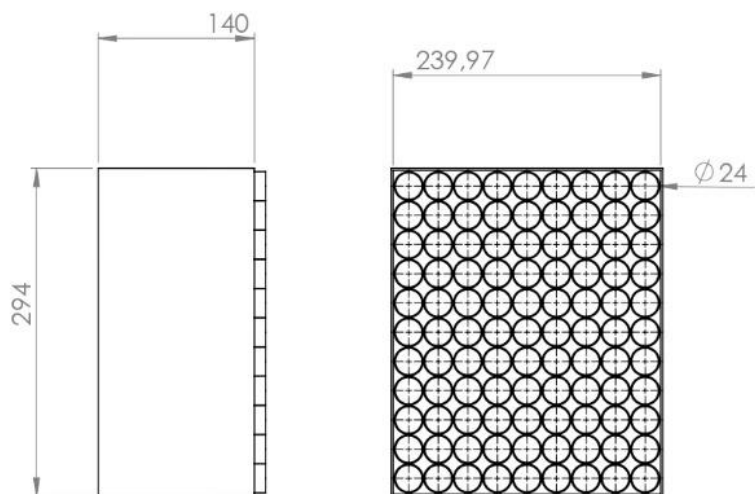


SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM. ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIA LA ESCALA	REVISIÓN
NOMBRE	FRMA	FECHA		TÍTULO:	
DIBUJ.				<b>DIRECCIONAL DE FLUJO</b>	
VERIF.					
APROB.					
FABR.					
CAUD.			MATERIAL:		
			PESO:	ESCALA:1:1	HOJA 1 DE 1



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
NOMBRE		FRMA		FECHA		TÍTULO:			
DIBUJ.									
VERIF.									
APROB.									
FABR.									
CAUID.									
				MATERIAL:		MATERIAL:		MATERIAL:	
				PESO:		ESCALA 1:2		HOJA 1 DE 1	

# ENDEREZADOR DE FLUJO DEL DUCTO



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
NOMBRE		FRMA		FECHA		TÍTULO:			
DIBUJ.									
VERIF.									
APROB.									
FABR.									
CALID.				MATERIAL:		N° DE DIBUJO		panel enderezador de flujo	
				PESO:		ESCALA 1:5		HOJA 1 DE 1	